

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

CENTRE DE RECHERCHE ET DE FORMATION
DOCTORALE (CRFD) EN SCIENCES
HUMAINES, SOCIALES ET ÉDUCATIVES

UNITÉ DE RECHERCHE ET DE FORMATION
DOCTORALE EN SCIENCES DE L'ÉDUCATION
ET INGÉNIERIE ÉDUCATIVE



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

POST COORDINATE SCHOOL FOR
SOCIAL AND EDUCATIONAL
SCIENCES CENTER

DOCTORAL UNIT OF RESEARCH AND
TRAINING IN SCIENCES OF EDUCATION
AND EDUCATIONAL ENGINEERING

**CONCEPTIONS DES ÉLÈVES DE TERMINALE D
EN GÉNÉTIQUE HUMAINE : ANALYSE DES
DIFFICULTÉS D'APPRENTISSAGE ET
ÉLABORATION DES DISPOSITIFS
D'ENSEIGNEMENT**

*Thèse présentée et soutenue en vue de l'obtention du Doctorat PhD en
sciences de l'Education/Didactique des Disciplines*

Option : Didactique des Sciences de la Vie et de la Terre

Soutenu le 28 Mai 2024

Par

MONGO ONOBIONO August Roméal

Matricule 14Z3538



Devant le Jury :

Qualité	Noms et Prénoms	Université d'attache
Président :	BELINGA BESSALA Simon Professeur	Université de Yaoundé I
Rapporteur :	NKECK BIDIAS Rénée Solange Professeur	Université de Yaoundé I
Membres :	ASSENG Charles Carnot Maitre de Conférences	Université de Douala
	NJAMEN Dieudonné Professeur	Université de Yaoundé I
	LONGO Frieda Maitre de Conférences	Université de Yaoundé I

DÉDICACE

À

MON DEFUNT PÈRE MONGO AUGUSTIN

REMERCIEMENTS

Au terme de cette aventure enrichissante qui aura duré quatre ans, j'aimerais remercier tous ceux et celles qui ont participé directement ou indirectement à sa réussite.

Au Professeur, Renée Solange NKeck Bidias ma directrice de thèse à l'université de Yaoundé 1 pour son implication, son soutien, son encadrement et ses remarques qui nous ont permis de réaliser ce travail. Je vous exprime ma gratitude pour avoir rempli à merveille votre rôle d'encadreur. Votre soutien sur les plans académique et professionnel, vos précieux conseils méthodologiques et votre impressionnante expertise dans le domaine de la didactique de la biologie ont été d'une grande utilité dans la réalisation de cette thèse et nous ont permis de travailler dans de meilleures conditions.

J'exprime toute ma gratitude au professeur Belinga Bessala pour ses observations constructives lors de l'état d'avancement des travaux. Ma gratitude à tous les enseignants du département de didactique des disciplines qui ont contribué à ma formation en tant que jeune chercheur dans le domaine de la didactique depuis les premières années de master jusqu'aux dernières années de doctorat. Je vous signifie toute ma reconnaissance pour vos cours et vos conseils lors des différentes rencontres (séminaires, examens de synthèse et doctorales).

J'exprime ma gratitude aux enseignants de SVTEEHB et à leurs élèves qui m'ont ouvert les portes de leurs classes dans le cadre de l'observation des séquences didactiques, au Dr Benjamin Menze, à Patrick Pagbe, à Olivier Djoutsop et à Yannick Ngolle.

Je tiens également à remercier les doctorants du département de didactique de disciplines de l'université de Yaoundé 1 qui, par leurs critiques constructives et leurs conseils avisés lors de mes interventions ont pu m'aider à développer et formaliser certains points de cette thèse. Je pense notamment à Cécile Mendouga, Thomas Julio Ekoto, Roger Embollo, Eric Menye Obia, Jacques Ngong, et Corneille Tchokomegni

J'adresse un merci au Rev Joseph Ngandeu, au Rev Séverin Lontsi et à tous les Pasteurs de la communauté missionnaires chrétienne internationale/PSU Yaoundé

Merci enfin à ceux qui occupent une place toute spéciale dans mon cœur. Mon défunt père, ma mère, mes frères et mes sœurs qui sont à l'origine de l'aboutissement de ce travail. Mes beaux-parents pour leur soutien précieux durant toutes ces années. Merci enfin à Myriam Corine épouse Mongo, d'avoir supporté ce long travail.

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
SOMMAIRE	iii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
RÉSUMÉ.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTE DE TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES GRAPHIQUES	xii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : CONSTRUCTION DE LA PROBLEMATIQUE ET DU CADRE THEORIQUE.....	9
CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE	12
CHAPITRE II : CADRE CONCEPTUEL	60
CHAPITRE III : CADRE THEORIQUE DE LA RECHERCHE.....	111
DEUXIEME PARTIE : CADRE METHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE.....	180
CHAPITRE IV : TYPE DE RECHERCHE ET PRESENTATION DE L'ECHANTILLON DE L'ETUDE.....	182
CHAPITRE V : OUTILS, INSTRUMENTS METHODOLOGIQUE ET MODALITÉS D'ANALYSE DES DONNÉES.....	213
TROISIEME PARTIE : ANALYSE, DISCUSSION ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS	238
CHAPITRE VI : ANALYSE DES PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT EN GENETIQUE ET CONCEPTION DU DISPOSITIF D'ENSEIGNEMENT.....	240
CHAPITRE VIII : DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS	343
BIBLIOGRAPHIE	389
ANNEXES	408
TABLE DES MATIERES.....	451

LISTE DES ABREVIATIONS

- ADN** : Acide Désoxyribo Nucléique
- AP** : Animateur Pédagogique
- APC** : Approche par les compétences
- APEE** : Association des parents d'élèves et enseignants
- BM** : Banque Mondiale
- CRM** : Centre de Ressources Multimédias
- DSSE** : Document de Stratégie Sectorielle de l'Éducation
- EIAH** : Environnements Informatiques pour l'apprentissage Humain
- ELPEX** : Élaboration des Protocoles Expérimentaux
- ENS** : École Normale Supérieure
- ESG** : Enseignement Secondaire Général
- HP** : Hypothèse Principale
- HSR** : Hypothèse Secondaire de Recherche
- IGP** : Inspection Générale de Pédagogie
- INRP** : Institut Nationale de Recherche Pédagogique
- IPG** : Inspection Pédagogique Générale
- IUMF** : Institut Universitaire Française de Montréal
- MINEDUB** : Ministère de l'Éducation de Base
- MINEDUC** : Ministère de l'Éducation Nationale
- MINESEC** : Ministère des Enseignements Secondaires
- MKO** : More knowledgeable Order
- NAP** : Nouvelle Approche Pédagogique
- OCDE** : organisation de coopération et de développement économique.
- OIF** : Organisation Internationale de la Francophonie
- OP** : Objectif Principal
- OPO** : Approche Par Objectif
- OSR** : Objectif Secondaire de Recherche
- PPO** : Pédagogie Par Objectif
- PPRE** : Programme Personnalisé de Réussite Educative
- QCM** : Questions à Choix Multiples
- QP** : Question Principale

QSR : Question Secondaire de Recherche

RASED : Réseau d'Aide Spécialisé aux Enfants en Difficulté

RCEGHTD : Représentations et conceptions des élèves en génétique humaine Terminale D

SG : Secrétariat Général

SIDA : Syndrome Immuno Déficience Acquise

SVTEEHB : Sciences de la Vie et de la Terre / Éducation à la santé, à l'Environnement, à l'Hygiène et la Biotechnologie

T21: Trisomie 21

UNESCO : United Nations Educational Scientific and Cultural Organization

UNICEF : United Nations International children's Emergency Fund

VIH : Virus Immuno Humain

ZPD : Zone Proche de Développement

RÉSUMÉ

La présente recherche porte sur la mise en œuvre des dispositifs d'enseignement en vue de pallier les difficultés d'apprentissage rencontrées par les élèves en classe de génétique. Lesquelles difficultés sont à l'origine de multiples écueils dans leur appréhension des notions de base de cette discipline. Inscrite dans le champ des études sur l'approche non-numérique et numérique de prise en compte des conceptions des élèves relatives à l'hérédité, cette recherche pose le problème de la primauté des approches dites classiques et de la quasi-absence des dispositifs didactiques de prise en compte des considérations erronées des élèves en génétique, limitant ainsi la construction du savoir scientifique dans cette partie du programme en biologie. De ce fait, elle se propose de concevoir et d'expérimenter des dispositifs d'enseignement numérique et non-numérique de prise en compte de ces conceptions permettant aux élèves de Terminale D de faire évoluer leurs représentations initiales vers la construction du savoir scientifique dans cette discipline. La mise sur pied de ces dispositifs d'enseignement aux contenus didactiques en génétique mobilise une démarche qui fait appel au registre de la génétique spontanée (liée à l'expérimentation) et au registre de la génétique raisonnée (fondée sur l'évolution scientifique des notions et les concepts de la génétique). L'hypothèse qui en découle a été formulée de la façon suivante : «L'élaboration du dispositif d'enseignement approprié et son implémentation participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine». Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons adopté une méthodologie de l'ingénierie didactique basée sur une posture de praticien-chercheur. Cette méthodologie est caractérisée par l'élaboration et l'analyse des séances didactiques numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions, une vaste enquête auprès des enseignants et des élèves afin de recueillir leurs conceptions, ainsi qu'un pré-test et un post-test auprès de ceux-ci. Au terme de l'analyse des données qualitatives et quantitatives, il ressort que les dispositifs de modélisation numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves pallient les difficultés d'apprentissage des élèves de Terminale D liées à leurs conceptions en génétique humaine. En outre, ces dispositifs d'enseignement permettent l'évolution des conceptions initiales des élèves vers la construction du savoir scientifique en génétique.

Mots clés : conceptions, génétique, difficultés d'apprentissage, dispositif d'enseignement

ABSTRACT

The focus of this research is the implementation of teaching tools to address learning difficulties related to students' conceptions in the genetics classroom, as these early conceptions held by such students contribute most of the time to negative outcomes. This research falls in the field of studies dealing with non-digital and digital approaches of the management of students' conceptions in genetics. It raises the problem of the primacy of the so-called classical approaches and the quasi-absence of didactic equipment to handle students' conceptions in genetics, which limits development of scientific knowledge in genetics. Therefore, it aims at designing and experimenting digital and non-digital teaching tools in order to manage students' conceptions in genetics, thereby allowing Terminale D students to develop their initial conceptions in order to build scientific knowledge in human genetics. The setting up of these teaching tools with didactic contents in genetics calls for an approach that combines the register of spontaneous genetics (linked to experimentation) and the register of informed genetics (based on the scientific development of the notions and concepts in genetics). The resulting hypothesis was formulated as follows: "The development of appropriate teaching tools and their implementation contribute to the eradication of learning difficulties related to the conceptions of Terminale D students in human genetics". In order to test this hypothesis, we adopted a didactic engineering methodology based on a researcher-practitioner viewpoint. This methodology entailed developing and analysing digital and non-digital didactic sessions of conception management, running an extensive survey of teachers and students to collect their conceptions, and carrying out a pre-test and post-test with these teachers and students. Upon analyzing both qualitative and quantitative data, it was found that digital and non-digital modelling tools for the management of students' conception issues alleviate the learning difficulties of Terminale D students relating to their conceptions of human genetics. Furthermore, these teaching tools allow for the development of students' initial conceptions in the building of scientific knowledge in genetics.

Key words: conceptions, genetics, learning difficulties, teaching tools.

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1: compréhension de la nature et du transfert de l'information génétique	147
Tableau 2: Fréquence des différents modèles du Gène dans les travaux de Venville & Treagust (1998)	153
Tableau 3: Les dix dimensions de l'intervention éducative.....	158
Tableau 4 : Les phases du MIE 6	167
Tableau 5 : Les quatre modèles d'intervention éducative (MIE) Lenoir (2004 :	168
Tableau 6 : Tableau synoptique	178
Tableau 7 : Tableau de la répartition des élèves par classe de terminale D et par lycées	195
Tableau 8: Sections et items du questionnaire de prise en compte de conceptions des apprenants ...	216
Tableau 9: Composition et traitement du corpus de recherche.	217
Tableau 10: Différents niveaux biologiques des graphiques.....	227
Tableau 11: cKç appliqué à la modélisation graphique	231
Tableau 12: Organisation pédagogique de la situation expérimentale.....	234
Tableau 13: La structure de la séance d'enseignement d'émergence des conceptions	245
Tableau 14: La structure des séances d'enseignement de déconstruction des conceptions erronées.	250
Tableau 15: La structure des séances d'institutionnalisation d'enseignement en génétique.....	255
Tableau 16: Tableau Récapitulatif des variables avec choix possibles, et choix réalisés.....	264
Tableau 17: Répartition des élèves du groupe expérimental en fonction des procédures élaborées...	278
Tableau 18: Tableau des effectifs et fréquences des enseignants de SVTEEHB qui ont des connaissances en matière de conceptions des élèves.....	286
Tableau 19: répartition des enseignants de SVTEEHB enquêtés suivant la connaissance des procédures de prise en compte des conceptions des élèves.....	287
Tableau 20: Tableau de la répartition des personnels enseignants enquêtés prenant en compte les conceptions des élèves.....	287
Tableau 21: récapitulatif des conceptions des élèves de Terminales D en Génétique humaine des Lycées de Biyem Assi et de Mouko	288
Tableau 22: Tableau des résultats de la moyenne des évaluations du pré-test.....	290
Tableau 23: Tableau constitutif des groupes témoin et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des notes du pré-test.....	291
Tableau 24: Tableau récapitulatif des résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe.....	292
Tableau 25: Tableau des résultats du post-test par intervalle de note après émergence des conceptions des élèves.....	294
Tableau 26: Tableau des résultats du post-test après émergence des conceptions des élèves dans le groupe expérimental	295
Tableau 27: Distribution des notes du post-test par ordre décroissant après émergence des conceptions dans les groupes.....	297
Tableau 28: Comparaison des moyennes au post-test des groupes après émergence des conceptions	298
Tableau 29 : Tableau des résultats du post-test par intervalle de note après déconstruction des conceptions erronées des élèves dans le groupe expérimental	298

Tableau 30: Tableau des résultats du post-test après la destruction des conceptions erronées dans le groupe expérimental	299
Tableau 31: Distribution des notes du post-test par ordre décroissant après destruction des conceptions erronées dans les groupes	301
Tableau 32: Comparaison des moyennes au post-test des groupes après déconstruction des conceptions erronées	302
Tableau 33: Tableau des résultats du post-test par intervalle de note après construction du savoir scientifique.	303
Tableau 34: Tableau des Résultats de l'évaluation après la construction du savoir scientifique.....	304
Tableau 35: Distribution des notes du post-test par ordre décroissant après construction du savoir scientifique/institutionnalisation.....	306
Tableau 36: Comparaison des moyennes au post-test des groupes après institutionnalisation ou construction du savoir scientifique.....	307
Tableau 37: Tableau récapitulatif des résultats des post-tests par intervalle de note.....	308
Tableau 38: Tableau récapitulatif des résultats des post-tests.....	309
Tableau 39: Comparaison des moyennes au post-test des groupes après prise en compte non-numérique des conceptions des élèves	311
Tableau 40: résultats de la moyenne des notes des évaluations du pré-test en Terminale D2 du lycée de Biyem-Assi.....	313
Tableau 41: résultats de la moyenne des notes des évaluations du pré-test en Terminale D du lycée de Mouko	314
Tableau 42: Tableau récapitulatif des résultats de la moyenne des notes des évaluations du pré-test des Terminales D des lycées de Biyem-Assi et de Mouko.....	315
Tableau 43: constitutif des groupes témoin et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des notes du pré-test des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi	316
Tableau 44: constitutif des groupes témoins et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des notes du pré-test en Terminale D du lycée de Mouko.....	317
Tableau 45: Tableau récapitulatif des groupes témoins et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des notes du pré-test des élèves des Terminales D des lycée de Biyem-Assi et de Mouko.	319
Tableau 46: Tableau des résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe des Terminales D2 et D4 du lycées de Biyem-Assi.....	321
Tableau 47: résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe en Terminale du lycée de Mouko	322
Tableau 48: récapitulatif des résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe en Terminale des lycées de Biyem-Assi et de Mouko	323
Tableau 49: résultats du post-test en Terminale D du lycée de Mouko par intervalle de note après expérimentation de la plateforme numérique de modélisation.....	326
Tableau 50: Résultats du post-test des Terminales D des lycées de Biyem-Assi et de Mouko par intervalle de note après expérimentation de la plateforme numérique.....	327
Tableau 51: Résultats de l'évaluation après modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi.....	329
Tableau 52: Résultats de l'évaluation après modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique en Terminale D du lycée de Mouko	331
Tableau 53: comparatif des Résultats des évaluations avant et après modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique des Terminales D des lycées de Biyem-Assi et Mouko.....	334

Tableau 54: Distribution des notes du post-test par ordre décroissant après modélisation via la plate-forme numérique dans les groupes	337
Tableau 55: Comparaison des moyennes au post-test des groupes au lycée de Biyem-Assi après modélisation via le dispositif didactique de modélisation.....	339
Tableau 56: Comparaison des moyennes au post-test des groupes au lycée de Mouko après modélisation via le dispositif didactique de modélisation.....	339
Tableau 57: Comparaison des moyennes au post-test des groupes des lycées de Biyem-Assi et Mouko après modélisation via le dispositif didactique de modélisation	340
Tableau 58: Comparaison des moyennes au post-test des groupes au lycée de Biyem-Assi après la prise en compte des conceptions des élèves via la plate-forme numérique.....	340
Tableau 59: Comparaison des moyennes au post-test des groupes au lycée de Mouko après la prise en compte des conceptions des élèves via la plate-forme numérique	341
Tableau 60: Comparaison des moyennes au post-test des groupes des deux lycées après la prise en compte des conceptions des élèves via la plate-forme numérique	341

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Synopsis de la recherche	8
Figure 2: schéma explicatif du contrat didactique (repris de Dupin & Joshua, 1993, p. 93)	88
Figure 3: transposition didactique selon Chevallard (1986).....	96
Figure 4: Les deux médiations de l'intervention éducative.....	161
Figure 5: Les modèles d'intervention éducative	165
Figure 6 : Synopsis de l'expérimentation en classe de génétique de Terminale D	188
Figure 7: Modélisation des espaces de contraintes lors du débat en classe	220
Figure 8: Feuille de consignes	228
Figure 9: Feuille d'aide à la navigation dans GENEDIDACT	229
Figure 10 : Caryotype du couple A : expérience sur l'albinisme	249
Figure 11 : Caryotype du couple B : expérience sur la drépanocytose.....	249
Figure 12: Caryotype du couple C : expérience sur le mongolisme.....	249
Figure 13: Caryotype d'un individu albinos issu des parents sains	253
Figure 14: Caryotype d'un individu drépanocytaire issu des parents sains	253
Figure 15: Caryotype d'un individu mongolien issu des parents sains.....	253
Figure 16: Schéma général du protocole d'un d'arbre des tâches	256
Figure 17: Plateforme GENEDIDACT avant connexion	257
Figure 18: Interface de la plateforme de génétique après démarrage	258
Figure 19: Plateforme GENEDIDACT après connexion	258
Figure 20: Interface illustrant les choix d'activité par les élèves	267
Figure 21: Interface illustrant les réponses permettent de regrouper par groupe d'affinité	267
Figure 22: Interface du choix du matériel biologique responsable de la transmission de l'information génétique	268
Figure 23: Interface représentant les graphiques et les protocoles d'élaboration de la transmission de l'information génétique chez les individus albinos en provenance des parents sains	269
Figure 24: interface discussion du GENEDIDACT lors de l'intervention d'un élève à l'intérieur d'un groupe.....	270
Figure 25: Modélisation de la cellule paternelle et la cellule maternelle qui vont entrer en division méiotique	277
Figure 26: Répartition n°1 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf	278
Figure 27: Répartition n°2 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf.....	279
Figure 28: Répartition n°3 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf.....	280
Figure 29: Répartition n°4 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf	281
Figure 30: Répartition n°6 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf	282
Figure 31: Répartition n°7 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf.....	283

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : résultat de l'évaluation du pré-test.....	291
Graphique 2 : Répartition des élèves dans le groupe témoin et expérimental lors du pré-test.....	292
Graphique 3 : Comparaison des résultats du pré-test des deux sous-groupes avant l'expérimentation	293
Graphique 4 : Résultat du post-test après émergence des conceptions	296
Graphique 5 : Résultat du post-test après destruction des conceptions erronées.	301
Graphique 6 : Résultat du post-test après construction du savoir scientifique.	306
Graphique 7 : Résultat récapitulatif du post-test	310
Graphique 8 : Borne supérieure et inférieure des notes des différents tests.....	311
Graphique 9 : Résultat du pré-test par intervalle de notes de l'ensemble des élèves des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi.....	313
Graphique 10 : Résultat du pré-test par intervalle des notes des élèves de Terminale D du lycée de Mouko	314
Graphique 11 : résultat du pré-test par intervalle des notes des élèves des Terminales D des lycées de Biyem-Assi et de Mouko.....	315
Graphique 12 : Répartition des élèves des Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi dans les deux sous-groupes (expérimental et Témoin.....	317
Graphique 13 : Répartition des élèves de Terminale D du lycée de Mouko dans les deux sous-groupes (expérimental et Témoin).....	318
Graphique 14 : Répartition des élèves des Terminales D des lycées de Biyem-Assi et de Mouko dans les deux sous-groupes (expérimental et Témoin	320
Graphique 15 : Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe des Terminales D2 et D4 du lycées de Biyem-Assi.....	321
Graphique 16 : Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe en Terminale D du lycées de Mouko.....	323
Graphique 17 : Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe en Terminale D du lycées de Biyem-Assi et Mouko	324
Graphique 18 : Résultat des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi après modélisation via la plateforme numérique.....	330
Graphique 19 : Borne supérieure et inférieure des notes des différents tests dans les Terminales	331
Graphique 20 : Résultat de la Terminale D du lycée de Mouko après modélisation via la plateforme numérique.....	333
Graphique 21: Borne supérieure et inférieure des notes des différents tests en Terminale D du Lycée de Mouko.....	334
Graphique 22 : Résultat des Terminale D des lycées Biyem-Assi et de Mouko après modélisation via la plateforme numérique.....	336
Graphique 23: Borne supérieure et inférieure des notes des différents tests dans les Terminales	337

INTRODUCTION GENERALE

« Enseigner la biologie autrement est le leitmotiv de nombreux groupes de réflexion, ouvrages, formations et recherches en didactique de la biologie » (Lhoste Y. 2008 ; p.21). Ces propos montrent clairement que le but de la didactique de la biologie n'est pas seulement de comprendre le processus d'enseignement/apprentissage mais aussi de proposer des dispositifs d'enseignement innovants capables d'améliorer la façon d'apprendre ou d'enseigner la biologie scolaire. En effet, ces recherches sont de plus en plus axées sur la mise en place des dispositifs didactiques permettant aux élèves d'apprendre la biologie autrement à partir de la prise en compte de leurs conceptions. À cet effet, la réflexion sur les rapports que la prise en compte des conceptions des élèves entretient avec la production du savoir en SVT EEHB est devenue l'une des problématiques les plus abordées en didactique de la biologie. Elle repose spécifiquement sur la nécessité de proposer des dispositifs d'enseignement innovants pour une prise en compte efficace des conceptions des élèves tant en génétique que dans les autres domaines de la biologie, lequel permet l'acquisition des savoirs biologiques par le biais des dispositifs d'enseignement tant virtuels que réels de gestion des conceptions des élèves en classe de génétique de Terminale D.

Aujourd'hui, cette prise en compte des conceptions dans la production du savoir en génétique est devenue l'une des problématiques les plus arborées en didactique des SVT EEHB. De plus, la démocratisation des nouveaux modes de représentation des niveaux biologiques moléculaires et microscopiques utilisant des modélisations non-numériques et numériques offrent de nouvelles perspectives de production du savoir biologique à partir de l'expérience des apprenants en contexte de construction du savoir. Cette thèse porte sur les **« conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine : Analyse des difficultés d'apprentissage et élaboration des dispositifs d'apprentissage »**. Le but est de montrer l'apport des dispositifs d'enseignement de modélisation tant numérique que non-numérique (virtuel et réel) sur la prise en compte des conceptions des élèves de Terminale D en difficulté d'apprentissage. Dans cette introduction, il sera question de présenter de façon synthétique les principaux éléments qui vont structurer ce travail. Elle sera articulée autour de quatre points à savoir la problématique de l'étude, les hypothèses de recherche, la méthodologie et les parties de la recherche.

1. Élaboration d'une problématique autour d'une approche numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves en génétique humaine

La biologie a longtemps été considérée comme une science du vivant qui aborde des thématiques et des problématiques liées à la prise en compte des conceptions des élèves en génétique humaine et à l'élaboration/utilisation des dispositifs d'enseignement par le biais de l'ingénierie. Cette conception liée à l'élaboration et à l'utilisation des dispositifs d'enseignement s'est progressivement formalisée dans la biologie scolaire en général et en particulier en génétique scolaire. Cette dernière est la science du vivant se caractérisant par la pérennité de l'espèce, abordé à la fois comme objet d'étude et comme outil permettant de construire les savoirs biologiques. La révision des programmes d'étude en biologie ainsi que la mise en place des dispositifs d'enseignement par l'Approche Par les Compétences (APC) dans l'enseignement de la biologie en général et en génétique en particulier ont entraîné le renouvellement des contenus didactiques ainsi que celui des techniques et méthodes abordés en situation de classe de biologie. Elle s'est faite par l'introduction de nouvelles démarches pédagogiques en vue de faire évoluer les conceptions des apprenants.

En effet, faire évoluer les conceptions des élèves en génétique repose sur une approche socioconstructiviste caractérisée par l'enseignement/apprentissage, se faisant à partir des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves en y incluant des situations de vie concrètes et faisant appel à l'expérience et au vécu de l'apprenant. Les dispositifs d'enseignement y afférents utilisent une panoplie d'approches pédagogiques telles que l'approche par objectif (APO), la nouvelle approche pédagogique (NAP), l'approche la main à la pâte et l'approche par les compétences (APC). Cet enseignement met donc l'accent sur les interactions environnement d'apprentissage- élève afin de préparer l'apprenant à l'observation, à la description et à l'interprétation des phénomènes biologique en vue de l'aider à faire évoluer ses conceptions en génétique et à mieux construire son savoir scientifique.

Dans ce contexte, les dispositifs d'enseignement de modélisation numériques et non numériques de prise en compte des conceptions des élèves se présentent comme un outil important pour une prise en compte efficace des conceptions des élèves en génétique, science du vivant responsable de la pérennité de l'espèce. Ils contribuent à faire évoluer les conceptions erronées et à construire le savoir dans la mesure où ils développent chez les apprenants des savoirs,

savoir-faire et savoir-être indispensables pour la compréhension des enjeux liés à la pérennité de l'espèce. Par conséquent, l'enseignement de la génétique est devenu par le biais de la gestion des conceptions des apprenants, l'une des thématiques très abordées en classe de biologie. Il s'agit des dispositifs didactiques transversaux et interdisciplinaires qui peuvent être intégrés dans plusieurs disciplines expérimentales comme la SVT, la chimie et la physique.

Aborder l'enseignement de la génétique scolaire par des dispositifs d'enseignement est une tâche quasi quotidienne menée par les enseignants de SVT. Il implique des activités didactiques et pédagogiques qui permettent aux apprenants de mieux comprendre la complexité de la génétique d'une part, de construire des savoirs génétiques liés à la transmission de l'information génétique d'autre part. Défini comme la face visible et invisible de l'activité qui consiste à faire évoluer les conceptions des élèves en situation de classe de génétique, les dispositifs d'enseignement de génétique sont des instruments complexes au regard de leurs multiples dimensions. En classe de Terminale scientifique, l'enseignement de la génétique n'est pas nouveau. Les élèves de cette classe ont déjà eu à recevoir ces cours au niveau inférieur. Ces enseignements entrent très souvent en conflits avec ce qu'ils écoutent dans leur environnement et dans les médias étant donné que ces derniers n'ont pas de valeurs scientifiques. L'enseignement conventionnel de la génétique en situation de classe rencontre souvent des obstacles liés à ces conceptions qui sont causées par des sources d'information du milieu de socialisation des apprenants en dehors de l'école. D'où l'intérêt d'élaborer des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves dans cette partie du programme scolaire. La génétique au secondaire fait l'objet de plusieurs conceptions erronées à cause du côté invisible à l'œil nu de ses nombreux phénomènes et objets. Chaque objet impliqué en génétique correspond à un niveau biologique particulier, qui concorde avec une échelle spécifique (moléculaire, microscopique, macroscopique) et un ordre de grandeur (nanomètre, millimètre, centimètre). De plus, ces objets s'articulent selon une organisation spécifique les uns avec les autres, accentuant les conceptions des élèves. Le premier niveau de l'échelle microscopique est la cellule non accessible aux apprenants. À côté de ce premier niveau microscopique, on a le deuxième niveau qui est le noyau cellulaire, milieu où se déroulent les phénomènes génétiques (mitose, méiose, transcription, réplication, transmission de l'information génétique etc...) Les niveaux de l'échelle moléculaire, inaccessibles aussi aux apprenants,

renforcent les conceptions de ces derniers. Le premier niveau étant le caryotype, suivi du chromosome et ensuite du gène, des allèles et de l'ADN

Cette recherche s'inscrit dans un contexte scientifique marqué par une reconsidération des approches par objectifs (OPO) et des approches par compétences (APC) dans l'enseignement de la biologie. À cet effet, la génétique se présente comme un concept multidimensionnel qui devrait être enseigné dans un dualisme naturel/artificiel, matériel/immatériel et objectif/idéal. Ceci implique l'intégration des approches numériques et expérientielles articulées autour de deux registres de savoir : le registre de la biologie spontanée (fondé sur le savoir de l'expérimentation, de l'observation, et des perceptions) et le registre de la biologie raisonnée mobilisant les concepts et les notions de la génétique scientifique en vue de faire évoluer les conceptions erronées des élèves par le biais des dispositifs d'enseignement appropriés. Ces dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves en génétique reposent sur la démarche de modélisation numérique et non-numérique à travers la prise en compte du visuel des élèves.

Formalisée par les travaux de Gwenda-Ella Chapel, (2006) et de l'Hoste Y (2008), les approches de modélisation numérique et non-numérique de biologie se sont progressivement intégrées en didactique de la biologie. Cette intégration en didactique de la biologie s'est faite à travers les études qui questionnent la place de ces dispositifs d'enseignement dans la conception des situations d'enseignement-apprentissage en génétique permettant de faire évoluer ces conceptions. Elles s'inscrivent donc dans la logique des grands penseurs de la pédagogie expérientielle tels que Dewey (1938), Piaget (1971) et Kolb (1984) qui estiment que l'expérience de prise en compte des conceptions est un puissant levier d'apprentissage et de construction des savoirs scientifique à partir des dispositifs d'enseignement appropriés.

Dans l'enseignement de la biologie, plusieurs recherches ont montré l'importance de la démarche de modélisation par le biais des dispositifs d'enseignement appropriés de prise en compte des conceptions. Fondée sur la prise en compte des savoirs de l'expérience et du vécu des apprenants, ces dispositifs interviennent dans la construction des savoirs biologiques. En outre, l'opérationnalisation de ces dispositifs peut se faire de façon directe (l'usage pédagogique de la salle de classe via le non-numérique) ou de façon indirecte (modélisation des situations de classe à partir de l'outil numérique).

L'essor et la démocratisation des nouveaux dispositifs d'enseignement de la biologie de manière générale et de la génétique en particulier (les dispositifs d'enseignement virtuel numérique et ceux non-numérique dans la génétique universitaire et scolaire) ont entraîné, le développement des nouvelles approches pour ces dispositifs destinés au départ à la formation en médecine. En effet, les usages scolaires des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions en biologie semblent encore moins répandus, rendant difficile l'évolution des conceptions des apprenants vers la construction du savoir scientifique. Leur élaboration et leur usage pourrait contribuer à faire évoluer les différentes conceptions erronées des élèves vers le savoir scientifique, palliant ainsi les difficultés d'apprentissage des élèves en situation de classe de génétique. Cette modalité fondée sur la modélisation numérique et non-numérique des enseignements de génétique via les dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves favoriserait l'étude des problématiques liées : à l'émergence des conceptions ; aux conflits cognitifs entraînant la déconstruction des conceptions erronées et celles liées à la construction du savoir scientifique ou institutionnalisation.

2. Quel objectif ? Quelle hypothèse ? Pour quelle méthodologie ?

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des dispositifs d'enseignement sur le niveau d'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine. Elle implique donc une réflexion sur le rôle des dispositifs d'enseignement de modélisation tant numérique que non-numérique dans la prise en compte des conceptions des élèves en classe de génétique en Terminale D, et à partir d'une démarche mobilisant les savoirs de la génétique spontanée et de la génétique raisonnée. Cette démarche permet de faire évoluer ces conceptions vers le savoir scientifique. En outre, il sera question de concevoir et d'implémenter des dispositifs d'enseignement de modélisation numérique et non numérique de prise en compte des conceptions des élèves de Terminale D en génétique en vue de pallier les différentes difficultés d'apprentissage fondés sur une démarche susceptible d'améliorer l'étude de la génétique.

L'hypothèse qui découle est la suivante « L'élaboration des dispositifs d'enseignement appropriés et leur implémentation en situation de classe de génétique humaine participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D ». En effet, l'implémentation des dispositifs d'enseignement de

modélisation numérique et non-numérique est d'un grand apport dans l'éradication des difficultés d'apprentissage en génétique dans la mesure où elle permet une prise en compte efficace des conceptions des élèves. Elle a pour finalité de faire évoluer ces conceptions vers le savoir scientifique en passant par leur émergence et par le conflit cognitif assurant la déconstruction des conceptions erronées. De cette hypothèse principale découlent trois hypothèses spécifiques à savoir

Hypothèse 1 : La prise en compte non-numérique des conceptions des élèves comme dispositif d'enseignement réduit considérablement les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

Hypothèse 2 : La modélisation de la transmission de l'information génétique comme dispositif d'enseignement participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D.

Hypothèse 3 : Le dispositif d'enseignement numérique conduit à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

La démarche méthodologique adoptée dans cette recherche est l'ingénierie didactique fondée sur une analyse à priori et à posteriori, un paradigme de validation interne ainsi qu'une comparaison statistique des performances des apprenants dans le groupe-témoin et le groupe expérimental. Elle est également associée à une posture de praticien-chercheur.

3. Un travail articulé en huit chapitres regroupés en trois grandes parties

La présente thèse est structurée en trois grandes parties. La première partie s'intéressera à la problématique et au cadre théorique de la recherche. L'objectif de cette partie est de fixer les éléments théoriques et conceptuels qui constituent notre travail de recherche. Elle intègre les éléments de la problématisation de la recherche. À cet effet, elle est construite autour d'une problématique sur l'approche de modélisation numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves en génétique ainsi qu'une approche théorique et conceptuelle sur l'apprentissage de la génétique à partir d'une démarche en contexte d'apprentissage. Le chapitre 1 portera sur la problématique de recherche qui s'inscrira autour d'une approche de modélisation numérique et non-numérique de l'enseignement de la génétique dans la biologie scolaire en insistant sur le contexte théorique et empirique de cette approche dans la génétique scolaire. Le chapitre 2, présentera les notions et expressions conceptuelles discursives piliers et secondaires en rapport avec les

dispositifs d'enseignement et la prise en compte des conceptions des élèves. Afin de mieux comprendre les dimensions de ce sujet, nous insisterons sur une mise au point théorique des concepts piliers de l'étude à savoir les dispositifs d'enseignement, les difficultés d'apprentissage, les conceptions et les représentations. Ce cadre conceptuel s'intéressera au positionnement scientifique dans le champ de l'ingénierie didactique se situant dans le cadre de l'enseignement de la génétique. Il s'intéressera aussi aux fondements scientifiques qui sous-tendent l'élaboration et l'usage des dispositifs de modélisation numérique et non-numérique dans l'enseignement de la génétique. Le troisième chapitre quant à lui examinera de façon critique les fondements didactiques d'une recherche dans le cadre de l'élaboration et de l'implémentation des dispositifs d'enseignement numérique et non numérique de prise en compte des conceptions en génétique. Il sera question de ressortir les théories explicatives de cette étude qui s'inscrivent dans le champ de l'ingénierie didactique, des pratiques pédagogiques instrumentées de la biologie selon le modèle cKç de Balacheff. Afin de mieux opérationnaliser cette recherche, nous allons mobiliser la théorie de l'intervention éducative, la théorie des Situations Didactiques et le modèle cKç de Balacheff

La deuxième partie constituée de deux chapitres portera sur le cadre méthodologique de la recherche. L'objectif de cette partie sera de présenter les dispositifs méthodologiques qui seront mobilisés dans la cadre de cette recherche. Dans le chapitre 4, il sera question d'aborder le type de recherche mobilisé dans cette étude en insistant sur la méthodologie de l'ingénierie didactique et la posture de praticien-chercheur. Par la suite nous présenterons le site de l'étude, la population cible et le plan d'expérimentation. Le chapitre 5 intégrera la présentation des outils et instruments de collecte des données, ainsi que la présentation des méthodes d'analyse de ces données. De façon précise, Nous élaborerons le dispositif de collecte et d'analyse de données mixte intégrant les enregistrements vidéo-scopiques des séances didactiques, les enquêtes par questionnaires, les tests d'analyse ainsi que les démarches mobilisées pour analyser ce corpus de données.

En fin, la dernière partie (la troisième partie) de cette étude insistera sur l'interprétation et la discussion des résultats de l'étude. Elle constituera la partie la plus importante de ce travail de thèse dans la mesure où elle permettra de vérifier les différentes hypothèses formulées et de discuter les résultats à partir du cadre théorique que nous aurons construit. Par conséquent, il sera question de présenter les résultats des analyses préalables ; les résultats de l'analyse a priori, ceux de la conception des dispositifs didactiques numériques et non-numériques de prise en compte des conceptions des apprenants. Nous analyserons au chapitre 6, les

différentes séances didactiques des enseignants tant pour le dispositif non-numérique que pour le dispositif numérique de prise en compte des conceptions des élèves en situation de classe de génétique de Terminale D. Ces séances didactiques porteront sur « la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens (Trisomie 21) en provenance des parents phénotypiquement sains ». L'analyse socio-didactique de ces séances, nous permettra de proposer des dispositifs didactiques de modélisation numériques et non-numériques de prise en compte des conceptions implémentés en salle d'informatique pour le premier et pour le deuxième implémentés directement par l'usage pédagogique de la salle de classe via le non-numérique. Les résultats de l'expérimentation de ces dispositifs didactique de modélisation numérique et non-numérique de prise en compte seront présentés au chapitre 7 où les dispositifs didactiques proposés seront validés à partir d'une analyse a priori et à posteriori ainsi qu'une comparaison statistique des scores entre le groupe témoin et le groupe expérimental. Le chapitre 8 abordera l'interprétation et la discussion des résultats à partir du cadre théorique que nous avons construit sur l'ingénierie didactique fondée sur les dispositifs de modélisation numériques et non-numérique dans l'enseignement de la génétique. La figure 1 illustre un synopsis du plan de notre de recherche tel que présenté ci-haut

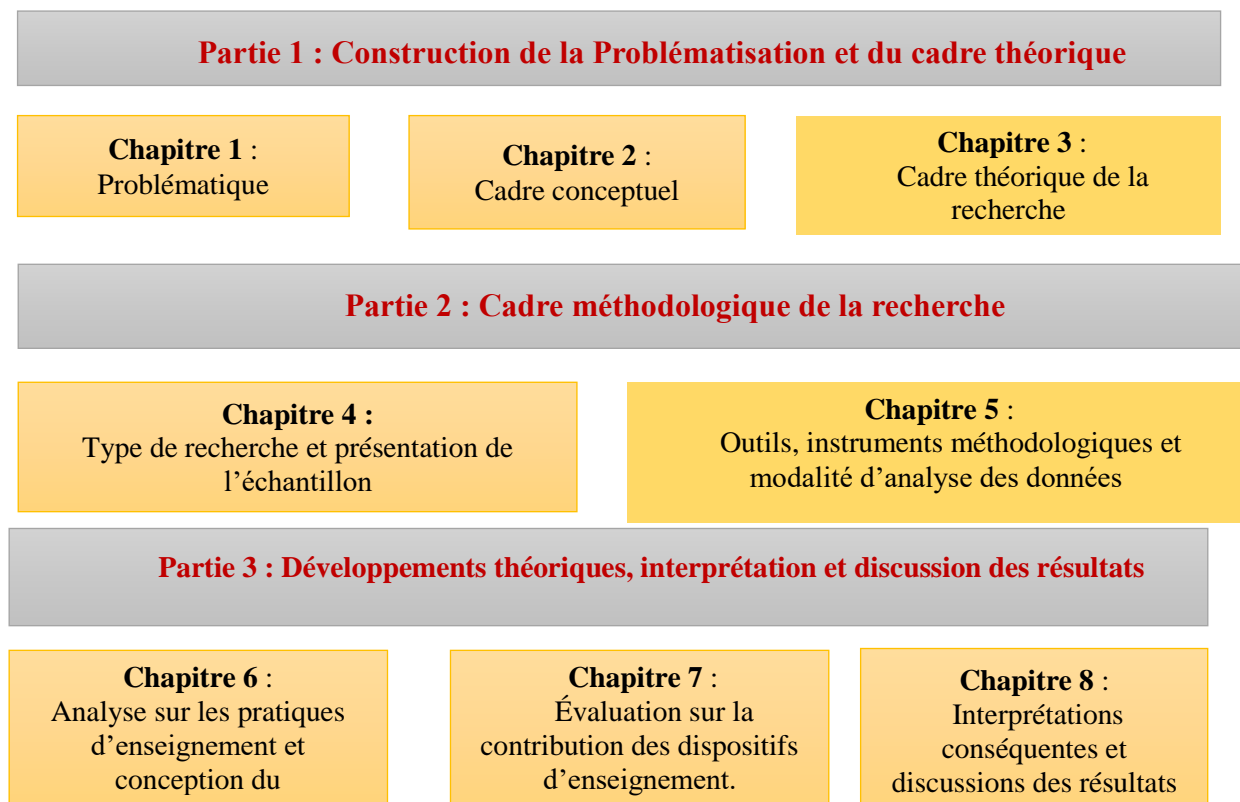


Figure 1: Synopsis de la recherche

Proposée par Mongo Onobiono (2022)

PREMIERE PARTIE :
CONSTRUCTION DE LA PROBLEMATIQUE
ET DU CADRE THEORIQUE

Dans l'enseignement de la génétique, la problématique de prise en compte des conceptions des apprenants constitue l'étape initiale d'une démarche de recherche à partir d'une prise de conscience générale des lacunes des apprenants. Ces problématiques s'interrogent spécifiquement sur les difficultés liées aux représentations et aux conceptions des élèves et les moyens de les faire évoluer. Il s'agit de décrire les symptômes, les incidences déplorables et la genèse d'une situation perfectible en vue d'en venir progressivement à identifier les causes et les besoins, de préciser le problème à résoudre, de le circonscrire dans un cadre d'ensemble et de démontrer la pertinence ainsi que les bénéfices prévisibles d'un processus de résolution (Legendre, 1993, p. 1017). L'enseignement de la génétique dans la biologie scolaire a longtemps été marqué par la primauté des démarches expérimentales et d'investigation. L'élaboration des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des apprenants est au centre des problématiques dans l'enseignement-apprentissage de la génétique dans la biologie scolaire.

Les dispositifs d'enseignement non-numérique et numérique de prise en compte des conceptions des apprenants occupent chacun une place importante dans les pratiques pédagogiques et didactiques de la génétique scolaire et sont considérés comme outils de simulation, de visualisation, de conception, de modélisation, de traitement des savoirs en génétique. Ils jouent un rôle important dans la mise en place des pratiques innovantes contribuant à faire évoluer les conceptions. Ils favorisent une production collective et interactive du savoir et une modification des pratiques pédagogiques (Ngnoulayé, 2010). L'introduction de l'approche par les compétences dans l'enseignement de la biologie s'est accompagnée de la mise en place de nouvelles démarches d'apprentissage reposant principalement sur la prise en compte des représentations et conceptions des apprenants pour construire les savoirs. Dans un tel contexte, les démarches expérimentales, d'investigation et scientifiques se présentent comme des démarches didactiques adéquates pour faciliter l'acquisition des savoirs en génétique humaine. Ces démarches sont implémentées à travers les dispositifs d'enseignement numérique et non numérique de prise en compte des conceptions des élèves utiles pour élaborer des savoirs théoriques et faire évoluer les conceptions des élèves en génétique vers le savoir scientifique. Cette partie aborde les axes majeurs de la problématique, du cadre conceptuel et théorique de la recherche sur l'élaboration et l'implémentation des dispositifs numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves en difficulté d'apprentissage. De façon spécifique, elle permet d'une part de positionner notre recherche dans le champ de la didactique de la biologie

en présentant « l'arrangement des concepts et sous-concepts construits au moment de la formulation du problème pour asseoir théoriquement l'analyse ultérieure de l'objet d'étude» (Mace 1988, p. 45). Et d'autre part de construire le cadre de référence théorique au regard des problématiques sur les dispositifs numériques de prise en compte des conceptions des élèves en génétique. La construction de ce cadre étant

Constituée des théories et des concepts qui servent de matrice théorique pour les étapes successives de la recherche. Cette matrice est élaborée à partir des analyses conceptuelles et rhétoriques du corpus théorique. Ces analyses conduisent à une nouvelle mise en réseau ou cartographie des concepts, voire à leur définition, cartographie qui constituera la matrice théorique (Gohier, 2000, p. 99).

De ceci découle une structuration en trois principaux chapitres de cette partie.

Le premier chapitre s'articule autour de la problématique de la recherche en insistant sur le contexte scientifique et institutionnel dans lequel s'inscrivent cette recherche, le problème de recherche, les questions de recherche qui y sont liées et l'intérêt de la recherche. Le chapitre deux quant à lui présente les assises conceptuelles de cette recherche. Il présente l'arrangement des concepts et sous-concepts construits au moment de la formulation du problème pour asseoir théoriquement l'analyse ultérieure de l'objet d'étude. Le troisième chapitre aborde les fondements didactiques qui structurent cette étude. Il fait référence à une revue critique de la littérature et à des théories explicatives du sujet.

CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE

La problématique est une suite d'idées construites autour d'une question principale de recherche et des lignes d'analyses qui permettent de traiter un sujet donné. Il s'agit de décrire les symptômes, les incidences déplorables et la genèse du problème à résoudre en vue d'en venir progressivement à identifier les causes et les besoins, de le préciser, de le circonscrire dans un cadre d'ensemble et de démontrer la pertinence ainsi que les bénéfices prévisibles d'un processus de résolution (Legendre, 1993). Ce chapitre sur la problématique s'interroge spécifiquement sur les difficultés liées aux conceptions des élèves et sur les dispositifs susceptibles de les faire évoluer. Il débouche sur «la grande question qui orientera l'investigation vers une réponse » (Demers 1993, p. 70). Il comporte des éléments tels que les questions, les difficultés, les interrogations, les énigmes inédites et pertinentes dans ce domaine spécifique de recherche et qui stimulent à entreprendre une recherche proprement dite

Dans ce chapitre, nous présenterons d'abord le contexte général de l'étude et la justification du choix de l'étude. Ensuite, nous dégagerons la position et la formulation du problème, comportant les constats et le problème proprement dit. Enfin, nous éluciderons les questions de recherche, les objectifs de recherche, l'intérêt de l'étude la délimitation de l'étude et les difficultés rencontrées dans l'enseignement de la génétique.

1. Contexte et justification de l'étude

Dans le système anglo-saxon, et même dans les systèmes éducatifs dans le monde à l'exception du système francophone, la biologie est une discipline à part-entière. Elle est incorporée dans les disciplines aux appellations variées telles que les Sciences, les sciences Naturelles (SN), les sciences de la vie et de la Terre (SVT), les Sciences de la Vie et de la Terre, Éducation à l'Environnement, Hygiène et Biotechnologie (SVTEEHB) dont l'appellation varie d'un pays à un autre ou d'un cycle scolaire à un autre.

1.1. Histoire et Épistémologie de la biologie

Étymologiquement parlant, le terme biologie vient de deux mots à savoir Bios qui signifie Vie et Logos qui signifie Sciences. Tirée de son sens étymologique, la biologie est donc la science du Vivant. Pris au sens du vivant, la biologie recouvre une partie des sciences naturelles ou science de la nature et de l'histoire naturelle du vivant (Not, 1997). L'objet biologique se présente sous plusieurs formes et à des échelles différentes projetant la biologie sous un très large spectre, allant du niveau moléculaire, en passant par celui de la cellule, des tissus, des organes, de l'organisme, jusqu'au niveau de la population et de l'écosystème. Ces différentes échelles ci-dessus montrent que le domaine du vivant attaché à la biologie est très hiérarchisé et se spécialise en des multiples domaines liés les uns les autres au fur et à mesure qu'il progresse.

La création de ce néologisme se fait de manière indépendante entre la fin du 18^e siècle et le début du 19^e siècle. C'est à cette période qu'on trouve pour la première fois les conceptions de l'être vivant qui reconnaît son originalité comparativement à ce qu'avaient tendance à faire les fixistes et les vitalistes (Lamarck, 1893). Lamarck, en tout début de sa carrière d'enseignant de biologie en 1819, va se prêter à un exercice capital. Dans son ouvrage Hydrogéologie paru en 1802, Il sépare la science de la matière en trois parties : l'hydrogéologie (étude de la croûte minérale), la météorologie (étude de l'atmosphère), la biologie (étude des corps vivants)

Pour les auteurs allemands comme Theodor Georg August Roose et al (1802), il est question de montrer que tout ce qui est généralement commun aux animaux et aux végétaux, doit constituer l'unique et vaste objet d'une science particulière qui porterait le nom de « biologie » bien qu'encore inconnu.

Quelques années plus tôt en 1789, les savants Allemands, à l'appel, de Treviranus, lancent les méticuleux inventaires de la flore et de la faune, réalisés par ceux qui, respectivement, se nommeront botanistes et zoologistes. Vers le milieu du 19^e siècle, un intérêt pour les fonctions du vivant oriente la recherche biologique vers la physiologie.

La biologie doit être une science expérimentale d'après Claude Bernard (1873) « La méthode qui consiste à définir et à tout déduire d'une définition peut convenir aux sciences de l'esprit, mais elle est contraire à l'esprit même des sciences expérimentales ». En conséquence, « il suffit que l'on s'entende sur le mot vie pour l'employer » et « il est illusoire et chimérique, contraire à l'esprit même de la science, d'en chercher une définition absolue » (Claude Bernard, 1873, p.79). La biologie semble être restée fidèle à cette conception. Elle continue à être assimilée à la notion de vie, et le sens commun la désigne comme science du vivant.

L'être vivant, le fonctionnement des organismes et la vie dans sa globalité représentent l'objet de la biologie. Ainsi Claude Bernard (1878), dans la première de ses leçons sur les phénomènes de la vie commune aux animaux et aux végétaux, déclare explicitement que l'on n'a pas à définir à priori, la notion de vie. Cette analyse permet d'appliquer ce qualificatif du vivant à d'autres objets présentant les mêmes caractères, et ainsi de mettre en évidence un certain nombre de caractéristiques commune à ces objets d'étude. Cette méthode, exclusivement expérimentale et analytique, a considérablement renforcé la scientificité et l'efficacité du travail du biologiste, ceci comparativement aux représentations souvent spéculatives qui précèdent Claude Bernard.

La biologie est considérée comme une science expérimentale. Mais toutes les connaissances biologiques ne sont pas obligatoirement fondées sur les expériences. C'est le cas par exemple de l'étude de la biosphère et des écosystèmes, bien que dans certains cas la pollution industrielle ou Tchernobyl sont considérés comme des expérimentations.

Sur le plan mondial, les recherches en biologie font la plupart du temps l'objet d'un regroupement en trois types :

- **À partir d'observations à l'œil, et d'observations instrumentalisées :**

L'observation des phénomènes biologiques pourrait se faire soit à l'œil nu, (c'est le cas de l'observation des phénomènes, des organismes et organes macroscopiques), soit à travers l'observation instrumentalisée, (c'est le cas de l'observation des organismes microscopiques).

- **À partir d'expérimentation**

Des recherches en didactiques de la biologie ont en revanche porté sur l'expérimentation, qui est à la base de nombreux travaux pratique (TP) de biologie. Depuis les travaux pionniers de Giordan (1978), Cauzimille et al. (1983), Astolfi (1984) jusqu'à la thèse de B. Darley (1984) et aux recherches en cours sur "la main à la pâte", coordonnées par les TP, Le modèle OHERIC a fait et fait encore référence en se basant sur une interprétation trop rapide des écrits de Claude Bernard.

- **À partir de la modélisation des phénomènes biologiques**

Ce type de recherche en biologie consiste à tester des modèles théoriques, ou d'en concevoir de nouveaux à partir des données empiriques. La modélisation joue un rôle croissant dans les recherches en biologie. Les représentations graphiques de type cladogramme ou analyse systémique, ainsi que les modèles sophistiqués de type auto-organisation sont légion. En somme il était question pour nous de voir comment l'on peut définir le vivant à partir d'un point de vue philosophique.

1.2. Situation des enseignements de la biologie dans le monde

L'enseignement de la génétique (contenu de la biologie) dans le monde est marqué par deux principaux modèles de dispositifs d'enseignement à savoir, celle basée sur les activités d'éveil et celle basée sur la chose des objets macroscopiques, microscopiques et moléculaire du vivant. Ces deux modèles de dispositifs pédagogiques diffèrent sur les plans psychologiques et épistémologiques à la faveur de l'évolution des courants pédagogiques.

Le dispositif basé sur la chose ou des objets macroscopiques, microscopiques et moléculaire du vivant, repose sur deux traditions épistémologiques et est considérée comme le modèle de dispositif le plus ancien. Dans ce modèle, les traditions épistémologiques prônent l'idéalisme de la connaissance où l'élève découvre par lui-même le savoir à travers les réponses aux questions posées par l'enseignant sur la base de l'observation d'un objet biologique. Dans ce modèle, l'élève s'approprie les savoirs en découvrant lui-même la solution au problème.

Ce modèle considéré comme le plus ancien s'explique par le postulat selon lequel « toutes connaissances s'acquière par expérience. L'apprenant est donc considéré comme une cire molle que l'enseignant doit façonner selon un plan prédéterminé. Ils énoncent le statut de l'apprenant, de l'enseignant et savoir (Nkeck Bidias, 2015)

Le dispositif basé sur les activités d'éveil fait partie d'un modèle qui s'illustre dans la réflexion sur les théories de l'apprentissage. Ces activités permettent de montrer que l'élève doit être placé au centre de ses apprentissages. Dans cette situation, Il doit résoudre les problèmes en cherchant à surmonter les obstacles liés à l'apprentissage. Les schémas qui semblent mieux adaptés à ces activités d'éveil sont : les schémas DiPHTeRIC (Données initiales, Problèmes scientifique, Hypothèse, Test de conséquence, Résultat, Interprétation et Conclusion) ; OHERIC (observation, Hypothèses, Expérience, Résultats, Interprétation, et Conclusion) ou Poppérien (présupposes, expérience, doute ou étonnement, élaboration d'une nouvelle représentation de la situation). Ces trois schémas nous permettent de noter que les notions de base de la didactique font l'objet de l'essentiel de la formation des élèves en sciences (Nkeck Bidias, 2015)

Dans le contexte Français, et suivant à l'arrêté n° -2004-922/ Ministère de l'Education Nationale du 31 Aout 2004 portant sur l'enseignement de la biologie, il est stipulé que conformément à l'alinéa 6 de l'article 3, de la loi du 20 Aout 1981 "la confection des manuels scolaires ainsi que les situations d'enseignement y afférentes doivent prendre en compte des représentations des élèves ". Dans ce cas, les enseignants doivent suivre le schéma DiPHTeRIC (Données initiales, Problèmes scientifique, Hypothèse, Test de conséquence,

Résultat, Interprétation et Conclusion) pour recenser les conceptions initiales des élèves au travers d'un problème scientifique qu'il propose aux élèves, leur donnant la possibilité d'émettre des réponses qu'il prendra la peine d'apprécier. L'enseignement de la biologie nécessite l'utilisation des différents outils (outils d'observation, de modélisation et d'expérimentation) qui viennent comme une aide personnalisée dans le processus d'enseignement/apprentissage et dans le but de permettre aux enseignants d'atteindre rapidement leurs objectifs (programme personnalisé de réussite scolaire ; intervention du réseau d'aide spécialisé aux enfants en difficulté)

De ce point de vue, Audiger, François dans Représentation des élèves et didactique des disciplines, Revue française de pédagogie No 85, 1998, p.12 insistent sur le fait que dans les disciplines scientifiques, des Sciences sociales en France, les dispositifs d'enseignement doivent intégrer la gestion des représentations et les conceptions des élèves, et celles-ci doivent avoir une place importante dans le processus enseignement/apprentissage. Pour ces auteurs Français, la présence d'éventuels obstacles dans l'enseignement/ apprentissage des différentes disciplines scientifiques en générale et de la biologie en particulier, est liée en partie à l'absence de prise en compte des conceptions des élèves par le biais des dispositifs d'enseignement. L'élaboration des dispositifs d'enseignement qui prennent en compte les conceptions initiales des apprenants évite que les élèves puissent trainer des conceptions erronées tout au long de leur cursus scolaire. Il interpelle là, les enseignants Français des sciences sociales et ceux des sciences dures en général et les enseignants de biologie en particulier, à intégrer la prise en compte des conceptions dans leurs dispositifs d'enseignement, question de toujours prendre en compte les conceptions des élèves en début de séance d'enseignement/apprentissage.

1.3. L'enseignement de la biologie au Cameroun

L'enseignement de la biologie se situe actuellement dans l'enseignement des sciences au primaire, en enseignement Technique, en classe d'observation (classe de 6^e et 5^e du sous-système francophone) et en série littéraire du secondaire (seconde littéraire, première littéraire et Terminale littéraire). Elle se situe dans l'enseignement des SVTEEHB en classe de 4^e, 3^e et séries scientifiques du secondaire (seconde C, premières scientifiques et Terminales scientifiques). Au Cameroun la biologie constitue une partie importante des programmes de SVTEEHB dans les classes scientifiques du second cycle. Au départ, elle se résumait à l'hygiène qui enseignait la bonne tenue alimentaire, corporelle et environnementale. Elle est du moins une approche notionnelle et fonctionnelle qui renforce les notions acquises à l'école

primaire. Les enseignements de biologie ont évolué au Cameroun (guide pédagogique, 2014) suivant certains critères :

- Des années de l'indépendance du Cameroun à 1994, les enseignements de biologie de manière générale et de génétique en particulier sont présents en contenus disciplinaires décomposés en micro-unités. Le principe organisateur de cette période est que les contenus disciplinaires sont transmis par l'enseignant et restitués par l'apprenant

- De 1994 à 2014, les enseignements de biologie en général et de génétique en particulier sont présents en objectifs d'apprentissage distinct devant être atteint par l'apprenant. On tient compte dans cette période du comportement observable des apprenants basé sur la transmission des contenus disciplinaires.

- De 2014 à nos jours, les enseignements de biologie en général et de génétique en particulier sont présents dans des unités d'apprentissage enseignés par objectifs. À la fin de chaque unité d'apprentissage, les savoirs de biologie enseignés par objectif seront mobilisés pour permettre aux élèves d'acquérir une compétence biologique précise.

La décision N° 114/B1 /1464 MINEDUC/SG/IGP/ESG du 4 Mars 2002 introduit l'utilisation des supports d'enquête, de découverte et d'expérimentation dans l'enseignement de la biologie. Elle prône la mise en place des bases d'une culture scientifique élargie qui intègre les technologies nouvelles dans la production pastorale et agroalimentaire, l'ingénierie génétique et la biotechnologie. Elle améliore : la formation des apprenants aux raisonnements scientifiques et aux modes de pensées expérimentales ; la formation des élèves à une communication scientifique efficace ; le développement des attitudes responsables chez les apprenants du secondaire vis-à-vis de la santé, de la reproduction, de l'environnement et de la vie.

À partir de cette décision du 4 Mars 2002, la formation continue des enseignants de SVT lors des journées pédagogiques et lors des conseils d'enseignement sera davantage marquée par l'amélioration de leurs compétences professionnelles tant sur le plan scientifique, que sur les plans didactique et pédagogique.

Sur le plan scientifique, la formation continue des enseignants de SVT consiste à les former sur les capacités à impliquer les élèves dans la formulation et la résolution des problèmes. Elle vise l'organisation, l'apprentissage et l'acquisition des connaissances dans une démarche plus active.

Sur le plan pédagogique, la formation continue des enseignants de SVT consiste à les former sur la capacité à privilégier la méthode participative parmi les nombreuses méthodes qui existent (magistrale, participative, enquête/ découverte...). Les descentes des inspecteurs

de science visent à renforcer la formation des enseignants de SVT sur la capacité à utiliser les guides pédagogiques et à s'appuyer sur la pratique expérimentale, étant donné que cette méthode prédispose l'apprenant à l'esprit scientifique et à l'atteinte des objectifs cognitifs.

Les enseignements de biologie évoluent au Cameroun (guide pédagogique de SVT, 2014). Le guide pédagogique préconise l'enseignement de cette discipline en outillant l'enseignant de sorte qu'il soit capable d'organiser les élèves par petits groupes de travail pour permettre à ces élèves d'être au centre, voire acteurs de la leçon. À partir de 2014, l'enseignement des SVT repose sur la formation des apprenants à la pratique d'une démarche hypothético-déductive dans le but de les conduire à l'acquisition d'une attitude scientifique. Les formations continues des enseignants de SVT sont ainsi centrées sur l'acquisition des capacités à utiliser la démarche explicative et l'approche fonctionnelle. L'enseignement des SVT privilégie donc la mise sur pied des dispositifs d'enseignement liés à des approches pédagogiques reposant tant sur la résolution des problèmes scientifiques que sur les simples restitutions des connaissances. Ce qui signifie que l'important dans l'enseignement de la SVT repose sur les raisonnements scientifiques et sur la maîtrise des techniques de la communication et de la documentation scientifiques notées sur trois quarts par rapport à l'acquisition des connaissances notées sur un quart.

Selon l'arrêté conjoint interministériel N°281/07/MINEDUC du 18 janvier 2017 portant sur l'intégration des curricula d'EVF/EMPNIH/sida dans les programmes de formation et d'enseignement au Cameroun, l'approche méthodologique en vigueur en SVTEEHB suit dans ses grandes lignes la démarche expérimentale (Biologie, Physique, chimie, etc.) dans le déroulement des enseignements au travers des dispositifs d'enseignement :

L'enseignement de SVTEEHB répond aux objectifs généraux et spécifiques énoncés respectivement par l'État du Cameroun et le Ministère en charge des enseignements secondaires au Cameroun. En ce qui concerne l'enseignement de cette discipline au Cameroun, les objectifs sont définis par l'arrêté N°19/D/30/MINEDUC/IGP/ESG du 24/04/94, portant sur la définition des contenus de biologie des différents niveaux de l'enseignement secondaire général. Ainsi, partant de cet arrêté, les dispositifs d'enseignement, quelle que soit l'approche pédagogique utilisée doivent amener l'élève au cours de sa formation scolaire, à acquérir des connaissances scientifiques de base accompagnées des différentes techniques destinées à assurer sa formation en biologie. Cet arrêté prône l'élaboration des dispositifs d'enseignement comportant quelle que soit l'approche pédagogique en vigueur, les éléments tels que la récolte du matériel d'étude dans le milieu environnant ; l'observation par les élèves du matériel vivant et tout autre échantillon ;

l'interprétation des phénomènes biologiques ; la formulation des hypothèses. L'enseignant de SVT au travers des dispositifs d'enseignement en salle de classe et quelle que soit l'approche pédagogique en vigueur, doit proposer aux élèves des protocoles d'expériences ; la réalisation des expériences ; l'interprétation et la critique des expériences par l'utilisation des documents. Les dispositifs d'enseignement en biologie doivent donner la possibilité à l'élève de représenter ce qu'il observe et d'exposer à ses camarades ce qu'il a compris.

Ainsi, dans un dispositif d'enseignement de SVT, ce sont ces éléments qui orientent les choix des méthodes et techniques de l'enseignant.

Dans le contexte Camerounais, une politique éducative nationale et un document national de référence sur l'APC relatifs à la prise en compte des conceptions des élèves ont été développés en biologie dans le cadre de l'APC. En outre, les formations continues à portée nationale à l'endroit des enseignants de SVTEEHB doivent renforcer les capacités des acteurs de l'éducation dans la prise en compte des conceptions des élèves. L'inspection générale de pédagogie des sciences propose aux enseignants par le biais du programme officiel de biologie, d'apprendre aux élèves à observer minutieusement les objets et de les initier de manière progressive à l'expérimentation. Le contenu des SVTEEHB/biologie a été réparti en chapitres, et chaque chapitre structuré en leçons dans le "programme officiel de SVTEEHB" disponible dans les inspections régionales de SVTEEHB. Dans ce document officiel élaboré par l'autorité étatique compétente en la matière, chaque leçon transforme les savoirs, en savoir-faire théoriques et en savoir-faire expérimentaux.

Cependant, tout en définissant les objectifs à atteindre, il a aussi été circonscrit les contours de l'évaluation en SVTEEHB, parmi lesquels ceux de l'évaluation diagnostique appropriée destinée à faire émerger les conceptions des apprenants. Cette initiative du gouvernement Camerounais apparaît au moment où les différents systèmes éducatifs dans le monde se mobilisent dans le but de réduire les obstacles à l'apprentissage et par conséquent, les échecs scolaires. Étant donné que les SVTEEEHB ont un très grand coefficient pour les élèves de Terminale D ; la partie génétique occupe un grand pourcentage dans cette classe. L'État camerounais au travers des textes administratifs tels que l'arrêté N°19/D/30/MINEDUC/IGP/ESG du 24/04/94 a pris des décisions importantes pour résoudre le problème de l'échec scolaire en SVTEEHB. Il prescrit par cet arrêté la descente sur le terrain des différents inspecteurs pédagogiques de SVTEEHB dans les établissements scolaires en vue de s'assurer de la motivation des différents acteurs de l'éducation. Ce même texte prévoit des carrefours pédagogiques entre inspecteurs pédagogiques de la discipline et enseignants de cette même discipline afin de se rassurer de l'utilisation des dispositifs

d'enseignement adéquats en salle de classe. A cet effet, chaque enseignant de SVTEEHB est supposé être inspecté dans sa salle de classe au moins deux fois l'année scolaire. Au cours de cette inspection en salle de classe, les inspecteurs évaluent le dispositif d'enseignement utilisé par l'enseignant. Ils s'assurent qu'il est en adéquation avec l'approche pédagogique prônée par le gouvernement. Lors des carrefours pédagogiques, les inspecteurs encouragent les enseignants à impliquer les élèves dans les tâches qui leur sont proposées dans le dispositif d'enseignement afin qu'ils participent eux aussi à la construction de leurs propres savoirs en SVTEEHB/biologie en général et en génétique humaine en particulier. Les différents projets pédagogiques de SVTEEHB élaborés par le gouvernement par le biais de l'inspection des SVTEEHB, stipulent qu'il est du devoir de chaque enseignant de tenir compte de ce que les élèves savent déjà pour préparer leurs séances d'enseignements et leurs situations d'apprentissages. Ceci veut dire que le dispositif d'enseignement de SVTEEHB/biologie doit permettre à l'enseignant d'identifier en tout début de séance d'enseignement, ce que les élèves savent. De ce fait, le projet pédagogique de SVTEEHB élaboré par l'inspection de ladite discipline, prévoit une évaluation diagnostique incluse dans le dispositif d'enseignement en tout début d'enseignement. Ce projet pédagogique insiste sur le fait qu'en début de séance de cours, l'enseignant doit procéder préalablement à une évaluation diagnostique, suivie d'une révision à travers un dispositif d'enseignement préparé à l'avance. C'est au cours de cet exercice que les conceptions des élèves pourront émerger.

Dans la même lancée, L'État Camerounais, selon la loi no 98/004 du 14 Avril 1998, a aussi pris certaines mesures visant à susciter une construction des savoirs par les apprenants. Ceci sur le plan pédagogique, où il est à noter l'organisation des journées et des conseils d'enseignement. Selon cette loi, ces rencontres entre enseignants d'une même spécialité visent au renforcement des capacités didactiques des enseignants par des échanges d'expérience qui constituent ainsi une formation continue pour les enseignants.

1.4. L'enseignement de la génétique en classe de Terminale D au Cameroun

Le programme de SVTEEHB de la classe de Terminale D prévoit un quota horaire de 7 heures hebdomadaires de cours à l'intérieur desquelles sont inclus les travaux pratiques, le tout repartit en 2h maximum par séance. Il est recommandé aux enseignants 2 heures hebdomadaires de travaux pratiques par groupe de 25 à 30 élèves. Le programme de SVTEEHB en Terminale D comporte 15 chapitres qui sont regroupés en 4 parties. La partie génétique, est comprise dans le module du monde vivant à elle seule occupe un quota horaire

de 56 heures pour un quota horaire général en SVTEEHB de 180 heures. Les dispositifs d'enseignement en génétique tels que prônés par La décision N° 114/B1 /1464 MINEDUC/SG/IGP/ESG du 4 Mars 2002 incluent l'acquisition des connaissances scientifiques en génétique. Ils sont élaborés de manière à permettre à l'élève de maîtriser en génétique, les connaissances scientifiques ainsi que les notions et des concepts de base. Ces dispositifs d'enseignement contiennent la description des grandes fonctions biologiques, ainsi que celle de la fonction de reproduction sexuée. Ils expliquent la relation entre la reproduction sexuée, la diversité au sein d'une population et le brassage génétique. Ils permettent au niveau de l'acquisition des méthodes et des techniques, la formation des élèves au raisonnement scientifique en génétique ; l'acquisition des compétences techniques et méthodologiques de base et une autonomie pour une meilleure organisation des connaissances dans ce domaine.

Basés sur la décision N° 114/B1 /1464 MINEDUC/SG/IGP/ESG du 4 Mars 2002 portant définition des programmes et contenus des SVT du second cycle de l'enseignement secondaire Général, les dispositifs d'enseignement de génétique tablent sur l'observation et la schématisation des objets biologiques et des phénomènes génétiques. L'enseignant de SVT au travers du dispositif d'enseignement pose le problème scientifique à résoudre, découlant de l'observation des phénomènes génétiques ; de la formulation des hypothèses et de la conception des expériences de vérification des hypothèses en génétique ; de la réalisation technique des protocoles expérimentaux ; de l'utilisation de l'outil mathématique pour le calcul des probabilités lors des croisements ; de l'exploitation des textes scientifiques, des graphiques ; des schémas ; de l'intégration des résultats d'expérience. Ces dispositifs d'enseignement de la génétique possèdent une démarche scientifique expérimentale.

Selon l'arrêté N°19/D/30/MINEDUC/IGP/ESG du 24/04/94, les enseignants de SVTEEHB, par le biais des dispositifs d'enseignement de génétique de Terminale D, ont la responsabilité d'utiliser des échantillons prélevés dans le milieu naturel, des planches, des photographies, le livre de l'élève, des schémas, des diapositives et des films vidéo en vue de développer chez l'apprenant des compétences relatives à l'observation, à l'analyse et à l'interprétation, etc.

Dans ces dispositifs d'enseignement, Les enseignants de SVTEEHB ont aussi la responsabilité, d'utiliser du matériel de laboratoire classique et de mini-laboratoire pour la manipulation et l'expérimentation par l'apprenant en vue de développer des compétences liées à la pratique de la démarche expérimentale en génétique.

L'arrêté N°19/D/30/MINEDUC/IGP/ESG du 24/04/94 quant à lui prescrit les dispositifs d'enseignement en génétique de Terminale D guidés par le brainstorming, des exposés, des

causeries éducatives, des témoignages, des discussions et débats, des jeux de rôles, des études de cas, des excursions sur le terrain, des visites guidées, des enquêtes, des collectes de données, des simulations d'activités des clubs.

Les enseignants de SVT ont par ailleurs la responsabilité d'élaborer les dispositifs d'enseignement avec utilisation adéquate des supports didactiques et l'application de méthodes d'animation appropriées. Ces dispositifs doivent comporter des séquences d'apprentissage en vue de développer chez l'apprenant des compétences de vie courante. Tout ce travail doit faire partie dans la salle de classe des objectifs pédagogiques d'apprentissage.

D'après l'arrêté N°19/D/30/MINEDUC/IGP/ESG du 24/04/94, portant sur la définition des programmes de sciences naturelles des classes du second cycle de l'enseignement secondaire général, le module de génétique dans la classe de Terminale D se répartit en quatre chapitres dont les objectifs sont :

- ❖ interpréter les lois statistiques de la génétique classique.
- ❖ assimiler les lois de transmission de l'information génétique.
- ❖ connaître les caractères relevant de l'hérédité humaine.
- ❖ comprendre le phénomène de transmission des anomalies chromosomiques et des maladies génétiques.
- ❖ connaître la nature chimique du matériel héréditaire.
- ❖ comprendre le mode d'action des gènes.

Depuis la décision N° 114/B1 /1464 MINEDUC/SG/IGP/ESG du 4 Mars 2002 portant définition des programmes des sciences de la vie et de la Terre en classe de Terminale D, le programme de SVT contient 4 modules ou parties subdivisés en chapitres. Le premier module qui est celui du monde vivant incluant la génétique possède à lui seul 56 heures annuelles sur 180 heures, soit 31,1% du coefficient six (6) que compte cette discipline. L'épreuve de SVTEEHB au Baccalauréat D possède toutes les 4 parties. La section consacrée à génétique compte à elle seule 6 points/20 dans chacun des deux sujets au choix. Ce qui fait un total de 36 points coefficientés en SVTEEHB . Rappelons que la SVTEEHB a le plus important coefficient dans cet examen à savoir coefficient 6 pour un total général de 24. Elle possède donc à elle seule le quart des points à cet examen. Soit une moyenne générale de 05/20. La partie génétique qui possède 06 points représente à elle seule une moyenne non négligeable de 01,5/20 sur la moyenne générale au baccalauréat série D.

Le module de génétique humaine se reparti en différents chapitres qui sont :

- ❖ les mécanismes fondamentaux de la reproduction sexuée chez les mammifères qui occupe un quota horaire de (20 heures)
- ❖ le brassage génétique assuré par la reproduction sexuée et unicité génétique des individus. (18 heures)
- ❖ hérédité humaine (10 heures)
- ❖ la prévision en génétique humaine (11 heures)

L'enseignement de la génétique en classe de Terminale D au Cameroun connaîtra une évolution par le biais des différents dispositifs d'enseignement mis en exergue.

1.5. Évolution des dispositifs d'enseignement en biologie dans le contexte camerounais

La question des dispositifs d'enseignement liées aux approches pédagogiques appliquées ou applicables s'inscrit dans le cadre des sujets d'actualité en contexte camerounais. En effet, les dispositifs d'enseignement de la biologie sont en pleine mutation paradigmatique à travers le passage de la pédagogie par objectif (OPO) à l'approche par compétence (APC). La première approche (PPO) existe au Cameroun depuis les années 90 (Ministère de l'Éducation Nationale, 1990). Durant deux décennies, les dispositifs d'enseignement liés à cette approche étaient obsolètes, d'où la réforme engagée et le recours aux dispositifs d'enseignement liés à la NAP et à l'approche la main à la pâte d'une part, et celle liés à l'APC d'autres part. C'est dans le sillage de ces changements que les autorités scolaires en charge de la question ont initié une mutation progressive qui se traduit par l'évolution étape par étape de l'implémentation de l'APC. Cette dernière approche consacre depuis l'année scolaire 2017-2018 la couverture totale du premier cycle et depuis l'année scolaire 2020-2021 la couverture totale du second cycle. Ce qui est un indicateur suffisant et serviable en vue de la réalisation d'un bilan à mi-parcours ou alors, une opportunité de projeter une nouvelle vision ou de proposer de nouvelles perspectives à ce qui a déjà été engagé comme dispositif dans l'enseignement de la biologie en général et dans l'enseignement de la génétique humaine en particulier.

Le point d'ancrage de cette présentation se situe au niveau de l'observation des conditions d'implémentation des dispositifs d'enseignement corespondants à l'une et l'autre approche et le questionnement des possibilités de production des résultats escomptés par ce changement au niveau des dispositifs d'enseignement. De ce fait, les conditions qui ont toujours entouré le changement de paradigme pédagogique et des dispositifs d'enseignement liés à ces paradigmes au Cameroun sont troubles au regard de leur détachement de la science et du devel'expertise en la matière. En effet, que ce soit l'avènement de la PPO avec

implémentation de ses dispositifs d'enseignement, de la NAP, de l'approche "la main à la pâte" avec leurs dispositifs d'enseignement ou de l'APC avec les leurs, il convient de noter à suffisance qu'il s'agit des changements initiés plus par convictions politiques que techniques.

1.5.1. Dispositifs d'enseignement lié à l'approche par objectif (APO)

Ces dispositifs d'enseignement dans l'enseignement de la biologie/génétique humaine utilisent la taxonomie de bloom à travers la pratique de l'approche par objectif. Dans ce dispositif d'enseignement, les contenus sont enseignés par petits unités permettant l'acquisition des savoirs, des savoirs faire et des savoirs être. Il n'existe pas dans ces dispositifs de situation problème en début de cours permettant de faire émerger les conceptions des élèves. Ces dispositifs d'enseignement liés à l'approche par objectif permettent aussi l'implémentation des techniques d'enseignement spécifiques. D'après les textes officiels du ministère national de 1992 qui définissent le plan de rénovation de l'enseignement des Sciences Naturelles (discipline où est enseignée la biologie en général et la génétique humaine en particulier), au Cameroun comme étant la démarche employée dans les dispositifs d'enseignement à l'école. Ce plan de rénovation des dispositifs d'enseignement liés à l'approche par objectif apparait comme fondé sur le questionnement, l'investigation et la mise sur pied d'un projet constitutif du cours de biologie en général et de la génétique humaine en particulier. La génétique humaine constitue une unité d'enseignement des sciences naturelles/ Sciences de la vie et de la Terre en Terminale D.

Les différents dispositifs d'enseignement correspondants à l'approche par objectif doivent tenir compte de l'explication du réel :

- À partir de l'observation de phénomènes perceptibles à différents niveaux d'organisation
- À partir de manipulations permettant d'éprouver des hypothèses explicatives, l'arrêté no 78/B1/1464 / MINEDUC/SG/IGP/ESG/ESTP/EPMN du 14 Aout 1996a institué au Cameroun nous permet de citer les acquis suivants :
- La définition claire des objectifs décrivant les performances attendues des apprenants à l'issue de leur formation
- La planification des tâches et des activités d'enseignement /apprentissage de biologie/génétique humaine ;
- L'éclatement des acquis scolaires de biologie/génétique humaine en termes de savoir et de savoir-faire

En partant des dispositifs d'enseignement de biologie/génétique humaine liés à la PPO, si son entrée en scène en 1990 semble être une volonté politique, visant à se détacher quelque peu des influences des programmes scolaires inspirés de la colonisation (Nkoumou, 2015), tel n'est pas le cas pour les dispositifs d'enseignement de biologie/génétique humaine liés à l'APC. L'adoption de ce paradigme pédagogique et du dispositif d'enseignement correspondant est le fruit de l'influence incessante de nombreuses organisations internationales en l'occurrence l'UNICEF, l'UNESCO, la BM, l'OIF pour ne citer que celles-là. À travers la CONFEMEN, la BM et les autres organismes internationaux ont notamment proposé, voire imposé la mise en application de l'approche par les compétences et l'utilisation des dispositifs d'enseignement appropriés, avec pour moyen de pression, le conditionnement des aides accordées aux pays par l'adoption de cette exigence (Nkoumou, 2015). C'est en observant cette démarche qu'il nous revient de jeter un regard scientifique un peu plus rigoureux en questionnant les conditions d'implémentation des dispositifs d'enseignement liés à la PPO et ceux liés à l'APC afin de ressortir le substrat didactique pouvant constituer l'enjeu de leur survie pédagogique.

À l'époque de la PPO, l'observation participante que nous avons réalisée en tant qu'enseignant nous permet de soulever un nombre important d'inconvénients des dispositifs d'enseignement liés à la PPO, sujets à caution ; cet aspect a été assez profondément abordé dans certains articles comme ceux de (Nkoumou, 2015) et de (Njoh, 2015). De ces pratiques, il ressort que les conditions d'application des dispositifs d'enseignement liés à la PPO constituaient déjà un facteur limitant, ne permettant pas à cette approche et aux différents dispositifs y afférents de faire suffisamment leurs preuves dans la prise en compte ou la gestion des conceptions des élèves dans les disciplines des sciences dures, et des sciences sociales d'une part, et de la biologie et les contenus de génétique d'autre part. Partant des aspects sociaux, économiques, politiques et même institutionnels, l'atteinte des objectifs fixés au préalable est hypothéquée par ces contingences récurrentes qui plombaient déjà la PPO et leurs dispositifs d'enseignement à la base. En cela, l'existence des effectifs pléthoriques, l'absence de documentation adéquate sont des réalités qui ont assigné l'enseignant dans des dispositifs d'enseignement où il revêt une posture presque permanente de magister (Njoh, 2015). C'est pourquoi, à ce sujet, on peut noter que ce qui était reproché aux dispositifs d'enseignement de biologie liés à PPO est le fait qu'il

“Manque d’adaptation dans divers contextes, par exemple les concepts et les modèles appris et facilement maîtrisables dans la salle de classe et qui ne sont pas toujours d’un transfert aisé hors de ce contexte. Ce qui conduit à considérer que la validation de ce paradigme se limite au niveau élémentaire ou tout simplement à une mémorisation de surface” (Nkoumou, 2015, p58)

En clair, les dispositifs d’enseignement (dispositifs didactiques et pédagogiques) liés à la PPO étaient inappropriés, – ou du moins intégralement en contexte camerounais – s’élaboraient et s’appliquaient par conséquent à l’aide des moyens de bord, même si eux-mêmes, aient un nombre important de caractères qui semblent confirmer leur caractère obsolète dans l’enseignement de la biologie. Cette remarque nous conduit ainsi à questionner quelque peu l’opportunité de leur remplacement par les dispositifs d’enseignement liés à la NAP et ceux liés à “la main à la pâte” d’une part et des dispositifs d’enseignement liés à l’APC d’autre part.

1.5.2. Dispositif d’enseignement lié à La nouvelle approche pédagogique (NAP)

Cette approche est conçue par les enseignants camerounais et institutionnalisée en 1996 par le gouvernement camerounais. Dans les dispositifs liés à cette approche, l’élève est au centre des activités pédagogiques. Ce dispositif vise le développement de l’activité intellectuelle chez les élèves. Ceci en lui permettant d’établir les relations entre les faits et les idées selon la démarche expérimentale OHERIC. À travers les dispositifs d’enseignement liés à l’approche par objectif, les dispositifs d’enseignement liés à la NAP tiennent compte du développement des niveaux de pensées de la taxonomie de Bloom (la connaissance, la compréhension, l’application, l’analyse, la synthèse et l’évaluation). Ce développement favorise le raisonnement logique, le tâtonnement, l’esprit critique, la créativité. Dans ces dispositifs d’enseignement, l’enseignant reste ici un ajusteur de programme. Ils comportent des processus d’enseignement visant à émettre des hypothèses et à tirer des conclusions. Ces derniers intègrent une démarche qui place l’élève au centre des activités pédagogiques et psychologiques précises. Ils intègrent aussi l’effectivité de la participation de l’enseignant pour une meilleure efficacité du processus d’apprentissage.

Les dispositifs liés à la NAP reposent premièrement sur des fondements théoriques et psychologiques. Ils participent pleinement au développement de la pensée différentielle chez les élèves (le raisonnement logique, le tâtonnement, la créativité, l’esprit critique, l’opérationnalité, la loi de l’exercice en psychologie, la construction d’une culture scientifique, la culture de la curiosité, le goût de l’effort et le sens de la responsabilité). Ils participent à la prise en compte et au développement des niveaux de pensée de la taxonomie

de Bloom (la mémoire, la compréhension, et l'application, l'analyse, la synthèse et l'évaluation). Ces dispositifs liés à la NAP reposent deuxièmement sur des fondements méthodologiques. Ils mettent l'élève au centre des activités d'apprentissage et favorisent l'application de la pédagogie par objectif par l'enseignant de biologie. Ces dispositifs d'enseignement favorisent une relation pédagogique sous forme de chaîne d'interaction dynamique contribuant à la constitution d'une personne autonome. Toutefois, ces dispositifs liés à la NAP rendent confèrent à l'enseignant le rôle de régulateur de la discipline dans la salle de classe, l'animateur du groupe classe et la personne ressource. Dans ces dispositifs d'enseignement, l'enseignant est comparé à un chef d'orchestre. Ces dispositifs n'ont pas beaucoup été utilisés dans l'enseignement de la biologie au Cameroun.

1.5.3. Dispositifs d'enseignement liés à l'approche la main à la pâte

Les dispositifs d'enseignement liés à cette approche reposent sur le raisonnement hypothético-déductif selon la démarche scientifique DiPHTeRIC. Dans ces dispositifs d'enseignement, l'enseignant laisse aux apprenants la latitude de concevoir eux-mêmes leurs expériences en fonction de ce qu'ils comptent trouver à la fin d'une expérience. À partir des résultats dont l'obtention est facilitée par le dispositif d'enseignement élaboré, les élèves sont amenés à émettre des hypothèses et à expliquer chaque résultat. Ici il est facile pour l'enseignant de faire émerger les conceptions erronées des élèves. Ces dispositifs ne donnent pas la possibilité à l'enseignant de faire évoluer les conceptions des élèves, à moins que ces derniers y arrivent d'eux-mêmes par tâtonnement. Dans ces dispositifs liés à cette approche, l'enseignant ne parvient pas à mobiliser ou orienter le comportement souhaité (Charpak, 1996)

1.5.4. Dispositif d'enseignement lié à l'approche par les compétences (APC)

Ce sont ces dispositifs d'enseignement qui sont utilisés de nos jours lors du déroulement des cours de biologie de manière générale et ceux de génétique en particulier. Ces dispositifs d'enseignement commencent à être élaborés avec la mise en place de l'APC dans le système éducatif camerounais en 2007 lors de sa rentrée pédagogique. Ces dispositifs d'enseignement dans leurs élaborations, intègrent les acquis de la nouvelle approche et de l'approche la main dans la pâte. Ils permettent par le biais de l'APC que le Cameroun s'arrime au reste du monde dans les enseignements de la biologie de manière générale et de la génétique en particulier en développant chez l'apprenant le savoir-faire, le savoir être, le savoir vivre. Ceci dans le respect des principes de justice, d'égalité et d'équité.

Selon Sakou (2004), l'approche par compétence a pour rôle de former l'apprenant pour son insertion utile dans la vie sociale, de former des enfants aptes à créer, à produire, à assurer le développement du pays.

Les dispositifs d'enseignement des cours de biologie au Cameroun sont restés théoriques malgré les exigences actuelles de l'approche par les compétences qui recommandent que les savoirs reçus soient utilisés avec pertinence pour résoudre les problèmes sur le terrain ou répondre aux besoins de la société. Dans les dispositifs d'enseignement liés à l'APC, l'enseignant de biologie commence sa leçon de génétique humaine par une situation problème, qui n'est rien d'autre qu'une situation de vie. L'élève mobilise à cet effet certaines connaissances pour résoudre cette situation problème. Le rôle de l'apprenant dans ces dispositifs n'est pas de restituer les connaissances mais de développer les compétences à partir des savoirs, des savoirs faire, des savoirs être et des savoirs vivre qu'il doit utiliser pour résoudre des problèmes.

L'élève apprend mieux dans l'action. L'enseignant dans l'élaboration du dispositif d'enseignement a une manière de concevoir, de penser et de mettre en œuvre l'action enseignement/apprentissage en faisant participer activement l'élève à sa formulation par l'action.

Les dispositifs d'enseignement appropriés à l'APC, possèdent des exigences, et bien plus des préalables nécessaires à son bon fonctionnement pour la construction du savoir chez les élèves. Ces préalables ne s'éloignent pas véritablement de ceux des dispositifs liés à la PPO. Il s'agit des dispositifs liés à une approche pédagogique qui détache considérablement l'enseignant de son rôle prépondérant lors du déroulement d'une leçon et de son interactivité avec l'élève. Les enjeux de son application se déclinent ainsi qu'il suit :

Avec ces dispositifs d'enseignement liés à l'APC,

L'enseignement n'est pas considéré comme la simple transmission du savoir par l'enseignant, mais une démarche par laquelle l'élève est amenée à comprendre le sens des savoirs pour pouvoir les mobiliser dans différents contextes scolaires et non scolaires, tout en développant des attitudes et des valeurs, par le biais d'une participation active à son apprentissage (Chartes du conseil de l'Europe sur l'éducation à la citoyenneté démocratique et l'éducation aux droits de l'homme, 2010, p7)

Cette disposition de base des dispositifs d'enseignement liés à l'APC permet de constater à suffisance l'écart qui existe entre les deux approches entre elles d'une part, et d'autre part entre les différents dispositifs liés à chaque approche entre eux. Ce qui illustre de manière claire, les enjeux de l'APC. Par-dessus tout, c'est une occasion de témoigner de façon scientifique de la nécessité de passer à l'utilisation des dispositifs d'enseignement liés

à cette approche au regard des insuffisances des dispositifs liés à la PPO. Cependant, la véritable question à se poser à ce niveau est de savoir pour quelle finalité ces dispositifs sont-ils implémentés au cours de biologie de manière générale et au cours de génétique de manière spécifique ? Ceci attire aussi notre attention dans la mesure où, l'importance d'opérer le changement de paradigme semble ne plus poser de problème. Mais le questionnement sur l'environnement d'implémentation d'un dispositif d'enseignement approprié pour la prise en compte des conceptions des élèves en génétique humaine reste vif. Car cet aspect semble justifier l'insuffisance des dispositifs liés à la PPO, liés à la NAP, liés à l'approche la main à la pâte, dans la prise en compte des conceptions des élèves en génétique humaine. C'est ainsi qu'il pourrait plomber le déploiement des dispositifs liés à l'APC à partir de quelques points saillants notamment les grands effectifs dans les salles de classe, les quotas horaires accordés aux classes de SVT. Si le temps accordé au Cameroun en classe de Terminale D est de sept (7) heures par semaine, il est de huit (8) heures en France, sept (7) heures au Québec et huit (8) heures en suisse Romande. Ces distinctions de temps alloué à la formation permettent de conditionner aussi les résultats de formation obtenus.

C'est en raison de cela que cette étude se consacre à la Terminale D, ce d'autant plus que, c'est elle qui fait l'objet de l'implémentation d'un dispositif d'enseignement adéquat en vue de l'éradication des difficultés d'apprentissage liés aux conceptions des élèves en génétique humaine.

En somme, les dispositifs d'enseignement liés à l'APO, à la NAP, à la main à la pâte et à l'APC mettent l'élève au centre de l'apprentissage et de son savoir. Dans ces dispositifs d'enseignement, l'enseignant a le rôle d'orienter et de donner la possibilité à l'élève de construire lui-même ses propres savoirs assimilables et réutilisables en société

L'une des limites de ces différents dispositifs d'enseignement est le fait qu'ils ne s'intéressent pas aux conceptions des élèves pour certains (APO et NAP) et qu'ils touchent de manière superficielle aux conceptions des élèves pour d'autres (l'approche la main à la pâte et APC)

Les dispositifs d'enseignement liés à l'APC sont les plus appropriés aujourd'hui dans le contexte Camerounais en biologie de manière générale et en génétique en particulier. Ils développent les compétences chez les apprenants. Dans ces dispositifs d'enseignement, l'enseignant quitte son siège de magister, pour laisser l'élève être un acteur actif pendant le processus d'enseignement. Nous pouvons aussi mieux explorer les limites que présage ces dispositifs d'enseignement liés à l'APC, notamment la superficialité dans la gestion des

conceptions des élèves étant donné que les élèves de Terminale D éprouvent d'énormes difficultés d'apprentissage liés à leurs conceptions initiales en génétique humaine. Les dispositifs que nous allons élaborer sont des dispositifs liés à l'APC avec une vocation de prise en compte des conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine. Ces dispositifs d'enseignement améliorés sont des dispositifs liés à l'APC. Ils viendront résorber le problème de difficulté d'apprentissage des élèves liées à leurs différentes conceptions initiales. Et c'est sur ces Dispositif d'enseignement liés à l'APC que repose l'arrêté MINESEC/CAB/IGE/IP-SVTEEHB du 13 Aout 2014 portant élaboration du guide pédagogique d'enseignement de la génétique.

1.6. Dispositif d'enseignement de la génétique au Cameroun

Les dispositifs ou démarches d'enseignement de la génétique reposent sur les dispositifs d'enseignement liés à l'APC. Il existe quatre dispositifs d'enseignements de la génétique en contexte camerounais selon l'arrêté MINESEC/CAB/IGE/IP-SVTEEHB du 13 Aout 2014 portant élaboration du guide pédagogique d'enseignement de la génétique au Cameroun, l'enseignement de la génétique doit se faire selon quatre démarches à savoir : la démarche de recherche, la démarche expérimentale, la démarche d'investigation et la démarche scientifique.

1.6.1. Le dispositif d'enseignement de la génétique suivant la démarche de recherche

C'est un dispositif d'enseignement ou processus d'enseignement réparti en six étapes qui sont :

- la planification de la démarche qui revient à identifier chez les élèves les connaissances antérieures aux notions et concepts de génétique ; présenter la situation problème ou situation de vie en rapport avec la notion de génétique abordée ; permettre aux élèves de se questionner sur ce qui est attendu d'eux ; analyser la nature et l'étendue du travail fourni par les apprenants ; identifier les mots clés dans la résolution de la situation problème ; amener les élèves à réfléchir sur les ressources disponibles (graphique, schémas, dessins, échiquier de croisement, pedigree, planches, carte chromosomique, etc...)
- l'identification des sources d'information qui consiste à : identifier les sources à consulter par les apprenants (centre de ressources, manuels scolaire, planches remis par

l'enseignant etc...), laisser les élèves repérer l'information à partir des mots clés de génétique que leur a donné l'enseignant.

- la sélection des données documentaires qui consiste à : permettre aux élèves d'évaluer la pertinence des données documentaires, en éliminant les documents et les données trop difficiles à comprendre ; aider les élèves à éliminer les documents dont la source est douteuse ;
- les aider à choisir les données des documents se rapportant à la notion de génétique étudiée (notion de lignée pure, hybridation, homozygotie, hétérozygotie, mono-hybridisme, di-hybridisme, polymorphisme génétique, brassage inter et intrachromosomique, les mutations géniques, la diversité des allèles, la variabilité du génome, l'étude des cas simples de l'hérédité chez l'homme, la notion de pedigree avec les cas autosomal et gonosomal, la notion d'anomalies et aberrations chromosomiques etc...) ;
- les aider à identifier les éléments importants à retenir en fonction de la leçon de génétique abordée (exemple : identifier les cellules de la lignée germinale à leur différents stades d'évolution chez l'Homme).
- la collecte de l'information qui consiste à : amener les élèves à une lecture minutieuse, à écouter l'enseignant et à l'interroger ; les aider à sélectionner les informations pertinentes, à consigner les données sous forme de notes, de graphiques, d'échiquier de croisement, de dessins, d'illustrations ; à classer leurs données par notions ou concept de génétique ;
- l'organisation de l'information qui consiste à : aider les élèves à analyser les informations de génétique consignées en faisant des liens entre les données semblables ; en regardant si les données ou idées sont contradictoires ; en vérifiant si les données recueillies permettent de répondre à la situation problème et aux différents problèmes soulevés par la notion de génétique abordée ; en classant les informations et données selon leur importance et en éliminant les données non nécessaires. Cette étape consiste à amener les élèves à rédiger un résumé qui sera évalué et amendé par l'enseignant.
- la communication des résultats des élèves (exemple : résultats d'expérience sur le mono-hybridisme, sur le di-hybridisme, sur le tri-hybridisme en tenant compte d'une ségrégation indépendante du linkage absolu et/ou partiel des gènes) qui débouche sur le débat de classe et l'institutionnalisation par l'enseignant.

1.6.2. Le dispositif d'enseignement de la génétique suivant la démarche expérimentale

Ce dispositif qui suit la démarche expérimentale consiste à effectuer des expériences ou des tests justes en génétique en vue de vérifier si on obtient des résultats différents en changeant l'une des variables d'une expérience. Ces dispositifs d'enseignement ou processus d'enseignement suivent quatre étapes qui sont :

- l'identification du problème (problèmes liés : à la limitation de la fréquence de certaines maladies géniques et/ou chromosomiques au sein des familles ; à l'éradication des préjugés autour de l'apparition des anomalies et/ou des caractères nouveaux au sein des familles) et la planification de l'expérience qui consiste à : poser aux élèves les questions liées au problème en vue de déceler leurs conceptions en génétique ; les amener à identifier une solution et planifier des moyens de résoudre la situation problème ou situation de vie en génétique ; les orienter dans la formulation des hypothèses en vue de résoudre la situation de vie ; les aider dans la conception de l'expérience ou du test juste ;
- la réalisation de l'expérience et la consignation des données de génétique qui consiste à : réaliser l'expérience en suivant le protocole expérimental ; conduire les élèves à faire des observations quantitatives et qualitatives ; les aider à consigner les données de l'expérience.
- l'analyse et l'interprétation des données recueillies par les élèves consiste à : choisir ensemble (enseignant et les élèves) la méthode d'analyse des données de l'expérience en génétique portant sur les ressources telles que (graphiques, dessins, courbe de la quantité d'ADN en fonction du temps lors d'une division cellulaire, modélisation des niveaux biologiques moléculaires et micro etc..) ; amener les apprenants par groupe de pair à vérifier leurs hypothèses ; formuler des questions suscitées par l'expérience et par la suite identifier accompagné de l'enseignant les sources d'erreur au niveau des croisement, des pedigrees, de la modélisation etc...
- la communication des résultats qui consiste à : amener les élèves à produire chacun un rapport selon la forme choisie, ce qui débouche sur l'évaluation par 'enseignant, le débat entre pairs et enseignant suivi de l'institutionnalisation par l'enseignant.

1.6.3. Le dispositif d'enseignement de la génétique suivant la démarche scientifique

D'après l'arrêté MINESEC/CAB/IGE/IP-SVTEEHB du 13 Aout 2014, la démarche scientifique dans l'enseignement de la génétique est une suite d'actions visant à amener les élèves à comprendre le réel pour répondre à une question, issue de l'observation du réel, des

hypothèses qui sont testées et infirmées ou confirmées. La génétique permet de mieux comprendre la pérennité de l'espèce, la transmission des caractères héréditaires d'une génération à une autre. Cette démarche est un dispositif d'enseignement qui permet d'encadrer les observations et les idées des élèves. L'objectif de ce dispositif dans l'enseignement de la génétique est d'aboutir à une conclusion qui confirmera ou infirmera les hypothèses émises par les élèves lors de la situation problème ou situation de vie.

Le dispositif ou processus d'enseignement en génétique qui suit la démarche scientifique compte les étapes suivantes

- faire des observations sur la notion de génétique observée ou étudiée (observations des étapes de la méiose sur des électrographies ; observation des chromosomes au cours des différentes étapes de la méiose ; observation de la courbe d'évolution de la quantité d'ADN au cours de la méiose, de la fécondation ; observation de la courbe d'évolution de l'ADN par lot de chromosome au cours de la gamétogenèse ; observation des résultats d'expériences sur le mono, di, et tri-hybridisme ; observation de la carte génétique des chromosomes lors du croisement du di-hybridisme ou tri-hybridisme ; observation de la transmission de l'information génétique lors du phénomène de transmission des anomalies géniques etc..). Pendant l'observation, l'élève utilise une phrase, le graphisme, le pedigree, l'échiquier de croisement pour décrire les observations que l'on fait. L'enseignant n'amène pas les élèves à interpréter, mais à noter juste ce qu'ils voient.
- poser la situation problème à partir des observations faites ou à partir d'une situation de vie. Le rôle de l'enseignant est de relancer les élèves de temps en temps ;
- conditionner les élèves à la recherche documentaire : les amener à bien lire tous les documents à leur disposition avant de commencer ;
- recueillir des hypothèses des élèves et les décisions communes entre enseignants et élèves sur l'hypothèse ou sur les hypothèses : amener les élèves à bien repérer la situation problème à laquelle il faut répondre ; les amener à surligner les éléments qui permettent de répondre à la situation problème de génétique afin de résoudre les problèmes liés : à la limitation de la fréquence de certaines maladies génétiques et/ou chromosomique au sein des familles ; à l'éradication des préjugés autour de l'apparition des anomalies et/ou des caractères nouveaux au sein des familles ;
- recueil des données sur les recherches documentaires.
- analyser et interpréter les données ;

- tirer des conclusions de manière commune entre enseignant et élèves après l'interprétation des données, suivies de l'institutionnalisation par l'enseignant ;

Dans ces dispositifs d'enseignement de la génétique, l'enseignant doit amener les élèves à se poser les bonnes questions :

- Qu'est-ce qu'on cherche à montrer dans ce concept, ce phénomène de génétique ?
- Comment fait-on pour le montrer ?
- Qu'observe-t-on ?
- Qu'est-ce que je peux en déduire grâce à mes connaissances ?

1.6.4. Le dispositif d'enseignement de la génétique suivant la démarche d'investigation

D'après l'arrêté MINESEC/CAB/IGE/IP-SVTEEHB du 13 Aout 2014, la démarche d'investigation dans l'enseignement de la génétique est une démarche utilisée en pédagogie et qui s'apparente à celle utilisée par les chercheurs. Elle repose sur une méthode logique d'enseignement ou de recherche scientifique en vue de trouver une réponse à une question, à une situation problème ou une situation de vie.

Les étapes du dispositif ou processus d'enseignement en génétique suivant la démarche d'investigation sont :

- l'observation du phénomène génétique étudié (transcription, traduction, Mitose, transmission de l'information génétique lors de la Méiose, Modification de l'information génétique, la gamétogenèse, le polymorphisme génétique, le brassage inter ou intra-chromosomique etc...)
- la formulation de la situation problème ou situation de vie appliquée à la notion de génétique étudiée.
- la recherche des hypothèses par les élèves : le rôle de l'enseignant est de les accompagner en créant des pistes de solutions de manière progressive lorsqu'il y'a obstacle.
- l'investigation et la confrontation des hypothèses émises par les élèves : l'enseignant joue le rôle de régulateur en aidant les élèves à analyser les hypothèses de génétique émises par leurs pairs. L'enseignant les amène : à regarder si les hypothèses ou idées sont contradictoires ; à vérifier si les données recueillies permettent de répondre à la situation - problème et aux différents problèmes soulevés par la notion de génétique abordée ; à

classer les hypothèses et données en les aidant à éliminer les données ou hypothèses non nécessaires.

- L'échange argumenté entre enseignants et élèves : L'enseignant peut disposer les élèves par groupes et modérer le débat entre les différents groupes. Relancer de temps en temps le débat pour permettre aux élèves de toucher en profondeur la notion et les concepts de génétique abordés.
- la conclusion avec l'acquisition des connaissances : ici l'enseignant procède à l'institutionnalisation après que les élèves se soient accordés sur leurs hypothèses et données émises.
- la mobilisation des connaissances (acquisition des compétences) autour de : la limitation de la fréquence de certaines maladies géniques et/ou chromosomique au sein des familles ; l'éradication des préjugés autour de l'apparition des anomalies et/ou des caractères nouveaux au sein des familles.

Au travers de ce dispositif d'enseignement de la génétique suivant la démarche d'investigation, l'enseignant doit permettre de générer une réflexion de la part des élèves. Ces derniers ne sont plus simplement à l'écoute de leur enseignant. Ils sont les pleins acteurs de leur apprentissage visant la résolution d'un problème. Dans ce dispositif, l'enseignant de SVTEEHB, lâche prise pour permettre une meilleure construction des savoirs en génétique, car il doit aider les élèves à exprimer leurs idées ou conceptions/représentation en génétique et à mieux les expliciter.

Dans ce dispositif d'enseignement de la génétique, l'enseignant ne doit pas se contenter d'amener uniquement les élèves à investiguer au travers d'un raisonnement logique, mais il doit amener les élèves à réfléchir, à faire des liens avec des choses déjà connues. Les élèves doivent être amenées à faire des essais afin de voir si les résultats obtenus (par exemple les résultats de l'expérience sur mono-hybridisme, di-hybridisme, tri-hybridisme, évolution de la quantité d'ADN au cours de méiose, résultats des pourcentages de recombinaison des gènes etc...) sont valables et cohérents.

1.7. Les dispositifs d'enseignement numériques comme ressource didactique pour l'enseignement de la génétique.

Les TIC regroupent une diversité d'outils numériques qui peuvent bonifier l'apprentissage en offrant des conditions optimales aux enseignants de mieux transmettre les savoirs aux apprenants. Pour Janvier Ngnoulaye,

Les TIC ne doivent pas seulement être des objets d'enseignement/apprentissage pour que les étudiants soient assez outillés pour mieux assimiler leurs cours. Il s'agit d'instruments didactiques qui viennent soutenir l'environnement d'enseignement/apprentissage pour amener les étudiants à apprendre mieux, vite et à moindre coût. (Ngnoulaye, 2010 ; p 34)

En outre, les dispositifs d'enseignement via les TIC offrent une multitude de services qui participent à la construction des connaissances à travers un apprentissage collaboratif ainsi que la conception des situations didactiques plus attrayantes. Il s'agit d'outils qui s'insèrent parfaitement dans la construction des savoirs dans un contexte marqué par les approches interactives. C'est dans cette lancée que Thierry Karsenti (2009) affirme : "ce qui est mis de l'avant pour justifier cette implantation massive du numérique, c'est que les technologies sont susceptibles d'augmenter la réussite éducative ou scolaire des apprenants, en améliorant la pratique pédagogique des enseignants, en diversifiant la nature des ressources pédagogiques (graphiques, vidéo, audio, etc.) et en augmentant l'interactivité des activités d'enseignement"

1.7.1. Les dispositifs d'enseignement numériques et la diminution des difficultés d'apprentissage chez les apprenants en génétique.

La motivation est l'un des éléments essentiels de la diminution des difficultés d'apprentissage chez les apprenants. Il est par conséquent l'un des éléments essentiels de la réussite d'un acte d'enseignement et d'apprentissage en mettant en place des conditions optimales pour la destruction des conceptions erronées et l'acquisition des connaissances et du savoir scientifique. L'intégration des TIC via les dispositifs d'enseignement contribue à accroître la motivation des élèves, à réduire les difficultés d'apprentissage, à accroître leur interactivité (les interactions élèves-élèves et élèves-enseignants). De ce point de vue, leur utilisation dans l'enseignement de la génétique est susceptible de favoriser leur motivation et la réduction de leurs difficultés d'apprentissage liées à leurs conceptions s'ils perçoivent la valeur de ces dispositifs et les compétences qu'ils veulent acquérir. Selon les recherches en sciences de l'éducation (Ouell et Deliste, 2000 ; Barette, 2004 et Ngnoulaye, 2010), les dispositifs d'enseignement numériques en génétique favorisent la motivation des élèves, et la réduction des difficultés d'apprentissage en génétique à travers la mise en place de nouvelles aptitudes acquises. De plus, Barrette (2005) montre que les dispositifs d'enseignement numérique améliorent la motivation des apprenants et favorisent la construction du savoir scientifique en génétique (étape ultime de la prise en compte des conceptions des élèves) lorsque ceux-ci emploient

- des logiciels informatiques qui adaptent les problèmes de génétique et ajustent la difficulté des tâches dans l'enseignement de la génétique afin de maximiser leur expérience de réussite ;
- des laboratoires virtuels de génétique pour résorber le problème de l'absence des laboratoires physiques de biologie en général et de génétique en particulier dans les différents établissements scolaires.
- des applications pour produire, présenter et partager leur travail en génétique avec des pairs ;
- des applications ludiques pour développer des habiletés et des connaissances de base en génétique.

1.7.2. Les dispositifs d'enseignement numérique en génétique source d'innovation pédagogique au Cameroun

Les dispositifs d'enseignement numérique occupent une place importante dans les pratiques pédagogiques de biologie en général et de génétique en particulier et sont considérés comme outils de simulation, de visualisation, de conception, de modélisation, de traitement et de laboratoire virtuel de génétique. Ils jouent un rôle important dans la mise en place des pratiques innovantes en favorisant une production collective et interactive du savoir et une modification des pratiques pédagogiques (Ngnoulayé, 2010). En outre, l'intégration des TIC dans l'enseignement de la génétique est un facteur d'innovation technico-pédagogique et permet aux enseignants de biologie de réfléchir sur leurs pratiques didactiques en vue de les faire évoluer. Ces innovations pédagogiques par le biais des dispositifs d'enseignement numériques en génétique passent par une adoption des usages, une implantation de ces usages et leur scolarisation.

L'adoption des dispositifs d'enseignement numérique en génétique marque la volonté et la décision du praticien, des inspecteurs pédagogiques et enseignant de SVT d'améliorer les travaux pratiques virtuels de génétique par conviction personnelle lors de la pratique de classe ou par une pression externe liée au microsystème. Dans l'enseignement de la biologie et de la génétique, spécifiquement, l'adoption des dispositifs d'enseignement numériques se matérialise par la volonté de l'enseignant de SVT d'intégrer les outils du numérique dans l'enseignement des contenus didactiques en classe de génétique en Terminale D. L'innovation des dispositifs numériques dans l'enseignement de la génétique est l'implantation ou la mise en place effective des travaux pratiques virtuels pour pallier

l'absence des laboratoires physiques de génétique. Il s'agit de la modification de l'évolution des pratiques éducatives dans l'enseignement de la génétique, et de l'environnement didactique où elles prennent place. Cette phase entrainera la mise en place d'un dispositif d'enseignement techno-pédagogique qui intègre des outils numériques. La dernière phase connue sous le nom de la scolarisation est le recours aux nouvelles pratiques à leur intégration aux activités scolaires habituelles de biologie en général et de génétique en particulier. Sylvain Genevois souligne que ce modèle d'innovation permet de mieux comprendre l'usage des TIC. L'adoption est vue davantage comme une phase d'appropriation par les acteurs, tandis que l'implantation est envisagée comme une phase de structuration des usages, en vue de dégager ceux qui seront les plus porteurs. La routinisation correspond plus à une phase de diffusion et de stabilisation des usages''. (Genevois, 2008, p.23). Dans le cadre de notre travail, nous voulons mettre en place une innovation pédagogique fondée sur l'utilisation des dispositifs d'enseignement basés sur la prise en compte des conceptions des élèves en génétique, permettant de résorber le problème des difficultés d'apprentissage en génétique, afin de mieux comprendre cette partie du programme de biologie en faisant évoluer leurs différentes conceptions. Pour ce faire, il serait important d'avoir un aperçu de l'utilisation des TIC dans l'enseignement de la biologie et de la génétique en particulier au Cameroun.

La mise en place de ces différents dispositifs d'enseignement des contenus de génétique est liée à des enjeux à la fois pédagogiques, didactiques numériques et de l'ingénierie qui démontrent clairement le potentiel des dispositifs numériques et non numériques dans l'enseignement de la génétique.

1.8. Les enjeux sur l'élaboration des dispositifs d'enseignement en classe de génétique

L'utilisation des dispositifs d'enseignement de génétique est liée à des enjeux à la fois épistémologiques, numériques, pédagogiques et didactiques. Il s'agit principalement de la mise en place de nouveaux rapports aux savoirs biologique en général, à celui de génétique en particulier, et de la conception des nouveaux modes d'enseignement et d'apprentissage.

➤ Les enjeux épistémologiques : des nouveaux rapports au savoir en génétique

Dans le triangle didactique, le pôle épistémologique est l'un des éléments majeurs dans la compréhension du processus d'appropriation du savoir scientifique en passant par la déconstruction des conceptions erronées. Dans ce contexte, l'enjeu épistémologique renvoie au rapport au savoir de génétique, dans le cadre de l'élaboration et de l'usage des dispositifs

d'enseignement de génétique en vue de réduire les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique. L'enjeu épistémologique qui en découle est la mise en place des nouveaux modes de rapport au savoir qui se matérialisent par le biais des dispositifs d'enseignement appropriés de génétique (Johsua et Dupin, 1993 ; De Vecchi & Carmona-Magnaldi, 1996 ; Karsenti, 2003 ; Barette, 2004). De surcroît, les dispositifs d'enseignement de génétique lorsqu'ils sont intégrés en salle de classe, modifient les rapports au savoir déjà établis à partir des conceptions erronées chez les apprenants. Ils font évoluer ces conceptions vers des savoirs scientifiques en génétique à travers la mise en place d'une nouvelle façon de consommer et de produire le savoir génétique en salle de classe. À titre illustratif, dans les dispositifs d'enseignement traditionnels de génétique, les rapports au savoir en génétique étaient marqués par la description de la leçon de génétique à travers les cours magistraux contre les dispositifs d'enseignement modernes de génétique où les conceptions des élèves sont prises en compte par le biais de plusieurs instruments (instrument de modélisation, instrument numérique etc..) avec participation active de l'élève en salle de classe et intégrant la représentation tridimensionnelle permettant d'avoir accès aux pratiques de génétique. C'est dans ce contexte particulier que De Vecchi & Carmona-Magnaldi, (1996) vont montrer que les dispositifs d'enseignement de génétique constituent des outils qui permettent aux élèves de s'engager dans un travail d'investigation, de mettre en œuvre des raisonnements qui les conduisent à modéliser voire à simuler pour résoudre un problème génétique. En résumé, une utilisation des dispositifs d'enseignement appropriés en génétique permettrait aux élèves de construire et de co-construire le savoir génétique à travers le partage et la mutualisation des informations recueillies en situation de classe. Dans cette continuité, Bahar, Johnstone & Hansell (1999) montrent que les dispositifs informatiques appropriés favorisent la construction du savoir en génétique à travers des modélisations d'objets moléculaires et micro. Les dispositifs d'enseignement appropriés en génétique jouent ainsi un rôle important dans l'émergence d'une approche nouvelle des savoirs en génétique et contribuent donc à la construction du savoir scientifique par le biais de la déconstruction des conceptions erronées. Ceci se fait par la mise en place d'une démarche d'investigation qui permet la résolution de divers problèmes en génétique.

➤ **Les enjeux dans le domaine de l'ingénierie : Le développement de la culture numérique des enseignants et des élèves**

L'intégration des dispositifs d'enseignement numériques dans l'enseignement de la génétique s'inscrit dans le champ de l'ingénierie didactique et d'un vaste projet éducatif

visant à favoriser l'utilisation des TIC dans l'enseignement. Ngnoulaye (2010) démontre que les TIC jouent un rôle important dans le développement des compétences numériques des apprenants. Les dispositifs d'enseignements numériques sont devenus des ressources didactiques fortement recommandées aux enseignants de SVT au vu de leur potentiel didactique et de leur apport dans la réussite éducative. La diffusion des dispositifs d'enseignement modernes et du numérique en particulier dans l'enseignement de génétique est mise en avant avec comme objectifs la modernisation, l'innovation pédagogique et la démocratisation des sciences. L'utilisation de ces dispositifs modernes dans l'enseignement de la biologie en général et de la génétique en particulier, se présente donc comme un moyen de faire entrer les Sciences dans l'ère du numérique. En dernière analyse, l'utilisation du dispositif d'enseignement adéquat/approprié en génétique, redéfinit les rapports entre les élèves de Terminale D et l'enseignant de SVT, et la place que ces derniers occupent dans la classe. Elle viendra renouveler les pratiques des enseignants à travers le passage des pratiques traditionnelles aux pratiques modernes où l'ingénierie occupe une place importante dans l'enseignement des sciences.

➤ **Les enjeux pédagogiques et didactiques : renouvellement des méthodes d'enseignement apprentissage en génétique**

L'utilisation des dispositifs d'enseignement appropriés en génétique a un impact significatif sur les méthodes d'enseignement et les modes d'apprentissage du savoir en génétique. En ce qui concerne les modes d'appropriation du savoir en génétique, l'intégration des dispositifs d'enseignement appropriés favorise la prise en compte des conceptions des élèves en déconstruisant les conceptions erronées et en permettant de construire des savoirs scientifiques et en faisant évoluer ces conceptions initiales. Ces dispositifs d'enseignement appropriés en génétique favoriseront les théories cognitivistes, qui privilégient le traitement de l'information dans l'apprentissage. En clair, les dispositifs d'enseignement modernes sont susceptibles de mettre en place de nouveaux modes de construction du savoir marqués par une auto-construction et une co-construction du savoir en génétique et favorisant un changement des méthodes d'enseignement-apprentissage.

Comme enjeu pédagogique, l'intégration des dispositifs d'enseignement modernes dans l'enseignement de la génétique permet de concevoir des pratiques didactiques adéquates et de faire évoluer les pratiques d'enseignement dans une perspective d'innovation pédagogique. Ils offrent ainsi l'occasion aux enseignants de mettre en place des innovations pédagogiques, des

facilitations d'apprentissage dans le but d'améliorer la qualité de l'éducation par de nouveaux modes d'apprentissage qui prennent en compte les conceptions des apprenants et qui sont plus interactifs, plus participatifs que les anciens modes classiques.

1.9. Justification de l'étude

Le succès des élèves aux examens officiels en général et spécialement au baccalauréat et leur intégration socioprofessionnelle après les études sont au centre des préoccupations. Ces préoccupations sont celles, non seulement des gouvernements, des organismes mondiaux, des acteurs de l'éducation tel que : les ministères en charge de l'éducation, les ministères en charge de la formation professionnelle, les établissements scolaires, les enseignants, les parents d'élèves, mais surtout celles des chercheurs en éducation. Elles s'étendent sur l'appropriation des connaissances découlant du processus enseignement/apprentissage et sur l'utilisation de ces connaissances dans le domaine de la professionnalisation (Astolfi et al, 1997). Les dispositifs appropriés dans l'enseignement de la génétique ont été évoqués dans les guides pédagogiques d'enseignement de la génétique et dans les programmes officiels de SVTEEHB de la classe de Terminale. Dans ces documents, il est recommandé de recueillir les conceptions des élèves en tout début d'enseignement au travers d'une situation de vie ou situation problème. Il est recommandé aux enseignants de consacrer du temps à la dévolution : les enseignants doivent permettre aux élèves de générer une réflexion. Ces derniers ne doivent plus simplement être à l'écoute de leurs enseignants. Ils doivent être des pleins acteurs de leurs apprentissages visant la résolution d'un problème. Dans ces dispositifs, l'enseignant de SVTEEHB, doit adopter une posture du 'lâcher prise' pour permettre une meilleure construction des savoirs en génétique, à partir de la déconstruction des conceptions erronées. Car ils doivent aider les élèves à exprimer leurs idées, leurs conceptions /représentations en génétique et à mieux les expliciter. Dans ce dispositif d'enseignement de la génétique, l'enseignant ne doit pas se contenter d'amener uniquement les élèves à investiguer au travers d'un raisonnement logique, mais il doit amener les élèves à réfléchir, à faire des liens avec des choses déjà connues. Les élèves doivent être amenés à faire des essais afin de voir si les résultats sont valables et cohérents. Mais le problème est que les enseignants de SVTEEEHB n'utilisent pas ces dispositifs en situation de classe.

Les échecs au Baccalauréat et dans l'épreuve de SVTEEHB sont très souvent liés en partie à la non compréhension par les apprenants des contenus d'enseignement en général et ceux de génétique en particulier. D'après les travaux de Bahar, Johnstone & Hansell, (1999) et ceux de Stavy et Marbach-Ad, (2000), en Grande Bretagne et les travaux de Duncan et

Reiser (2007) en Australie, et ceux de Boersma, Knippels et Waarlo (2005) au pays bas, il ressort que les élèves éprouvent d'énormes difficultés dans l'apprentissage de la génétique. Ces difficultés sont le plus souvent liées aux conceptions initiales des élèves qui ne trouvent pas de prise en charge minutieuse à partir des dispositifs d'enseignement implémentés en classe de génétique.

Cette étude apparaît au moment où les différents systèmes éducatifs dans le monde en général au Cameroun en particulier se mobilisent dans le but de réduire les obstacles de l'apprentissage et les échecs scolaires. Étant donné que la SVTEEHB a un coefficient important en Terminale D,

La partie génétique à elle seule représente le pourcentage prépondérant dans cette classe. Il est donc nécessaire pour l'état via le système éducatif de réduire les taux d'échecs de la classe en s'attardant sur les conceptions des élèves qui pour la plupart du temps, sont un obstacle à la réussite des élèves dans cette classe. De plus, le système éducatif se doit de réduire les risques d'échecs scolaire aux examens scolaires en particulier au Baccalauréat série D en contrôlant ainsi l'évolution des conceptions des élèves dans la classe et en veillant à ce qu'à chaque fois les remédiations soient faites pour pallier les difficultés rencontrées par ces conceptions au travers des dispositifs d'enseignement appropriés. L'élaboration du dispositif d'enseignement approprié dans l'enseignement de la génétique en vue de pallier les difficultés d'apprentissage liés aux conceptions des élèves sera une solution du gouvernement pour réduire l'échec scolaire aux examens en général et au Baccalauréat D en particulier.

Nous pouvons aussi mieux explorer les limites que présentent les dispositifs d'enseignement liés aux conceptions et utilisés sur le terrain. Ces difficultés sont notamment la superficialité dans la gestion des conceptions des élèves étant donné que les élèves de Terminale D éprouvent d'énormes difficultés d'apprentissage liés à leurs conceptions initiales en génétique humaine. Notre projet d'élaboration des dispositifs d'enseignement inclue la prise en compte des conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine. Leur but étant de résoudre les problèmes d'apprentissage en génétique qui sont un frein au succès à l'examen Baccalauréat D. Cette recherche viendra rencontrer les préoccupations de nombreuses organisations internationales en l'occurrence l'UNICEF, l'UNESCO, la BM, l'OIF. La plupart des dispositifs d'enseignement qui existent déjà dans l'enseignement de la biologie en général et de la génétique en particulier ne sied pas aux effectifs pléthoriques dans les établissements scolaires au Cameroun (Njoh, 2015). Cette recherche a pour but d'implémenter certains dispositifs d'enseignement adaptés à divers contextes d'effectifs

pléthoriques. L'objectif visé par notre travail est de trouver des moyens de faire évoluer les conceptions initiales des élèves de Terminale D en génétique par le biais d'un dispositif d'enseignement approprié en vue de développer chez les apprenants des compétences telles que le savoir-faire, le savoir être, le savoir vivre, compétences qui nous permettront de résoudre les problèmes de société tels que le chômage et l'incompétence professionnelle

2. Position et formulation du problème

La position et la formulation du problème va comporter dans notre travail : les constats, le problème, les questions de recherche, les objectifs de recherche, l'intérêt de l'étude et en fin la délimitation de l'étude.

2.1. Les constats

Les constats dans le cadre de ces travaux comprennent les constats liés aux résultats des évaluations, ceux liés à la faiblesse des dispositifs d'enseignement en classe de génétique sur le terrain.

2.1.1. Constats liés aux résultats des évaluations

Les résultats au Baccalauréat D des sessions 2019 et 2020 sont médiocres sur l'étendue du territoire. Ils sont respectivement de 31,5% et 35,8%. Les résultats de 2021 sont par contre meilleurs de l'ordre de 58,6% au Baccalauréat D. Malgré la nette amélioration de ces résultats au Baccalauréat D, le constat est presque le même. Les procès-verbaux des notes de SVTEEHB dans certains sous centre de la ville de Yaoundé de ces trois années montrent que plus du trois quarts des élèves ont des notes inférieures à 10/20. Il est donc difficile de savoir quel est le problème, pourquoi les résultats de la discipline SVTEEHB au baccalauréat D sont-ils médiocres ? Les investigations seront faites plus tard, tout d'abord auprès des enseignants ayant toujours pris part aux corrections des examens de SVTEEHB au baccalauréat D. Pour la majorité, voir la totalité de ces enseignants, le constat fut toujours le même. « La partie génétique est très mal négociée par les candidats au Baccalauréat D ».

Ce constat et ces investigations vont conduire à toucher de près le problème de l'échec des élèves en SVTEEHB au Baccalauréat D, vu que la SVTEEHB à cet examen a le plus grand coefficient. L'échec des élèves en SVTEEHB conduit donc à observer les résultats des évaluations formatives de SVTEEHB en Terminale D des différentes séquences dans trois établissements de la ville. Les résultats médiocres de l'évaluation formative de la troisième séquence vont très vite captiver notre attention. En effet, cette dernière est majoritairement constituée de la génétique, puisque ce module est enseigné dans cette classe entre le mois de

novembre et de Février. L'évaluation formative de la troisième séquence se situe donc au mois de Janvier. D'après la décision No 114/B1 /1464 MINEDUC/SG/IGP/ESG du 4 Mars 2002, l'évaluation formative doit porter exclusivement sur les contenus enseignés tout au long d'une séquence.

Au vu de tout ce qui précède, une enquête a été menée auprès des élèves. Cette enquête réalisée dans les Terminale D des lycées de Biyem-Assi, de la cite-verte et de Tsinga, par le biais d'un questionnaire auprès des élèves, a révélé que le problème majeur des élèves en génétique est lié aux conceptions initiales. Il a donc été nécessaire de comprendre que la majorité des difficultés d'apprentissage chez les élèves de Terminale D provient des conceptions initiales dans cette partie du programme. Soumettre les élèves à une évaluation diagnostique en tout début de leçon s'est avéré nécessaire en vue de vérifier tout ceci et de faire le point sur les prérequis et des acquis des élèves. L'évaluation diagnostique était constituée d'une série de questions bien agencées. La confrontation des réponses écrites des élèves, d'avec les réponses orales, a permis de ressortir le fait qu'il s'agit là d'un problème de conceptions mal gérées.

Partant de ce constat, une descente sur le terrain, s'est imposé dans les salles de classes de Terminale D des lycées de Biyem-Assi, de la cite-verte et de Tsinga pour observer les pratiques de classe des enseignements de génétique. Les observations de classe ont ciblé les dispositifs d'enseignement, l'approche pédagogique, et les méthodes et techniques d'enseignement qu'utilise l'enseignant.

Les observations faites dans les salles de classes ont laissé transparaître que plusieurs enseignants utilisent des dispositifs d'enseignement liés aux anciennes approches pédagogiques à savoir les dispositifs d'enseignement liés à l'approche par objectif (APO), les dispositifs d'enseignement lié à la NAP. La prise en compte des conceptions des élèves est inexistante dans ces deux catégories de dispositifs, d'où le problème persistant des conceptions des élèves de Terminale D en génétique et le manque de leur adaptation dans divers contextes. Par exemple les concepts et les modèles appris et facilement maîtrisables dans la salle de classe ne sont pas toujours d'un transfert aisé hors de ce contexte. Ce qui conduit à considérer que la validation de ce paradigme se limite au niveau élémentaire ou tout simplement à une mémorisation de surface (Nkoumou, 2015). Dans ce type de dispositif, il n'existe pas de situation problème en début de cours permettant de faire émerger les conceptions des élèves. Il met plutôt l'accent sur le questionnement, l'investigation et la mise sur pied d'un projet constitutif du cours de biologie en général et de la génétique humaine en

particulier. Il s'appesantit également sur l'explication du réel à partir de l'observation de phénomènes perceptibles à différents niveaux d'organisation et à partir de manipulations permettant d'éprouver des hypothèses explicatives

2.1.2. Énoncés des constats des problèmes des dispositifs d'enseignement

Les constats faits sur le terrain sur les dispositifs d'enseignement reposent sur la transposition didactique, sur le contrat didactique, sur des situations et la démarche didactique.

➤ Énoncés des constats des problèmes sur la transposition didactique

Il est question des problèmes adossés à la manière dont l'enseignant de biologie par le biais du dispositif d'enseignement de génétique interprète et transmet le savoir décrit dans les manuels scolaires de biologie ou dans les documents scientifiques ; des modifications que subissent les "savoirs savants" avant de devenir des "savoirs scolaires" par des transpositions didactiques. En d'autres termes, il s'agit des problèmes se rapportant à tout intéressement à la manière dont le savoir décrit dans les manuels scolaires sont interprétés et transmis par le biais des dispositifs d'enseignement, tout intéressement aux modifications que subissent les "savoirs savants" avant de devenir des "savoirs scolaires".

➤ Énoncés des constats des problèmes sur contrat didactique

Il s'agit d'une part des problèmes liés aux façons dont l'enseignant de biologie par le biais des dispositifs d'enseignement de génétique intervient auprès des élèves de Terminale D, et d'autre part de la planification et de l'aménagement approximatifs que présentent ces dispositifs des situations et activités scolaires dans l'établissement du contrat didactique. En d'autres termes, il est question des problèmes en rapport avec tout intéressement aux façons dont le dispositif d'enseignement présente à l'apprenant le contrat didactique et les manières dont sont aménagées les situations et activités d'apprentissage

➤ Énoncés des constats des problèmes des situations didactiques dans les dispositifs d'enseignement

Il est question des problèmes afférant à tout ce qui vise la description et l'explication des situations d'enseignement, ainsi que l'agir sur le système d'enseignement pour la contribution de l'enseignant et son intervention dans chaque item d'enseignement. Ce point concerne la construction des situations didactiques au travers de ses intentions dans le processus enseignement. Dans ces dispositifs d'enseignement, l'enseignant ne montre pas clairement aux élèves ses intentions d'enseignement.

➤ **Énoncés des constats des problèmes de démarche didactique dans la prise en compte des conceptions dans les dispositifs d'enseignement**

Il s'agit des problèmes propres aux façons dont les dispositifs d'enseignement aident les élèves à construire leurs nouvelles connaissances sur la base de leurs conceptions initiales pour l'élaboration et la conduite de la démarche didactique de l'enseignant de biologie au travers du dispositif d'enseignement de génétique. En d'autres termes, il est question de faire jaillir les différents problèmes en rapport avec tout intéressement aux façons par lesquelles les dispositifs d'enseignement de génétique amènent les élèves de Terminale D à produire de nouvelles réalités à partir de leurs conceptions initiales en les déconstruisant et en construisant des connaissances plus évoluées.

Bien qu'il existe plusieurs problèmes, le problème de l'absence de prise en compte des conceptions des élèves dans les dispositifs d'enseignement revient dans toutes les observations faites dans les salles de classes. Le fait de ne pas prendre en compte les conceptions des apprenants à l'intérieur du dispositif d'enseignement contribue à maintenir les conceptions initiales chez les élèves de Terminale D en génétique. Ceci accentue les difficultés d'apprentissage chez les élèves. De ce constat, nous nous sommes tournés vers les études différentes, afin de ne pas faire fausse route en voulant nous focaliser uniquement sur des constats empiriques. Plusieurs auteurs ont fait le constat selon lequel les élèves éprouvent des difficultés d'apprentissage de la génétique.

2.1.3. Présentation des constats faites lors de l'observation des classes de génétique

Les observations de classe ont révélé les difficultés pour les élèves de matérialiser les différents niveaux biologiques mis en jeu lors de l'enseignement de la génétique. Ces difficultés apparaissent chez les apprenants jusqu'à la fin de l'enseignement de la génétique à cause de l'absence de dispositifs d'enseignement appropriés pour les matérialiser (Bahar, Johnstone & Hansell, 1999). S'il est aisé pour les élèves de se représenter les éléments macroscopiques liés à la génétique et aux caractères héréditaires, (ressemblance physique entre ascendant et descendant, transmission des caractères morphologiques d'une génération à une autre), il n'en est pas de même pour les éléments microscopiques présents dans les chromosomes, les allèles et les gènes et responsables de la transmission des caractères et maladies héréditaires. Les dispositifs utilisés par les enseignants de SVT en situation de classe de génétique sont en inadéquation avec ceux prescrits dans le guide pédagogique de génétique. Dans les dispositifs d'enseignement utilisés en salle de classe, les enseignants n'amènent pas les élèves à la réalisation de l'expérience et à la consignation des données de

génétique qui consiste à réaliser l'expérience en suivant le protocole expérimental. Ils ne conduisent pas à faire des observations quantitatives et qualitatives et à consigner les données de l'expérience. On constate aussi dans ces dispositifs utilisés en situation de classe une absence de dévolution laissant le temps d'observation et de réflexion aux élèves pour confronter les notions de génétique existant sur plusieurs niveaux biologiques et souvent responsables des conceptions erronées chez les apprenants.

Les dispositifs d'enseignement utilisés en situation de classe de génétique aident uniquement les élèves à l'observations des caractères morphologiques accessibles par les sens et appartenant au niveau Macro, des choses vivantes comme les organes, la forme du nez, la couleur des yeux, la ressemblance au sein d'une même famille, en lésant le niveau Sub-micro (allèles, gènes et autres objets expliquant le Macro), non accessibles directement par les sens et nécessitant des dispositifs de modélisation pour les visualiser. L'un des constats fait est que les apprenants n'arrivent pas à faire converger les connaissances des catégories moléculaires et microscopiques vers les observations du niveau macroscopique. Ils commettent des erreurs en essayant. La difficulté à lier ces différents niveaux impliqués en génétique réside dans le fait que ces niveaux sont enseignés de manière séparée au travers des dispositifs pédagogiques utilisés en situation de classe de génétique (Duncan et Reiser, 2007). Les dispositifs d'enseignement utilisés en situation de classe de génétique ; n'amènent pas les élèves à produire chacun un rapport pouvant conduire au débat entre pairs et enseignant avant l'institutionnalisation par l'enseignant. Ils ne conditionnent pas les élèves à la recherche documentaire avant l'institutionnalisation tel que prescrit par le guide pédagogique de génétique. Ces difficultés du domaine de la génétique qui sont déclinés à différents niveaux biologiques et en l'absence des liaisons entre ces différents niveaux lors de l'enseignement et l'apprentissage des élèves, se retrouvent à tous les niveaux scolaires (Duncan et Reiser, 2007). Pour eux les élèves ne font pas la différence entre allèle, gène et chromosomes. L'absence de la recherche documentaire en situation de classe de génétique tel que prescrit par le guide pédagogique entraine et maintient les élèves de Terminale D dans un certain nombre de difficulté telles que : i) difficulté liée à la terminologie et au vocabulaire spécifiques du domaine. ii) difficulté liée au contenu mathématique des tâches sur le croisement génétique. iii) difficulté liée au processus cytologiques. iv) difficulté liée à la nature complexe de la génétique de Mendel : le problème micro-macro, v) difficulté liée au caractère abstrait de l'unité d'enseignement étudié (Boetsma, Knippels & Waarlo, 2005)

L'absence de modélisation dans les dispositifs d'enseignement en situation de classe de génétiques est à l'origine des difficultés liées à la spécificité de la structure de l'information génétique sous forme d'ADN (Pfriedrichsen et Stone, 2004). L'observation faite en situation de classe de génétique est que certains élèves se représentent la molécule d'ADN sous forme de chaîne de chromosomes, d'autres comme une simple échelle sans indication des éléments qui la constituent. Aucun de ces élèves ne se représente la structure de la molécule d'ADN avec bases, phosphates et sucres.

2.1.4. Constats liés aux différentes recherches.

Ces différentes recherches ont permis de ressortir les multiples difficultés des élèves dans le domaine de la génétique en général et concernant l'information génétique et la transmission des caractères héréditaires en particulier. Il ressort de l'ensemble des études internationales que les difficultés des élèves sont en partie liées à l'absence des dispositifs d'enseignement appropriés pour résorber les problèmes de conceptions des élèves en génétique, de confusion entre les différents niveaux biologiques intervenant en génétique et maintenant les élèves dans leurs conceptions initiales (Bahar, Johnstone & Hansell, 1999). Les dispositifs d'enseignement utilisés en génétique, ne favorisent pas la possibilité chez les élèves de raisonner à différents niveaux d'organisation. Ils continuent malgré des leçons à partir de ces dispositifs d'enseignement en vigueur à présenter tout de même des difficultés à lier ces différents niveaux biologiques les uns aux autres. Ils peinent à établir le lien entre les entités physiques et les entités symboliques, et à mieux comprendre leur rôle dans la synthèse des protéines. Ce problème est causé, selon plusieurs chercheurs, par l'impossibilité de manipuler directement les différents objets qui sont impliqués dans le raisonnement. Ceci implique le degré d'abstraction à mettre en œuvre dans les différents dispositifs d'enseignement en vue de les visualiser. En effet, l'ADN, les chromosomes, les cellules sont des objets invisibles à l'œil nu et nécessitant l'utilisation d'un outil supplémentaire dans les dispositifs d'enseignement. (Bahar, Johnstone & Hansell, 1999). Ensuite, l'utilisation des formules mathématiques en vue de dégager un certain nombre d'informations, comme la distance comprise entre les gènes d'un allèle très souvent absent à l'intérieur des dispositifs d'enseignement, complexifie la compréhension de la génétique. Ces difficultés correspondent pour la plupart aux obstacles évoqués et mis en évidence lors des analyses présentées plus haut : les liens entre les objets et niveaux biologiques intervenant dans la transmission de l'information génétique. Les dispositifs d'enseignement en génétique doivent prendre en

compte le niveau d'abstraction nécessaire pour une meilleure compréhension de ces différents objets biologiques intervenant dans la transmission de l'information génétique.

Des études, comme celles de de Morimoto (2002) au Japon, de Ducan, Zion et al. (2006) en Israël ou de Reiser (2007) aux USA ont proposé un certain nombre de solutions à inclure dans le dispositif d'enseignement en vue d'aider les apprenants lors du processus enseignement/apprentissage. Les situations proposées font principalement intervenir un certain nombre de situations de travaux pratiques dans lesquelles s'opèrent des variations du matériel biologique à expérimenter ou les expériences en vue de changer les expérimentations proposées de manière habituelle.

L'objectif visé par ce travail de recherche est de proposer un ou plusieurs dispositifs d'enseignement pour une meilleure prise en compte des conceptions des élèves dans le but de réduire considérablement les difficultés d'apprentissage en génétique. Après élaboration et implémentation de nos dispositifs d'enseignement en génétique, nous nous proposons de vérifier, dans la production des élèves de Terminale D, si certaines de ces difficultés persistent. Ce sera la principale étape de notre situation. Les difficultés que nous espérons retrouver et auxquelles nous nous intéressons en particulier sont principalement celles liées à l'articulation prononcée des différents niveaux biologiques impliqués dans la transmission de l'information génétique et la compréhension des phénomènes génétiques en biologie. Pour l'ensemble de nos travaux, et dans le but de construire notre dispositif d'enseignement final, nous nous sommes appuyés sur un cadre théorique que nous prendrons la peine d'explicitier plus tard dans nos travaux.

2.2. Le problème

Le problème ici est l'inadéquation entre les dispositifs d'enseignement utilisés en situation de classe de génétique et ceux préconisés dans le guide pédagogique et dans le programme officiel de génétique. Les dispositifs d'enseignement utilisés en situation de classe de génétique ne semblent pas résoudre les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves comme le feraient ceux préconisés par le guide pédagogique et le programme officiel de génétique. Les dispositifs d'enseignement préconisés par le guide pédagogique et le programme officiel de génétique sont adéquats pour résoudre les difficultés d'apprentissage des élèves, difficultés liées à leurs conceptions en génétique. Le problème qui se pose est à trois niveaux : premièrement, la méconnaissance par les enseignants des textes officiels, et des dispositifs d'enseignement de génétique préconisés par ces textes ; deuxièmement le manque de volonté des enseignants à utiliser ces dispositifs d'enseignement prescrits par le guide pédagogique et le programme officiel de génétique ; troisièmement, l'inadéquation entre les

dispositifs d'enseignement préconisés dans le guide pédagogique et le programme officiel de génétique et les effectifs pléthoriques dans les salles de classe en contexte camerounais. L'enseignant de SVTEEHB confronté à un effectif pléthorique en salle de classe de génétique éprouve une très grande difficulté à utiliser les dispositifs préconisés par le guide pédagogique et le programme officiel de génétique. Il est donc d'un grand intérêt d'élaborer des dispositifs qui résolvent le problème d'effectif pléthorique tout en prenant en compte les conceptions des élèves en génétique en vue de la résolution du problème d'apprentissage en génétique.

Dans le contexte Camerounais, une politique éducative nationale, ainsi qu'un document national de référence sur l'APC relatifs à la prise en compte des conceptions des élèves ont été développés en biologie dans le cadre de l'APC, d'où la mise sur pied des dispositifs d'enseignement de génétique basés sur l'APC tel que décrit par le guide pédagogique et le programme officiel de génétique. L'arrivée de l'APC avec l'implémentation des dispositifs liés à cet APC tel qu'apparaissant dans le guide pédagogique de génétique. Elle ne résorbe pas les difficultés d'apprentissages liées aux conceptions des élèves en génétique humaine ; car ces dispositifs ne siéent pas aux effectifs pléthoriques au Cameroun. Les dispositifs d'enseignement actuels implémentés dans la salle de classe de génétique ne permettent pas de faire évoluer les conceptions initiales en génétique, c'est-à-dire de déconstruire à suffisance ces conceptions en vue de permettre la construction du savoir scientifique comme l'indique les documents d'implémentation de l'APC. Cette approche au travers de ces dispositifs d'enseignement est pourtant sensés résorber le problème d'apprentissage liées aux conceptions Sakou (2004).

Il est clair que les idées premières des élèves en génétique doivent être modifiées, pour accéder au savoir savant. D'où la nécessité de concevoir et d'implémenter des dispositifs d'enseignement adéquats et appropriés pour pallier les difficultés d'apprentissage des élèves de Terminale D liées à leurs conceptions initiales en génétique humaine.

3. Questions de recherche

Notre problématique porte sur l'élaboration des dispositifs d'enseignement en génétique humaine en vue de pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves. Elle est rattachée à une question principale de recherche à laquelle seront associées des questions secondaires.

3.1. Question principale de recherche

Les sciences de la vie et de la terre en général et la génétique humaine en particulier représentent une source importante de conceptions initiales grâce au rapport qu'entretiennent

les élèves avec le monde extérieur et aux expériences personnelles. Malgré l'implémentation de plusieurs dispositifs d'enseignement en génétique tel que décrit dans le programme officiel et le guide pédagogique de génétique, le problème des conceptions demeurent. Ils conduisent aux difficultés d'apprentissage chez les élèves de Terminale D. Les interrogations proviennent de part et d'autre des représentants de la communauté éducative, que ce soit au niveau des gouvernements, des chercheurs en didactique de la biologie, des inspecteurs et des enseignants de SVT. On se pose la question de savoir

QP : Quels dispositifs d'enseignement élaborer et implémenter pour pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?

3.2. Questions secondaires de recherche

Pour Weisser, un dispositif d'enseignement inclut en même temps le dispositif didactique, le dispositif pédagogique. Un dispositif didactique sera donc un instrument d'enseignement qui ne saurait prévoir des moments de prise en compte des conceptions des élèves, ou l'on porterait un regard distancié sur l'élaboration de méthode d'enseignement en vue de faire évoluer les conceptions initiales (Weisser, 2010). Le dispositif didactique est d'une portée disciplinaire, tandis que les dispositifs pédagogique et instrumental ont chacun une portée générale. Tous ces dispositifs sont inclusifs dans le dispositif d'enseignement, car ce dernier ne se limite pas seulement au dispositif instrumental via les TIC au travers d'une plateforme d'enseignement. Il renvoie aussi au dispositif didactique de modélisation prenant en compte un modèle précis (Weisser, 2010). Donc pour Weisser, 2010, le dispositif d'enseignement comprend :

- Le dispositif didactique de prise en compte des conceptions au travers de la modélisation
- Le dispositif instrumental via les TIC au travers d'une plateforme numérique de modélisation

Les travaux d' Astolfi (1992), de Peterfalvi (1993) et ceux de Rumelhard (1985) résument la prise en compte des conceptions des élèves à travers la modélisation en trois étapes qui sont

- L'émergence des conceptions des élèves
- La déconstruction des conceptions erronées des élèves au travers du conflit cognitif
- La construction du savoir scientifique ou institutionnalisation

La réalisation des solutions pour résorber les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions initiales chez nos élèves, peuvent trouver un terrain fertile grâce à la prise en compte non-numérique de ces conceptions, la modélisation des différents phénomènes de génétique, les dispositifs numériques d'enseignement et d'apprentissage (Vecchi et Carmona-Magnaldi 1996). La question principale nous conduira aux trois questions secondaires suivantes : Comment le dispositif didactique non-numérique de prise en compte des conceptions éradique-t-il les difficultés d'apprentissage des élèves de Terminale D liées à leurs conceptions en génétique humaine ?

Quel est l'impact du dispositif de modélisation de la transmission de l'information génétique sur l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?

Comment le dispositif numérique vient-il à bout des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminales D en génétique humaine ?

Question spécifique 1 (QSR 1) : Comment le dispositif didactique non-numérique de prise en compte des conceptions éradique-t-il les difficultés d'apprentissage des élèves de Terminale D liées à leurs conceptions en génétique humaine ?

En se référant aux étapes de prise en compte non-numérique des conceptions de Astolfi (1992), Peterfalvi (1993) et Rumelhard (1985), à savoir l'émergence des conceptions, la déconstruction des conceptions erronées, la construction du savoir scientifique ou institutionnalisation, nous nous posons les questions suivantes :

QSR 1.1 Quelle est l'incidence de la mise en exergue de l'émergence des conceptions sur la réduction des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?

QSR1.2 Quel est l'impact de la déconstruction des conceptions erronées sur l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?

QSR1.3 Quel est la conséquence de la construction du savoir scientifique/institutionnalisation sur la suppression des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?

Question spécifique 2 (QSR 2) Quel est l'impact du dispositif de modélisation de la transmission de l'information génétique sur la résorption des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?

Question spécifique 3 (QSR 3) Comment le dispositif instrumental via les TIC au travers d'une plateforme numérique résout-t-il la question des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminales D en génétique humaine ?

4. Objectifs de l'étude

Tout travail scientifique repose sur un certain nombre d'objectifs. L'objectif étant dans un travail de recherche le but que le chercheur se propose d'atteindre. Dans notre cas, il s'agit ici d'interpeller les enseignants de SVTEEHB afin qu'ils mettent un point d'honneur sur l'élaboration des dispositifs d'enseignement en SVTEEHB en général et en génétique en particulier afin de pallier les difficultés d'enseignement liées aux conceptions des élèves.

La prise en compte des conceptions des élèves au travers des dispositifs d'enseignement en génétique en classe de terminale D répond aux objectifs généraux et spécifiques énoncés respectivement par l'État du Cameroun et le Ministère en charge des enseignements secondaires au Cameroun. En ce qui concerne l'enseignement des SVTEEHB au Cameroun, ces objectifs sont définis par l'arrêté N°19/D/30/MINEDUC/IGP/ESG du 24/04/94, portant sur la définition des programmes de sciences naturelles des classes du premier et du second cycle de l'enseignement secondaire général. Ainsi, au cours de sa formation, l'élève doit être amené à acquérir des connaissances scientifiques de base et doit être initié aux différentes techniques destinées à assurer sa formation dans ce domaine. Il doit donc être amené selon cet arrêté N°19/D/30/MINEDUC/IGP/ESG du 24/04/94 à un objectif général.

4.1. Objectif général

L'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique humaine en classe de terminale D répond à l'objectif général suivant

OG Évaluer l'impact des dispositifs d'enseignement sur le niveau d'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

Ainsi, dans un cours des SVTEEHB, ce sont ces objectifs qui orientent les choix (théories, méthodes et techniques) de l'enseignant. À partir de cet objectif général, l'enseignant doit veiller à résoudre les difficultés d'apprentissage des élèves liées aux conceptions.

4.2 Objectifs spécifiques

Évaluer l'impact des dispositifs d'enseignement à élaborer sur le niveau d'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine, conduit aux objectifs spécifiques suivant :

Objectif spécifique 1 (OS1) : Présenter l'apport du dispositif non-numérique de prise en compte des conceptions sur la diminution des difficultés des élèves liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine

En d'autres termes, cet objectif secondaire spécifique renvoie à :

OS1.1 Démontrer l'influence de l'émergence des conceptions des élèves sur la remédiation des difficultés d'apprentissage des élèves liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

OS1.2 Évaluer l'impact de la déconstruction des conceptions erronées des apprenants sur la remédiation des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

OS1.3 Montrer l'influence de la construction du savoir scientifique/institutionnalisation sur la remédiation des difficultés des élèves liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

Objectif spécifique 2 : (OS2) Mesurer l'impact du dispositif didactique de modélisation sur les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique.

Objectif spécifique 3 : (OS3) Mesurer l'impact du dispositif instrumental via les TIC au travers d'une plateforme numérique sur les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique.

5. Intérêt de l'étude

L'utilisation des dispositifs d'enseignement appropriés basés sur la modélisation et les technologies numériques pour acquérir, traiter, visualiser et communiquer le savoir en génétique est un domaine très récent de la didactique de la biologie. Ces dispositifs d'enseignement basés sur la modélisation et les technologies numériques jouent un rôle important dans le renouvellement des savoirs en génétique et dans la mise en place d'une nouvelle éducation biologique dans les lycées et collèges (Ducan et Reiser, 2007). L'intégration de ces dispositifs dans l'enseignement de la biologie s'explique par la nécessité de répondre à certaines questions qui relèvent des champs de l'épistémologie de la biologie. Tout ceci débouche sur un certain nombre d'intérêts à savoir : l'intérêt scientifique, l'intérêt didactique, l'intérêt pédagogique, l'intérêt social et psychologique et l'intérêt académique

5.1. Intérêt scientifique

Au plan scientifique, cette étude a pour aspect novateur de proposer des dispositifs d'enseignement qui traitent en profondeur le problème des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves afin de résorber le problème d'échec récurrent des élèves

Le problème des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves dans l'enseignement des SVTEEHB en général et en génétique en particulier devient une réalité dans le système éducatif camerounais. Le processus de prise en compte des conceptions des élèves est donc perçu comme un objet d'enseignement. Ce travail d'élaboration des dispositifs d'enseignement qui résorbe les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique contribue à l'élaboration du savoir scientifique. Ce travail nous propose une méthodologie d'élaboration des dispositifs d'enseignement. Il apparaît comme un support de recherche en didactique des disciplines et comme un support dans la construction du savoir scientifique non pas seulement en sciences de la vie et de la Terre, mais aussi dans les différentes disciplines enseignées. Cette recherche a conduit à la production de nouvelles connaissances ouvrant la voie à des recherches postérieures en didactiques des disciplines, et plus précisément en ce qui concerne la gestion des conceptions /représentations des élèves.

5.2. Intérêt didactique

Ce travail débouche sur des enjeux didactiques forts. Ces enjeux concernent en premier lieu le statut de la connaissance, laquelle ne peut plus être considérée comme un mode d'explication du réel qui serait absolu, mais plutôt circonstanciel et à construire. Le modèle didactique en est par conséquent transformé. Le modèle du cours magistral, qui maintiendrait les conceptions dans les plis de la coutume didactique et n'en tiendrait pas ou pas suffisamment compte, est remis en cause au profit d'un autre modèle privilégiant la réorganisation des connaissances plutôt que leur transmission. L'intérêt porté aux conceptions des élèves, si elles sont placées au centre de la réflexion didactique, est de nature à bouleverser les modèles classiques en obligeant l'enseignant à adapter la situation d'enseignement-apprentissage aux difficultés que rencontre l'élève dans son rapport au savoir. Enfin, c'est toute notre compréhension de l'apprenant qui s'en trouve modifiée, puisque prendre en compte les conceptions des élèves au travers des dispositifs d'enseignement adéquats, ce n'est ni plus ni moins comprendre leur rapport au monde [Develay, 1992]. Pour Astolfi et al. [1997], il s'agit même d'un double renversement de nos perspectives. Nous passons du modèle de « la tête vide » à « l'élève et son déjà-là cognitif » d'une part, et,

conséquemment, de l'idée d'un « élève standard » à un « éloge de la différence entre élèves » puisque chacun est pris dans la singularité de son capital cognitif.

Ce travail sur l'élaboration des dispositifs d'enseignement nous ouvre ici une perspective toute autre. Elle nous fait voir que les conceptions et les représentations ne sont pas uniquement saisies comme des obstacles à vaincre ou à ignorer, mais également comme des appuis, des bases et des aides à partir desquelles construire de nouvelles connaissances. Aussi, la résolution du conflit aide/obstacle se fait non plus sur l'idée d'une évolution continue et accompagnée de la conception vers le concept, mais plutôt sur celle d'une réorganisation profonde de la structure cognitive de l'apprenant. Il faut alors comprendre ce passage de la conception au concept comme une « mutation intellectuelle » [Migne, 1970].

5 .3. Intérêt pédagogique

Ce travail sur l'élaboration des dispositifs d'enseignement appropriés dans la prise en compte des conceptions des élèves en génétique sera un guide pour l'enseignant. Son contenu répondra aux nouvelles approches et méthodes pédagogiques prônées par la recherche en science de l'éducation plus précisément celles prônées par la recherche en didactique des disciplines, notamment une pédagogie axée sur l'apprenant, la gestion de la pédagogie des grands groupes et l'application de l'approche par les compétences.

L'intérêt de cette étude consiste à permettre de dépasser l'utilisation du modèle transmissif, modèle utilisé dans le contexte éducatif actuel aujourd'hui. Ce qui pourra aboutir à la satisfaction des résultats en contribuant à éradiquer la passivité des élèves dans la salle de classe. Cette étude incitera les enseignants à débiter les cours dans la salle de classe par une situation problème. Elle montre l'intérêt de prendre comme point de départ des interrogations des élèves pour en faire jaillir des nouvelles conceptions. Cette étude prône la tenue des différents séminaires pédagogiques et des carrefours pédagogiques qui concernent cette discipline, des formations continues à portée nationale à l'endroit des enseignants de sciences de la vie et de la terre en particulier devant renforcer les capacités des acteurs de l'éducation dans la gestion des conceptions des élèves qui sont rares et non effectives.

Au niveau des établissements scolaires, les unités pédagogiques seront capables d'asseoir une politique autonome et viable de prise en compte des conceptions des élèves en SVTEEB à partir de l'élaboration des dispositifs d'enseignement pour vaincre les difficultés d'apprentissage.

5.4. Intérêt social et psychologique

Ce travail de recherche en didactique des disciplines, grâce au travail de groupe qu'il prône au travers des dispositifs d'enseignement en situations de classe, va faciliter l'insertion de l'apprenant dans le milieu d'apprentissage à savoir le milieu scolaire. Travailler en groupe et via l'outil numérique deviendra pour l'élève non pas une contrainte, mais un atout. Car ce travail rassure l'élève sur le fait que ce n'est pas une fatalité que de se tromper à cause des conceptions erronées accumulées lors de son évolution psycho-cognitif. Cette étude permet d'améliorer le travail de l'enseignant en le rendant plus professionnel et en le rapprochant de l'élève. Il incite l'enseignant à la créativité dans la salle de classe en ce qui concerne les méthodes et les techniques d'enseignement de manière à réduire l'écart entre les élèves et lui parce qu'il a un grand rôle à jouer dans la construction des savoirs chez ces derniers. À partir de ce travail, l'élève pourra sortir de tout complexe.

5.5. Intérêt académique

En tant que doctorant, cette recherche nous permet de nous frotter à l'incontournable logique du monde de la recherche. Elle nous initie à la recherche appliquée, tout en nous permettant d'accroître nos connaissances dans le domaine de l'Éducation en général. Aussi, sanctionnera-t-elle par une thèse de doctorat, à la fin d'un enrichissant parcours académique marqué par de nombreuses et intenses activités théoriques et pratiques.

Pour un développement logique de la problématique, la détermination des intérêts appelle à la délimitation de l'étude.

6. Délimitation de l'étude

La délimitation de l'étude renvoie à la délimitation géographique et à la délimitation spatio-temporelle

6.1 Délimitation géographique

Les finances faisant défaut, notre étude s'est limitée à la région du centre Cameroun. Elle s'est réalisée spécifiquement dans l'arrondissement de Yaoundé 3e, département du Mfoundi et dans l'arrondissement de kiiki, département du Mbam et Inoubou. Plus précisément, elle a porté sur les classes de Terminale D du Lycée de Biyem-Assi dans l'arrondissement de Yaoundé 3e et la classe de Terminale D du Lycée de Mouko dans l'arrondissement de Kiiki.

6.2 Délimitation spatio-temporelle

L'étude s'est déroulée en deux temps, d'octobre 2019 à janvier 2020, ensuite d'octobre 2020 à Mars 2021, soit 9 mois. L'enquête s'est déroulée du Lundi 19 Octobre au vendredi 06 Novembre 2020 soit 17 jours. Et Ce travail a concerné uniquement les élèves de Terminale D ainsi que les enseignants de SVT évoluant au Cameroun. Puisque cette étude a lieu au Cameroun, elle a englobé uniquement les élèves et les enseignants de SVTEEHB du sous-système francophone ayant un cursus scolaire au Cameroun.

Le Chapitre 1 de la première partie intitulé problématique de l'étude nous a permis d'avoir une idée générale de ce dont il sera question tout au long de notre travail de recherche.

La présente étude vise à contribuer à l'avancement des connaissances en didactique de la biologie en mettant en lumière l'apport des dispositifs d'enseignement adéquats comme outil didactique pour faire évoluer les conceptions initiales des apprenants en génétique. Elle contribue aussi à l'expérience en salle de classe virtuelle à partir de l'outil informatique qui est un axe de recherche majeur de la didactique de la biologie en s'interrogeant sur la plus-value de l'usage du dispositif d'enseignement à travers la modélisation et les TIC comme substituts de pratique de classe pour une étude expérimentale des travaux pratiques. Elle se situe donc à la croisée des problématiques liées à l'intégration des approches numériques dans l'étude de la génétique en classe de Terminale D. Cette recherche permettra de répondre à une question récurrente dans la biologie scolaire, celle de savoir si on devrait encore fonder les pratiques scolaires sur l'utilisation des dispositifs d'enseignement classique.

Par ailleurs, la présente recherche va contribuer à la réflexion sur l'intégration des dispositifs d'enseignement appropriés pour la prise en compte des conceptions des élèves et particulièrement ceux incluant la modélisation et les technologies de l'information biologique dans l'enseignement de la génétique (Pfriedrichsen et Stone, 2004; Boetsma, Knippels & Waarlo, 2005; Duncan et Reiser, 2007; Khattech et Orange, 2007

Conclusion du chapitre 1

Parvenu au terme de ce premier chapitre où il était question de présenter la problématique de cette recherche, nous avons structuré ce chapitre en trois grandes parties. Dans la première partie, nous nous sommes appesantis sur le contexte scientifique lié aux dispositifs classiques d'enseignement en classe de génétique en Terminale D. À cet effet, nous avons montré que les dispositifs classiques d'enseignement de la génétique font appel à des démarches pédagogiques multiples et à des outils diversifiés. Parmi ces démarches et ces outils, l'approche basée sur les compétences à travers le numérique et la modélisation,

présente un potentiel didactique énorme dans la prise en compte des conceptions des élèves en classe de génétique en Terminale D. Il participe aussi à la construction des savoirs biologiques en général et génétique en particulier.

La deuxième partie était consacrée au problème de recherche de notre étude en occurrence l'inadéquation entre les dispositifs d'enseignement utilisés en situation de classe de génétique et ceux préconisés dans le guide pédagogique et dans le programme officiel de génétique, inadéquation responsable de la non-prise en compte des conceptions des élèves en situation de classe de génétique. Celle-ci s'est formulée à partir du postulat selon lequel l'élaboration du dispositif adéquat de génétique repose sur des démarches se voulant objectives dans l'éradication des difficultés d'apprentissages liées aux conceptions des apprenants en génétique.

En troisième partie, nous avons présenté les questions de recherche, les objectifs de recherche, l'intérêt et la particularité de cette recherche. C'est une recherche en didactique de la biologie qui allie l'approche par les compétences au travers du numérique et de la modélisation. Elle propose une innovation pédagogique à travers les dispositifs didactiques de modélisation et numérique via les TIC. Cette problématique permet de mieux cerner le contexte et le problème de recherche de cette étude. Elle ouvre ainsi les portes à la construction d'un cadre théorique et conceptuel permettant de mieux saisir les fondements et les approches à la fois théoriques et épistémologiques qui sous-tendent cette recherche. Le chapitre suivant va s'appesantir sur le cadre conceptuel lié à notre sujet de recherche.

CHAPITRE II : CADRE CONCEPTUEL

Le cadre conceptuel fait « référence au travail d'élaboration théorique inhérent à la formulation du problème » (Mace 1988, p. 45). Il « présente l'arrangement des concepts et sous-concepts construits au moment de la formulation du problème pour asseoir théoriquement l'analyse ultérieure de l'objet d'étude » (*Ibid*, p. 45). Ce chapitre consiste à organiser les concepts et sous concepts et à clarifier leurs interactions (Huberman et Miles, 1991). Il décrit sous une forme graphique et narrative, les principales dimensions à étudier, facteurs-clés ou variables-clés, et les relations présumées entre elles. Le cadre conceptuel dans ces travaux

Est constitué des théories et des concepts qui servent de matrice théorique pour les étapes successives de la recherche. Cette matrice est élaborée à partir des analyses conceptuelles (...) du corpus théorique. Ces analyses conduisent à une nouvelle mise en réseau ou cartographie des concepts, voire à leur définition, cartographie qui constituera la matrice théorique (Lenoir, 1995, p. 19).

Dans ce présent chapitre, il sera question, de rendre notre thème de recherche compréhensible en nous emparant des notions et expressions conceptuelles discursives fondamentales, piliers, ainsi que les concepts qui sont liés aux propositions développées dans le cadre de l'enseignement de la génétique du vivant. Aussi, les notions et expressions conceptuelles se distingueront-elles de la manière suivante : les notions et expressions notionnelles fondamentales, les expressions conceptuelles discursives piliers et les concepts et expressions conceptuelles afférant à l'enseignement propositionnel de la génétique du vivant, conformément au curriculum prescrit.

1. Notions et expressions conceptuelles discursives piliers

Les notions discursives fondamentales se rapportent : au dispositif d'enseignement, à la génétique, à la conception, aux difficultés d'apprentissage, au pré-test, au post test, aux savoirs problématisés, aux situations problématisantes, à la mise en situation.

1.1. Les dispositifs d'enseignement

Il s'agira d'évoquer le concept de dispositif d'enseignement dans ses différents contours, en montrant l'intersection et l'inclusion existant entre dispositif didactique et dispositif pédagogique ainsi que leur cohabitation et leur collaboration.

➤ **Le concept de dispositifs d'enseignement dans ses différents contours**

Un dispositif, du latin *dispositum* est un ensemble de moyens mis en œuvre pour une intervention précise. Un dispositif est une articulation d'éléments hétérogènes, symboliques et matériels (Charlier et Peter, 1999 ; Weisser, 2007). Il est aussi un agencement de moyens mis en œuvre par un concepteur pour qui l'objectif de sa création s'avère plus explicite dans son esprit (Meunier, 1999).

Dans le domaine de l'enseignement, un dispositif sera donc un ensemble de moyens par lesquels l'enseignant essaiera de baliser et de prévoir le parcours de formation qu'il proposera à ses élèves sous l'influence de ses choix pédagogiques et didactiques. Le travail d'ingénierie à priori découlant de ce dispositif ne suffirait pas pour circonscrire de manière complète la situation d'apprentissage. Un dispositif sera donc un moyen conçu comme un « monde environnant expérimenté » dans un contexte dans lequel évolue l'apprenant, au sein duquel l'acquisition du sens de chaque objet dépend relativement des autres qui l'entourent (Dewey, 1993 ; Weisser, 2009). Un dispositif dans le domaine éducatif serait alors un objet d'apprentissage possédant des éléments prélevés à partir duquel l'élève apprend, tout en apportant à sa situation (« en y mettant du sien ») un certain nombre d'éléments complémentaires plus ou moins contrôlés par l'enseignant.

Le dispositif est le résultat virtuel, d'un travail d'ingénierie qui envisage les outils instrumentaux ou sémiotiques (Vygotsky, 1930/1985 ; Mercier, 1998). Le dispositif dans le cadre de l'enseignement est donc le résultat virtuel d'un travail d'ingénierie qui prévoit la mise à la disposition des élèves en situation de classe pour que son rapport au monde devienne source d'apprentissage.

Un dispositif pédagogique est un instrument qui allie les objets symboliques et matériels, se trouvant continuellement au service d'une intention éducative, voire politique. Le but d'un tel dispositif est essentiellement pédagogique. En effet centré sur les relations sociales ayant pour visée le sujet apprenant. Leur entrée n'est pas disciplinaire. Elle repose sur les mêmes démarches (maintien/présentation de la centration d'après Montessori), les mêmes méthodes (le tâtonnement expérimental d'après Freinet) quel que soit le champ disciplinaire concerné.

Un dispositif didactique contrairement à un dispositif pédagogique, est spécifique en fonction de la discipline étudiée, étant donné qu'elle se réclame une base épistémologique, surtout que sa validité ne repose pas sur les mêmes arguments en fonction de la discipline et selon que l'on raisonne sur des interprétations ou sur des régularités (Weisser et Rémigy, 2005).

Un dispositif didactique est un instrument d'enseignement qui enchâsse un projet et une situation d'apprentissage. Cette dernière se décompose en trois principales catégories de situations particulières, dites fonctionnelles pour la première, de structuration pour la deuxième et différées pour la troisième. À chaque discipline sa « communauté discursive scolaire » (Bernié, 2002), avec ses règles, ses méthodes et techniques de fonctionnement propres. Dans le domaine disciplinaire du français, les dispositifs didactiques sont des instruments qui conçoivent des milieux pour apprendre bien plus vastes (Weisser, 2009).

Les dispositifs pédagogiques diffèrent donc des dispositifs didactiques par l'uniformité de leurs méthodes d'enseignement et dans leur intention. Les dispositifs didactiques quant à eux se distinguent les uns et les autres par la diversité de leurs méthodes d'enseignement, par l'espace que l'élève est appelé à explorer pour la construction du savoir visé, et par l'extension du milieu d'apprentissage (Weisser, 2010).

➤ **Dispositif pédagogique, dispositif didactique : intersection ? inclusion ? disjonction ?**

La différence entre dispositif pédagogique et dispositif didactique réside non pas dans le fait de transposer, mais dans le type de transposition qui est retenu. Il est commun à l'approche didactique et à l'approche pédagogique. Pour viser un objectif donné en biologie en particulier et en SVTEEHB en général, on aboutira dans un premier temps à un dispositif didactique épuré, focalisé sur la seule notion à découvrir ; et dans un second temps, il, s'agira de « biologiser » la réalité et de discerner ce qui relève du raisonnement en biologie de ce qui appartient au projet collectif dans l'enseignement au travers du dispositif pédagogique, net et transférable dans un dispositif didactique. Un dispositif didactique sera donc un instrument d'enseignement qui ne saurait prévoir des moments de prise en compte des conceptions des élèves, où l'on porterait un regard distancié sur l'élaboration des méthodes d'enseignement en vue de faire évoluer les conceptions initiales (Weisser, 2010).

➤ **Des tensions au centre de la notion de Dispositif**

L'organisation des cours à distance ont amené certains auteurs à interroger leur effet sur les apprenants et l'introduction d'un concept, celui de dispositif instrumental. Un dispositif instrumental est un objet d'enseignement utile pour l'analyse des rapports réflexifs des apprenants et les traces qu'ils ont laissé sur les différents forums d'une plateforme de formation. C'est un milieu construit pour l'apprentissage et où interviennent les élèves et tuteurs de manière massive dans leurs composantes socioculturelles. Ces dispositifs sont des

« frames » considérés comme des cadres d'une expérience, des « sous-univers » dans lesquels nous vivons, (Goffman, 1974, p.12). Ils sont délimités dans un cadre spatial et temporelle, tenant un rôle pertinent pour une activité d'enseignement (Goffman, 1974).

Certains auteurs estiment qu'il serait redondant de parler en même temps de dispositif pédagogique et de dispositif instrumental puisse que tout dispositif initial présente un pan matériel, formé d'outils, de ressources, etc. (Weisser, 2010). Dispositif pédagogique pourrait renvoyer à un vocable à distance, tandis que dispositif instrumentale pourrait faire référence à un instrument d'enseignement où les apprenants se côtoient mutuellement. Dispositif pédagogique pourrait renvoyer à un instrument d'apprentissage où la médiation serait très visible avec apport de l'enseignant. Étant donné qu'il serait inexact de dire qu'il puisse exister un dispositif sans médiation et sans outil, le vocable dispositif pédagogique se confondrait avec celui de dispositif instrumental. À ce moment, la différence entre les deux vocables tiendrait sur le fait que dispositif pédagogique renvoie à la formation « à distance » et dispositif instrumental à la formation « en présentiel » (Weisser, 2010)

➤ **La Situation comme instrument analyseur du Dispositif en tant que notion**

Les réserves par rapport à la discipline enseignée appellent un certain nombre de remarques liées à la notion de dispositif. La première remarque concerne la qualité du dispositif. Un enseignement magistro-centré, expositif, pourrait être appelé « dispositif didactique »

➤ **Dispositif pédagogique, Dispositif didactique : cohabitation ? substitution ?**

Il existe des cas où dispositif pédagogique et dispositif didactique se côtoient officiellement dans une même situation de classe. Il s'agit d'un instrument de classe classé Réseau Ambition Réussite qui essaye de concilier au cours de l'enseignement « deux logiques contradictoires » : l'une repose sur la différenciation et le traitement individualisé des difficultés des apprenants dans le groupe classe (dispositif pédagogique), l'autre par contre repose sur le traitement de la difficulté inhérente à une discipline spécifique et sur la mise en œuvre de situations adaptées, permettant de faire entrer les élèves dans les apprentissages par l'action didactique de l'enseignant (dispositif didactique).

➤ **Du dispositif pédagogique, didactique et instrumental vers un dispositif d'enseignement**

Le dispositif didactique est d'une portée disciplinaire, tandis que les dispositifs pédagogique et instrumental ont chacun une portée générale, à la seule différence que le

dispositif pédagogique est inclusif à celui instrumental, car le dispositif instrumental se limite non pas seulement au dispositif via les TIC au travers d'une plateforme d'enseignement, mais aussi au dispositif de modélisation (Weisser, 2010). La prise en charge des élèves en difficulté par les assistants d'éducation faisant abstraction de la spécificité disciplinaire (notamment à travers des aides aux devoirs, des entretiens individualisés entre enseignant et élève, des ateliers méthodologiques) sont des dispositifs transversaux qui prendront encore le nom de dispositifs d'enseignement.

La pédagogie tout comme la didactique ont chacune une place prépondérante dans les dispositifs d'enseignement. Il existe des dispositifs d'enseignement hors classe et des dispositifs d'enseignement en situation de classe. Les premières sont conçues pour pallier les difficultés auxquelles se heurtent les dispositifs d'enseignement en situation de classe.

Un dispositif d'enseignement est un instrument qui prend en compte le volet didactique et pédagogique dans le déroulement d'une situation d'enseignement. Il prend d'une part en compte les particularités de chaque apprenant en vue de limiter fortement les échecs, et d'autre part, il permet de donner du sens aux apprentissages, en construisant des compétences et non pas seulement des savoirs isolés. Il est très important de systématiquement ajouter une facette pédagogique aux dispositifs d'enseignement, car sa finalité nous offre tout de même des perspectives que la facette didactique seule ne peut nous offrir de manière isolée. Le volet didactique du dispositif d'enseignement est spécifique à chaque discipline, car à chacune d'elle sa « communauté discursive scolaire » (Bernier, 2002), avec ses règles, ses méthodes et techniques de fonctionnement propres à une discipline.

Nous sommes dans la discipline SVTEEHB, et le dispositif d'enseignement que nous élaborons ici est spécifique à la discipline, bien qu'il comporte un volet pédagogique plus générale. D'où l'impossibilité de construire ou concevoir un dispositif d'enseignement, indépendamment des spécificités disciplinaires. L'élaboration d'un dispositif d'enseignement prendra compte des éléments du pari des pédagogues comme Freinet ou Oury, mais aussi, celui des didacticiens à savoir, celui des ateliers de raisonnement logique et autres méthodes de remédiation cognitive (Weisser, 2009). L'élaboration d'un dispositif d'enseignement devra tenir compte de la persistance de certaines attitudes de l'apprenant requises dans les phases adidactique et didactique à l'instar, de l'étayage de ses affirmations par des arguments ; de la problématisation des situations par l'enseignant ; de la prise en compte de la position d'autrui en situation de classe ; de l'interrogation des objets qui meublent le milieu d'apprentissage ; du recours à l'observation et à la mesure ou à l'expérimentation etc...

Voilà au terme de la définition de ce concept quelques idées librement exprimées dans le cadre de nos travaux. Il ne nous reste plus qu'à souhaiter que les pistes que nous avons ouvertes dans ce qui précède permettent de recadrer notre travail de recherche pour une contribution dans l'élaboration d'un dispositif d'enseignement en SVTEEBB.

1.2. Génétique Humaine

La génétique est une science du XXe siècle puisqu'elle se développe, à partir de la redécouverte en 1900 des lois de Mendel, par trois communications publiées simultanément dans les Actes de la société allemande de Botanique, dans le nouveau contexte de la théorie chromosomique et de la fin de l'hérédité des caractères acquis.

Le mot gène exprime le fait que de nombreuses caractéristiques de l'organisme sont spécifiées dans les gamètes au moyen de ce que nous souhaitons appeler des gènes (Johannsen, 1909, p. 124). Tenir compte de la nature des gènes, permet à la génétique formelle et à la génétique des populations de se développer.

➤ Concept de génétiques avec ses différentes conceptions de l'information génétique/gène

Définir le concept de génétique nous permet de rappeler que le concept de gène a une histoire. La définir nous permet de reprendre une partie de l'analyse développée par Rumelhard, celle qui relève que « plusieurs conceptions du gène et de l'information génétique s'enchevêtrent » (Rumelhard, 1986, p.42-44). Quelles sont les grandes catégories de conceptions que nous pouvons proposer ?

La première correspond à une conception matérielle de l'information génétique / du gène. Cette conception s'intéresse essentiellement à la nature du matériel qui porte l'hérédité. Cette centration sur la nature de l'information génétique / des gènes peut rapidement devenir un obstacle à la compréhension du concept de gène, comme l'indique Rumelhard (1986, pp. 41-42). Cette conception du gène a connu un essor lors des premiers travaux visant à identifier la nature réelle de la molécule responsable de la transmission de l'information génétique (les pangènes et biophores de De Vries et Weismann), ensuite lors des travaux conduisant à démontrer que les gènes sont constitués des fragments d'ADN. L'accent mis sur la nature des gènes/information génétique court le risque de très vite devenir un obstacle à la conception des notions de génétique et de gène, comme le souligne Rumelhard qui, se basant sur la structure matérielle du gène. Il stipule que « on crée une image matérielle, un "modèle concret" et non pas un modèle opératoire qui permettrait de penser une expérience »

(Rumelhard, 1986, pp. 41-42), ce qui sous-entend que pour comprendre les concepts de gène et d'information génétique, il faut s'appuyer sur la théorie de l'information.

Une deuxième conception de l'information génétique / du gène, considéré comme une particule, correspond à une conception mécaniste. Il s'agit du (« *le gène-particule* » décrit par O'Neil (1972, p. 225) comme une entité à part entière et isolée dans le chromosome. Le gène est défini par la génétique formelle comme une « *une mosaïque d'éléments juxtaposés* ». Soulignons le fait que bien que ce modèle ait conduit à des avancées considérables, il a aussi contribué à jouer un rôle important comme un obstacle, car les conceptions du gène et de l'information génétique empêchent de comprendre que les gènes sont fonctionnellement interdépendants, car « ces modèles ne prennent nullement en compte la totalité fonctionnelle que constitue le fonctionnement harmonieux et régulé des gènes d'une cellule ou d'un ensemble de cellules » Rumelhard (1986, p. 44)

Une troisième conception est la conception fonctionnelle du gène et de l'information génétique. Proposée par Evelyn Fox Keller (2003), elle joue un rôle assez important au niveau de l'information génétique et dans le gène. Elle intervient à la fois dans la transmission et la stabilité des caractères d'une génération à l'autre (hérédité), mais également dans l'explication du développement d'un organisme. Le concept de programme génétique, faisant plus allégeance à la conception fonctionnelle, « procure l'ingrédient essentiel requis par un discours global sur les gènes qui peuvent être activés de manière variable dans le développement d'organismes parfaitement formés » (Fox Keller, 2004, p. 155).

En revanche, la notion de génétique humaine est plus explicite au sein des progressions de Terminale D puisque les élèves doivent savoir « établir les lois de la transmission des caractères héréditaires, caractères considérés comme étant portés par des particules matérielles (loi de pureté des gamètes) ». Selon l'auteur Canal de Leon, « le principal centre d'intérêt dans la génétique correspond à l'étude des idées des élèves » (Canal de Leon, 1992, p.7). La génétique humaine est une notion complexe de par les processus mis en jeu et la différence qui existe avec la génétique de type animal.

Les termes génétique et génétique humaine furent utilisés par **Mendel**. En effet, il établit les lois de la transmission des caractères héréditaires, caractères qu'il considérait comme étant portés par des particules matérielles (loi de pureté des gamètes). Les lois de l'hérédité qui découlent des travaux de Mendel et de Morgan s'appliquent naturellement à l'espèce humaine : d'où la notion de génétique humaine. Cette génétique humaine a pris au cours de ces dernières années un développement extrêmement rapide, rendant difficile le

travail du généticien par deux sortes de difficultés. D'une part l'équipement chromosomique de la cellule humaine est complexe ; ses 23 paires de chromosomes permettent un nombre prodigieux de combinaison. D'autre part, la longue durée des générations et la fécondité restreinte limitent l'application des lois statistiques de Mendel. Ainsi s'ouvre en médecine un nouveau chapitre de pathologie héréditaire. En génétique humaine, les connaissances accumulées déboucheront sur une nouvelle thérapie dans le but de redresser les « erreurs » génétiques.

➤ **La génétique dans ses différentes conceptions.**

Les conceptions sont essentielles à prendre en compte dans l'élaboration du savoir en SVTEEB en général et en génétique humaine en particulier, si l'on veut un enseignement efficace de cette partie du programme. Mais la question est de savoir comment les utiliser. La façon la plus courante est de faire émerger ces conceptions en début de séquence du cours de génétique humaine.

Giordan (1996) encourage à faire opposer les conceptions des élèves en classe par un travail de groupe qui, selon lui, favorise la motivation et le questionnement. De plus, comme il le souligne, ce travail collectif de mise en commun des idées permet de les faire évoluer grâce au recul de l'apprenant vis-à-vis de ses propres conceptions en génétique humaine. Pour l'élève de Terminale D, l'explicitation de ses conceptions en génétique humaine face à ses pairs permet un enrichissement certain de celles-ci. Pour permettre d'améliorer cet outil, il ne suffit pas seulement de faire ressortir les conceptions des élèves en début de séquence de cours de génétique humaine. Il est nécessaire de les transformer, de les faire évoluer en savoir scientifique. Pour les auteurs Astolfi et Peterfalvi (1993), la mise en place d'un conflit intellectuel, au sein d'un groupe d'élèves (l'instauration d'un débat), ne peut représenter qu'une condition parmi d'autres pour aller au-delà des conceptions premières en ce qui concerne plus particulièrement la transmission des anomalies chromosomiques et maladies génétiques. Mais ce changement est d'autant plus difficile qu'il représente pour l'apprenant un processus désagréable. En effet, le système de pensée de l'élève étant basé sur ses conceptions liées à la notion de gène, à la transmission de ces gènes, ainsi que à la transmission des anomalies chromosomiques et des maladies génétiques etc... Chaque explication prenant appui sur son expérience passée est mise en doute lors du processus de changement engagé en classe. Dans cette situation, deux cas sont possibles : lors d'une situation didactique proposée en classe, les conceptions antérieures de l'élève en SVT en général et en génétique humaine en particulier,

bien qu'erronée, peuvent être opératoires face à la situation en question, et permettant à l'élève de construire un schéma explicatif et de proposer des conséquences justes.

Un des premiers dispositifs qui vient en tête lorsque que l'on évoque les représentations initiales est l'oral. En effet, de nombreux enseignants ont pour habitude de commencer une séquence de cours de SVTEEB par un temps accordé à l'expression de ces conceptions par les élèves. Cette phase prend souvent la forme d'un échange oral entre les élèves et l'enseignant. Ce dispositif oral est en effet une façon efficace d'aborder les conceptions antérieures des apprenants puisque, comme le soulignent Garcia-Debanc et Laurent, « le lexique utilisé par les élèves est à la fois une trace de leurs conceptions et un moyen de manifester leurs connaissances scientifiques » (Garcia-Debanc, Laurent, 2003, p.114). Les apprenants élaborent le sens de leurs propos et de leurs conceptions sur l'expression des gènes, sur la régulation génétique et sur la transmission des anomalies chromosomiques, des maladies génétiques au cours de l'échange et des différentes interactions.

Afin d'étudier correctement les conceptions des élèves sur un savoir scientifique précis, il convient de s'intéresser au savoir en question et de le définir. Pour cela, la suite de notre travail va nous conduire à aborder le concept de conceptions.

1.3. La notion de conceptions

Elle renvoie à la définition du terme Conception ; à la notion de conceptions, à ses différentes composantes ; au rapport entre la notion de conception et la notion d'apprentissage ; à la définition de représentation qui est une notion voisine de conception ; au choix porté sur les conceptions au lieu des représentations.

1.3.1. Définition du terme Conception

La théorie constructivisme de Piaget qui sert de support à la notion de conception, est un paradigme qui considère que le développement se fait par structuration étape par étape. Dans ce paradigme, la connaissance apparaît comme une représentation de l'activité cognitive. Certaines recherches en psychologie stipulent que rien n'est inné, toute connaissance est construite à partir d'interaction entre le sujet connaissant et l'objet de connaissance. Cette interaction se définit et s'autonomise mutuellement. Les objets pensés sont ensuite construits conduisant à la production de connaissance et plus tard aux résultats d'interprétations du sujet de connaissance se trouvant dans un contexte culturel (Piaget, 1970). Cette analyse de la connaissance nous amène à comprendre que l'apprentissage n'est pas simplement un processus renvoyant au stockage des données dans la mémoire, mais c'est un processus, une élaboration progressive et ordonnée, une construction de savoir. Tout ceci passe par des remédiations et corrections à l'endroit des apprenants sur les connaissances dites

« vulgaires ». C'est à partir de ces remédiations et corrections que l'apprenant pourra se rapprocher progressivement du savoir scientifique. Le paradigme constructivisme prend une distance à l'endroit de connaissance tout en prônant leur interaction dans la construction des connaissances. La définition des conceptions des apprenants nous éloigne considérablement de la définition traditionnelle de la conception d'apprentissage et de celle de la conception corrélative d'enseignement qui considère dont la première est considérée comme un savoir préétabli et la seconde comme une transmission des savoirs.

La théorie cognitiviste quant à elle présente la connaissance comme une représentation de l'activité cognitive dynamique et non statique. Cette conception de la connaissance n'admet pas le fait de glisser dans le relativisme inconscient qui pensait que les connaissances sont égales. Cette équivalence explique l'intervention d'un chercheur échappant à ses confrères et condisciples.

Piaget pense que les conceptions des enfants sur leur environnement ne proviennent pas du sujet exclusivement. Elles ne proviennent non plus exclusivement de l'objet. Pour lui, elles sont construites pour mettre en exergue l'expérience et les structures mentales simultanément. La construction des structures mentales dépend de trois processus à savoir l'assimilation, l'accommodation et l'équilibration.

i) l'assimilation : elle est le fait d'intégrer une notion ou une situation nouvelle dans une action antérieure à celle-ci.

ii) l'accommodation : est le fait d'apporter des grandes modifications à une conduite déjà disponible afin de participer à la maîtrise d'un objet ou une situation nouvelle.

iii) l'équilibration : Équilibre dynamique entraînant deux mécanismes distincts et complémentaires à savoir l'assimilation et l'accommodation.

Les psychologues et les didacticiens s'accordent pour dire qu'une conception renvoie à une idée sous-jacente. La conception est une idée sous-jacente dont la présence contribue à expliquer des situations diverses causant des difficultés d'apprentissage (Astolfi, 1992 ; Clément, Giordan, Girault, 1994 ; De Vecchi et Giordan, 1987 ; Thouin, 1996).

Les conceptions sont des idées originales ou mieux, des productions ayant conservés un univers construit de sens, mettant en exergue des savoirs juxtaposés et moins structurés, se rapprochant plus ou moins des connaissances scientifiques leur servant de références.

Les conceptions peuvent aussi se définir comme une association coordonnée d'idées et d'images claires qu'utilisent les apprenants dans le but d'émettre des hypothèses face à la résolution d'une situation-problème. Il met en évidence prioritairement l'idée selon laquelle

cette association renvoie à une structure mentale sous-jacente moteur des données contextuelles. De manière plus formelle, les conceptions sont

... un ensemble d'idées coordonnées et d'images cohérentes, explicatives, utilisées par les apprenants pour raisonner face à des situations-problèmes, mais surtout il met en évidence l'idée que cet ensemble traduit une structure mentale sous-jacente responsable de ces manifestations contextuelles (De Vecchi, Giordan, 1987, p.79)

D'après les travaux de Giordan et De Vecchi, une conception comporte trois parties. Elle est tout d'abord une structure sous-jacente traduisant l'idée de l'apprenant. Cette première partie est aussi un modèle explicatif, ce qui veut dire que par analogie avec les situations et les objets connus, elle aide l'apprenant à expliquer des situations diverses et opposées pour la plupart en utilisant le vécu. Deuxièmement, une conception est une structure sous-jacente qui a la capacité d'évoluer, de se construire en fonction des expériences de l'apprenant. C'est important à ce niveau de relever que c'est l'apprenant qui construit ses conceptions et son savoir. Troisièmement, les conceptions ont une genèse en rapport avec l'individu et en rapport avec une société déterminée. Pour le premier cas, ces conceptions sont liées à l'expérience individuelle, et dans le second cas, elles sont liées à la culture et aux us d'une société (Giordan, De Vecchi, 1987).

L'apprenant structure ses conceptions au fur et à mesure de sa vie. Il apprend de lui-même, par ses parents, ses amis, ses enseignants, les médias, son activité professionnelle et sociale (Giordan et De Vecchi, 1987, p. 85).

Une conception est un processus mental mis en œuvre par l'apprenant et non directement observable. Les conceptions sont des « *déjà là* » de l'apprenant susceptibles de nuire à de nouveaux apprentissages. Elles sont aussi des modèles explicatifs sous-jacentes dépendants de l'histoire personnelle de l'individu et son degré de connaissance, évoluant progressivement pour se rapprocher du savoir scientifique (Nkeck Bidias 2015)

Une conception est définie comme un processus permanent d'une activité dynamique de construction mentale de la réalité, et ne sera jamais assimilé à un produit (Giordan, 1990). Pour Artigue une conception est un objet familier, étroitement lié au savoir dont il fait l'objet ainsi qu'aux différents problèmes liés à sa résolution (Artigue, 1990)

Les conceptions sont un ensemble de « *déjà là* » conceptuel vrai ou faux scientifiquement, venant interférer avec un apprentissage et servant d'explication fonctionnel et véritable pour l'individu apprenant (Astolfi, 1989). De Vecchi (2000), le rejoint pour affirmer le fait que chaque individu possède des conceptions, même sur les sujets ou thème dépourvus d'enseignement. Les conceptions sont des idées simples et cohérentes qui sont le plus souvent erronées et inadaptées, mais présentes néanmoins et propre à chaque individu en fonction de la relation qu'il entretient avec le niveau de connaissance et les contextes culturel,

sociologique et psychoaffectif. Les conceptions font partie intégrante de nous-même et se construisent de manière progressive, en devenant plus tenaces et difficile à renverser. La place des conceptions dans le processus d'apprentissage n'est plus à démontrer de nos jours, car elles occupent une place de choix dans l'apprentissage. L'acquisition d'un nouveau savoir est conditionnée par une remise en cause efficace de celles-ci (De Vecchi, 2000). Une conception dans la définition classique du dictionnaire Larousse est "*l'action d'élaborer quelque chose dans son esprit, de le concevoir*" (www.larousse.fr).

Paccaud (1991), définit une conception comme les empreintes du vécu quotidien d'un individu, marquant son existence et combinant histoire scolaire, socioculturelle et familiale. Pour lui, les conceptions, « c'est ce qu'il nous reste lorsque l'on a tout oublié » (Paccaud, 1991, p.1), une conception peut être défini comme un ensemble d'idées sous-jacentes résultants du fruit des expériences passées et accumulées au fil du temps dans la structure cognitive de l'apprenant.

Une conception est une connaissance naïve différente du savoir savant en dépit du fait que pour un apprenant elle possède une identité explicative d'une situation particulière. Les conceptions à l'apprentissage sont des connaissances vulgaires fonctionnant comme un ensemble d'interprétations des situations scientifiques vécues. Il existe un écart considérable entre savoir savant et conception provenant de la nature fautive des conceptions. Selon Astolfi et Peterfalvi, les conceptions sont des connaissances vulgaires empêchant l'atteinte des objectifs poursuivis par l'enseignement (Astolfi & Peterfalvi, 1993). Les conceptions et leur stabilité sont dépendantes de la démarche d'apprentissage. Il est donc indispensable de prendre en compte ces deux éléments simultanément pour éviter la résistance des conceptions entraînant le blocus dans l'acquisition du savoir scientifique par l'apprenant (Giordan, 1996). Les conceptions selon Vygotsky sont des connaissances naïves ou non encrées dans le mental de l'individu. C'est à cet effet qu'il va distinguer deux grandes familles de conceptions à savoir : les conceptions ayant une portée locale et se formant à partir de l'expérience et du vécu quotidien d'un individu et les conceptions ayant une portée générale encore appelé conceptions scientifiques (Vygotsky, 1934).

1.3.2. Les conceptions et leurs différentes composantes.

“Une CONCEPTION = f (P.C.O.R.S)” (Giordan & De Vecchi, 1987, p.87). Giordan et De Vecchi font référence aux différentes composantes d'une conception en indiquant qu'une

conception est composée d'un Problème pour P, d'un cadre de référence pour C, des opérations mentales pour O, du réseau Sémantique pour R ainsi que des Signifiants pour S.

Le problème est composé d'un ensemble de questions faisant l'objet d'un questionnement de la part de l'apprenant. Ces questions ont pour but de mettre en exergue les conceptions. Le cadre de référence renvoie ici à l'ensemble des connaissances que possède l'élève et qui est en même temps un support pour la formulation de sa propre conception. Les opérations mentales sont utilisées pour permettre à l'apprenant des analogies entre les principaux éléments de son cadre de référence en vue de l'utilisation de sa conception. Le réseau sémantique quant à lui, a pour objectif de fournir un sens clair à la conception étant donné qu'entre les opérations mentales et le cadre de référence, il existe de grands liens. Généralement, dans le but de produire et d'expliquer la conception, les intervenants utilisent les signifiants regroupant tout un ensemble de signes, de symboles et des traces (De Vecchi & Giordan, 1987).

Après des constats répétitifs fait par Giordan et De Vecchi, on dira de la conception qu'elle est quelque chose à prendre très au sérieux. Donc la négliger serait une erreur fatale étant donné qu'elle met à son actif tout un ensemble de composantes fusionnant les unes avec les autres pour donner une réponse à une situation précise. C'est pour cette raison qu'il est important de transformer toute conception erronée en ne négligeant aucun détail fournis par l'élève. Ceci nécessite une découverte minutieuse du pourquoi des explications fournies par l'apprenant. Cette activité requière aussi un travail très difficile puisque la conception erronée provient d'un certain nombre de composantes qui fusionnent dans le but de former une connaissance permanente dans la tête de l'élève.

1.3.3. Rapport entre la notion de conception et l'apprentissage

Les différentes recherches dans le domaine de la didactique des sciences mettent en évidence le fait que le savoir scientifique est difficile à être assimilé par les élèves (Astolfi et Develay, 1989 ; Giordan et De Vecchi, 1987 ; Garnier et al.,1991 ; Astolfi, 1992). Les conceptions contribuent souvent à parasiter l'apprentissage des sciences vu que ces dernières sont pour la plupart du temps des " points d'ancrage" permettant de coordonner les différents objectifs (De Vecchi & Giordan, 1987).

Les conceptions des apprenants se situent ainsi au cœur du problème d'apprentissage, car elles participent au jeu des relations existant entre les informations dont dispose un individu et celles qu'il rencontrera tout au long de son existence ; c'est sur ces éléments que s'élaborent ses nouveaux savoirs et par là même ses conduites futures. (Giordan et De Vecchi, 1987, p.94)

Il est capital pour tout enseignant de tenir compte des conceptions des élèves. À cet effet, il est sensé les faire émerger. Pour cela, il sera judicieux de trouver des situations propices et motivantes, faisant ressortir la ténacité des conceptions chez les élèves. L'enseignant devra élaborer des situations problèmes dans le but d'amener l'apprenant à livrer le fond de sa pensée. En plus de l'élaboration des situations problèmes, l'enseignant pourra aussi utiliser des situations de classe entraînant la confrontation entre les élèves. Il doit également créer des situations déclenchant la rupture entre les conceptions et la réorganisation des champs de connaissances. L'apprenant arrivera à modifier ses différentes conceptions, si l'enseignant réussit à semer le doute dans l'esprit de ce dernier. Pour cela, il devra créer une rupture en utilisant les conceptions comme indicateurs, question de trouver les obstacles et les difficultés rencontrées par l'apprenant ainsi que le point d'appui qui l'aidera à obtenir un cadre de référence et d'apprentissage bien ficelé (Giordan, 1987).

L'enseignant devra procéder après émergence des conceptions chez les élèves, à la déconstruction des conceptions erronées et ensuite, il devra procéder à la construction du savoir scientifique.

1.3.4. Définition d'une notion voisine à la conception : Les représentations

Les représentations sont des acquis et des évidences dans le subconscient des apprenants, qui ne réalisent pas l'existence de celles-ci. Elles sont des informations captées de manière sélective, se formant à partir d'éléments étrangers, déconnectées des événements initiaux et utilisés pour construire des situations nouvelles (Giordan et De Vecchi, 1989). Les représentations sont très souvent vues comme un produit dédié à l'action pédagogique et non comme un processus servant de support à la construction du savoir.

Les représentations sont des acquis permettant de donner sens aux difficultés qu'éprouvent les élèves au niveau de leur apprentissage en science les reliant à ce qu'ils savent déjà. Au fil du temps, il y'a eu mutation de la définition des critères de scientificité parmi les épistémologues. Il y'a eu passage de la science comme représentation à la science comme croyance. En effet, le concept d'information a été remplacé petit à petit par le concept de représentation. Le premier faisant allusion à l'intelligence humaine qui est, « la capacité de construire des représentations, d'effectuer des traitements sur elles à partir des situations auxquelles l'individu est confronté » (Godefroid, 2001, p.59). De nos jours, les croyances remplacent progressivement les représentations.

De plus en plus, les connaissances considérées comme le produit de l'activité mentale, peuvent avoir deux origines en fonction de la manière dont elles sont conçues et selon la perspective théorique à laquelle on croit (Martinot & Troade, 2003). Ces connaissances sont conçues comme des représentations de la réalité se trouvant dans l'esprit des individus ou des objets concrets selon les théories traditionnelles de Piaget. Les représentations ont pendant des années occupées une place centrale qui semble critiquée aujourd'hui, ce qui prouve que les connaissances sont plutôt conçues comme des croyances se rapportant aux objets et à la réalité provenant d'un processus de propositions ou d'échange d'idées entre divers sujets. Ainsi, connaître renvoie à adhérer à une croyance assimilée à une vérité précise. Une relation entre plusieurs sujets est donc le produit de ces croyances, tandis qu'une relation entre le sujet et l'objet renvoie plutôt aux représentations. En définitive, les connaissances peuvent être décrites soit comme des systèmes de croyances, soit comme des systèmes de représentations.

1.3.5. Choix porté sur la notion conceptions au lieu de représentation

Initialement, le terme représentation était très fréquent dans les différentes recherches en didactique des disciplines scientifiques. Au fur et à mesure, les chercheurs en psychologie et en didactique se sont rendu compte de ce que ce terme posait un problème d'ambiguïté.

Le terme représentation est en effet utilisé dans plusieurs branches de la psychologie à savoir la psychologie génétique, la psychologie différentielle ou expérimentale, la psychologie sociale. Il connaîtra aussi un essor tant en ethnologie, linguistique, philosophie qu'en didactique ou en pédagogie. Car

“il est connoté différemment selon les écoles qui l'utilise, tant en psychologie (génétique, sociale, expérimentale ou différentielle), en philosophie, ethnologie qu'en pédagogie ou en didactique. Nous avons relevé, à ce sujet, 28 qualificatifs...” (Giordan et De Vecchi, 1987, p.79).

Le terme représentation possède des définitions variées couvrant plusieurs connotations. Plusieurs chercheurs se sont concertés à cet effet pour adopter le terme conception dépourvu d'ambiguïté (Giordan, Girault et Clément, 1994).

De manière récurrente, le terme “conception” a commencé à apparaître dans différents travaux de recherche au détriment de celui du terme “représentation” jusqu'à ce qu'il soit proposé de manière explicite aux chercheurs en didactique des disciplines des sciences expérimentales en 1987 par Giordan et De Vecchi et en 1988 par Giordan et Martinand. Donc le terme “conception sera désormais utilisé à la place de celui de “représentation”. Ce dernier devenu trop polysémique, car créant trop de confusion avec celui de représentation graphique des objets.

Les concertations entre chercheurs ont permis d'aboutir à une utilisation du terme « conception » plutôt que « représentation ». En définitive, dans le cadre de nos travaux, nous n'auront recours qu'au terme « conception ».

1.4. Difficulté d'apprentissage

Les difficultés d'apprentissage ont des origines diverses parmi lesquelles les problèmes physiologiques, les problèmes liés à la transposition didactique approximative et ceux liés aux déficiences chez les élèves.

1.4.1. Difficulté d'apprentissage liée aux problèmes physiologiques

L'apprentissage ne se fait pas à partir de rien : l'élève a des façons de penser les questions scientifiques et des connaissances avant enseignement, de sorte que celui-ci ne vise pas simplement à apporter des connaissances, mais changer les conceptions des élèves. Ces conceptions ont une résistance au changement. Car elles sont, dans une certaine mesure, cohérente et efficace (...) (Orange et Orange-Ravachol, 2013, p.49)

Pour Christian et Denise Orange (2013) les difficultés d'apprentissage renvoient au fait que le cerveau contient un bagage de préconception constituant des réels obstacles à l'apprentissage.

À partir de 2000, les recherches en neurosciences ont permis de définir les difficultés d'apprentissage. Ces recherches ont démontré qu'il existe deux types de réseaux neuronaux menant à la formulation de réponses inappropriées et un deuxième type de réseaux neuronaux conduisant à la formulation des réponses et conceptions expertes (Houdé, 2004 ; Potvin, 2011 ; Masson, 2012).

Quand les réseaux neuronaux qui conduisent à la formulation des réponses inappropriées sont activés chez un élève ou un apprenant quelconque, ce dernier est confronté à des difficultés d'apprentissage. Ces élèves sont souvent confrontés à la difficulté d'appropriation des conceptions expertes. L'élève en difficulté a souvent besoin de l'apport du didacticien ou de son enseignant ou tuteur qui veillera non pas à « effacer » les réseaux neuronaux en place, mais à apprendre à inhiber ceux qui mènent à la formulation des réponses inappropriées et activer ceux qui conduisent à la conception experte (Houdé, 2004 ; Potvin, 2011 ; Masson, 2012).

Les apprenants chez qui les réseaux neuronaux conduisant à la formulation de réponses inappropriées sont facilement activés, ont du mal à formuler les conceptions expertes. Ils sont le plus souvent considérés dans la société comme des élèves ayant un quotient intellectuel bas. La difficulté d'apprentissage n'est pas loin d'être corrigée. Car l'enseignant qui procède à l'activation des réseaux neuronaux, conduisant aux conceptions expertes provoque chez

l'apprenant un conflit perceptivocognitif qui l'oblige à remettre en question le changement conceptuel et sa conception erronée. Cet état de chose provoquera une inhibition des réseaux neuronaux qui conduisent ou mènent à la formulation de réponses inappropriées.

La gestion des difficultés d'apprentissage est, depuis des décennies, comme le montre une abondante littérature (Garrett, 1986) un des axes importants dans les recherches en didactique des disciplines en général et celle des sciences en particulier. Généralement les causes de l'échec scolaire sont attribuées par les enseignants, presque exclusivement à des difficultés d'apprentissage. Plus précisément à des lacunes chez les élèves. Ceci exprime, indéniablement, un des traits les plus caractéristiques de la "pensée spontanée" des enseignants (Gil, 1991). Un argument souvent entendu est que l'échec de certains élèves est dû à leur propre déficiences, puisqu'il y'a toujours des élèves qui apprennent sans difficultés.

Les recherches sur les difficultés d'apprentissage s'intéressent autant aux lacunes des élèves, qu'à l'activité des enseignants. Les solutions proposées par les chercheurs sur les difficultés d'apprentissage peuvent au mieux, être efficaces localement, mais le manque d'interprétation dans un cadre général les réduit à ne traiter que des cas particuliers. Il a été mené une étude critique sur la pédagogie utilisée et sur les recherches au sujet des difficultés d'apprentissage. Cette étude remet en cause ce qui est généralement accepté comme évident. Elle essaye de construire un fondement théorique tenant compte des acquis des recherches sur l'enseignement/apprentissage (Posner, Strike, Hewson et Gertzo, 1982 ; Driver et Oldham, 1986).

Le travail (d'Andrée Dumas-Carré, Monique Goffard et Daniel Gil ; 1990) qui s'est développé en parallèle en France avec ceux de (Dumas-Carré, 1987 ; Goffard, 1990), et en Espagne avec ceux de (Martinez-Torregrosa, 1987 ; Ramirez-Castro, 1990), a entraîné une profonde réorientation sur la considération de la recherche sur les difficultés d'apprentissage (Gil et Martinez-Torregrosa, 1983 ; Gil, Dumas-carré, Caillot, Martinez-Torregrosa et Ramirez-castro, 1990). Cette réorientation de la recherche sur les difficultés d'apprentissage mises à l'épreuve, dans des classes, a obtenu des résultats très positifs (Gil et al 1988 -a).

L'interprétation selon laquelle l'échec scolaire se serait généralisé à cause des déficiences des élèves sera rejetée. La nouvelle orientation proposée face aux difficultés d'apprentissage permet de les cerner plus finement et, par la même occasion, de mieux les prendre en compte et les traiter. Il est à noter que les difficultés d'apprentissage rencontrées sont bien plus complexes que celles habituellement considérées. Celles-ci sont davantage liées aux processus de résolution des problèmes qu'à des lacunes dans les connaissances des

élèves. Elles sont plus causées par un manque de méthode d'enseignement appropriée qu'à des déficiences chez les élèves.

La plupart des enseignants ont plus tendance à attribuer les difficultés d'apprentissage aux déficiences chez les élèves plutôt qu'à leurs méthodes d'enseignement. Il est facile de constater qu'habituellement les enseignants proposent des solutions aux problèmes sans tentative ni doute. Ils les proposent connaissant la solution, en la développant de façon linéaire et le plus clairement possible. En conséquence, les élèves apprennent cette solution. Certains pourront la reproduire dans des situations suffisamment voisines. Mais d'autres éprouveront des difficultés au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la situation illustrée. La difficulté d'apprentissage est la plupart du temps la conséquence d'une conception de l'enseignant qui considère l'enseignement/apprentissage comme une simple transmission de connaissances.

1.4.2. Difficultés d'apprentissage rencontrées par les élèves en biologie

Les difficultés que rencontrent les élèves en biologie sont de plusieurs ordres. Bien qu'il soit reconnu que les méthodes d'enseignement jouent un rôle important dans l'amplification des difficultés d'apprentissage, il est à noter qu'il est largement reconnu que les outils mathématiques nécessaires pour appréhender plusieurs domaines scientifiques en général et celui de génétique en particulier, représentent un obstacle, sinon un filtre, décourageant plusieurs élèves (Driver et Easley, 1978).

De plus, la façon même dont les SVTEEHB sont constituées, fait d'elles un sujet aride. En décrivant la nature, la science de la vie et de la Terre est construite d'énoncés, qui sont des énoncés d'observation, des lois, des modèles. Ces derniers peuvent faire l'objet d'une description sans nuance du monde matériel, mais ils sont construits à partir d'observation humaine, avec toutes les imprécisions et les erreurs d'interprétation que cela peut entraîner. Ainsi, ces difficultés sont liées à l'apprentissage chez les élèves. Toutefois, on rapporte que les difficultés d'apprentissage chez plusieurs élèves proviennent du fait qu'ils ont tendance à confondre les modèles scientifiques et le monde réel (Astolfi & Coll, 2008). Cette vision positiviste du monde les empêche de comprendre que les énoncés du modèle scientifique en sciences de la vie et de la Terre (biologie) ne sont pas applicables dans tous les contextes.

« (...) la fonction essentielle des énoncés scientifiques est d'être utilisable, comme outils intellectuels » (Astolfi & Coll, 2008, p.18) ; Or, il y'a difficulté d'apprentissage lorsque les élèves sont incapables de remettre en question l'apparent dogmatisme de ces énoncés. Ces élèves en difficulté ont tendance à essayer de faire entrer leurs propres observations dans le

modèle plutôt que de choisir le modèle expliquant le mieux leurs observations. Ce qui pourrait renforcer les fausses conceptions chez ces derniers.

1.4.3. Difficulté d'apprentissage liée à une transposition didactique approximative

Dans les écrits de recherche révisés lors de l'analyse didactique, les auteurs présentent tous la conception « scientifique » de leurs notions comme étant un objectif à atteindre au terme d'un enseignement réussi. À ceci, ils opposent les conceptions alternatives qu'ils ont observées dans le courant de leurs recherches. Bien que cette façon de procéder peut-être un cadre explicatif sous-jacent tendant vers un courant plutôt positiviste de l'éducation, il demeure que la mise sur pied du concept normatif est une nécessité pour la recherche en didactique. L'énoncé « authentique », celui qui énonce le concept scientifique, est nommé (« propositional Knowledge Statement », ce qui signifie un énoncé propositionnel (Treagust, 1988)

1.4.4. Difficultés d'apprentissage liées à des déficiences chez les élèves

L'apprentissage ne se fait pas à partir de rien : l'élève a des façons de penser les questions scientifiques et des commentaires avant enseignement, de sorte que celui-ci ne vise pas simplement à apporter des connaissances, mais à changer les conceptions des élèves. Ces conceptions ont une résistance au changement. Car elles sont dans une certaine mesure, cohérentes et efficaces (...) (Orange et Orange –Ravachol, 2013, p.49)

Christian et Denise Orange (2013) résumant ainsi le fait que le cerveau contient un bagage de préconceptions constituant de réels obstacles à l'apprentissage et entraînant des difficultés d'apprentissage chez l'élève. Selon ces auteurs, il existe des divergences de vue sur l'origine des difficultés d'apprentissage liées aux préconceptions. Vosniasdou (1992) propose les conceptions des élèves comme faisant partie d'un référentiel théorique cohérent dans lequel ils cherchent à construire le savoir.

1.4.5. Le statut des difficultés d'apprentissage dans la conception de résolution de problèmes

Nous allons considérer les difficultés des élèves lors de la résolution d'un problème scientifique dans une perspective qui rompt avec les conceptions spontanées des enseignants. Une étude réalisée sur les conceptions spontanées des enseignants des sciences (trois centaines environ) de l'enseignement secondaire (Martinez-Torregrosa, 1987) sur les origines de l'échec des élèves dans les activités de résolution de problème en situation de classe a montré que les seules raisons évoquées par les enseignants sont :

- Le manque d'attention des élèves dans la salle de classe en situation d'enseignement-apprentissage
- Le manque de connaissance théorique
- Le manque de connaissance mathématique

Ces explications vont révéler une conception de la compréhension de la résolution de problème comme une simple application des connaissances théoriques déjà acquises par les élèves. Lorsque la résolution de problème en situation de difficulté d'apprentissage devient une activité proche de celle des chercheurs, l'idée de difficulté d'apprentissage perd sa connotation négative (celle renvoyant à la déficience de l'élève) pour devenir une difficulté liée à l'absence de méthode d'enseignement approprié. En effet, en situation d'apprentissage, la résolution des problèmes est souvent consubstantielle à toute situation réellement problématique. La difficulté d'apprentissage est très souvent la conséquence du fait que l'enseignant se comporte en situation de classe comme si la résolution des difficultés se limite à rappeler une solution déjà vue et non à chercher et envisager surmonter des obstacles (et ceci tout au long du processus de résolution)

1.4.6. Surmonter la difficulté d'apprentissage

Le premier pas pour apprendre à affronter et à surmonter une difficulté liée à l'apprentissage consiste à identifier la difficulté comme telle. Elle doit être ressentie, puis explicitée, il faut que le travail de l'enseignant le conduise à mettre les élèves dans les conditions de travail en utilisant les méthodes appropriées d'enseignement et en laissant à la charge des élèves diverses activités cognitives sans les court-circuiter par des énoncés trop stéréotypés.

Le travail des élèves doit alors revenir à résoudre des vrais problèmes. Bien que les modèles épistémologiques ne disent rien à propos des modes pédagogiques adoptés par l'enseignant en situation de difficulté d'apprentissage, il faut, pour être cohérent mettre les élèves en situations adéquate pour identifier et expliciter leurs difficultés. Pour cela, une solution consiste à faire travailler les élèves en situation de difficultés d'apprentissage de façon autonome, et en petits groupes (c'est-à-dire avec les paires), avec des mises en commun périodiques animés par l'enseignant.

Soulignons le fait que ces différentes difficultés d'apprentissage sont pour la plupart liées aux différentes conceptions chez les élèves. D'où l'intérêt de mettre sur pied un ou plusieurs dispositifs d'enseignement appropriés.

2. Notions et expressions conceptuelle discursives fondamentales

Elles sont trois, à savoir, Sciences de la Vie et de la Terre / Éducation à la santé, à l'Environnement, à l'Hygiène et la Biotechnologie (SVTEEHB), obstacle et transposition didactique qui sont des notions piliers dans l'enseignement des sciences en général et des SVTEEHB en particulier.

2.1. Les SVTEEHB comme discipline scolaire

Les cours de SVTEEHB au secondaire et au premier cycle universitaire sont importants pour former les jeunes dans la compréhension des tenants et aboutissants de ces défis modernes qui sont les nôtres, même s'ils ne poursuivent pas, en fin de compte, une carrière scientifique.

2.1.1. Les SVTEEHB dans la dynamique du programme scolaire

Le programme des sciences de la vie et de la Terre au Québec, 200.B0, vise à préparer les jeunes élèves aux études universitaires approfondies tout en leur fournissant « les composantes de base d'une formation scientifique et d'une formation générale rigoureuse » (MELS, 1998, p. 3). En formation spécifiques, les élèves suivent des cours de biologie, chimie, mathématiques et physique qui sont les quatre disciplines maitresses d'œuvre du programme. Les cours de science de la vie et de la Terre visent à développer des compétences spécifiques et générales. Ces compétences représentent des enjeux scientifiques rigoureux visés par le Ministère, les programmes scolaires, les établissements scolaires et les enseignants dans la salle de classe.

Les SVTEEHB sont une discipline centrale au sein des sciences de la nature. Elle fait naturellement la liaison avec les autres disciples à l'instar de la chimie et la physique. Ces dernières se situent très souvent à un niveau d'interdisciplinarité avec la première. L'apprentissage des SVTEEHB peut permettre aux apprenants scientifiques à mieux comprendre les autres disciplines scientifiques.

Les SVTEEHB étudient le vivant, l'être humain, les écosystèmes et l'origine de la vie et la nature. Elles traitent aussi bien des propriétés macroscopiques du vivant et de la matière que leurs modèles microscopiques (éléments microscopiques du vivant et de la matière visible au microscope à l'instar des gènes, de la cellule et des micro-organismes) et sous microscopiques (dont la construction se fait par déduction sur la base d'observation indirecte). Ces modèles permettent d'expliquer et de prédire les phénomènes au niveau

macroscopique. Les SVTEEHB sont une science expérimentale, constituée de modèles et de théories qui ont été construits empiriquement, à partir d'un certain nombre d'observations expérimentales. Enfin les SVTEEHB sont à la fois sciences et support médical et industriel (Laszlo, 2012)

Les SVTEEHB ne se contentent pas uniquement d'observer, de décrire le monde vivant et la matière, les transformations y afférentes. Elles organisent, tirent profit de ces observations, de ces descriptions et de ces transformations pour améliorer notre environnement et notre écosystème en amont et en aval pour le bien-être de l'humanité.

De manière plus classique, on considère que les trois principaux objectifs de l'activité scientifique visent à la *description* des phénomènes macroscopique et microscopiques, leur *explication* par des théories et la *prédiction* de nouveaux phénomènes grâce aux modèles (Boulot, 2012 ; Thouin, 2009). Ainsi, l'apprentissage de la biologie au postsecondaire devrait mener les étudiants à comprendre les modèles pour les *décrire* et aussi à s'en approprier dans le but d'*expliquer* et *prédire* le comportement de la matière tant au niveau microscopique qu'au niveau macroscopique. Un apprentissage réussi, à ce niveau, conduirait les étudiants à raisonner de façon plus scientifique. L'idée de l'enseignement des SVTEEHB en général et de la biologie en particulier est de faire apprendre de grandes idées novatrices aux étudiants. Ces idées leur permettront de réaliser des observations et des prédictions justes du monde vivant et de la matière (Schmidt, 1996)

Certains concepts de biologie, plus précisément de génétique étudiée en Terminale scientifique ont déjà été abordés dans des classes inférieures et sont maintenant revus plus en profondeur. Toutefois, plusieurs concepts de génétique, plus complexes que ceux qui sont abordés en Terminale scientifique, sont étudiés pour la première fois en classe de Troisième. En classe de Terminale D, Les cours de génétique du programme de biologie, présentent les concepts principaux suivants : lois statistiques de génétique classique, transmission de l'information génétique, hérédité humaine, anomalies chromosomiques, maladies génétiques, nature chimique du matériel héréditaire, mode d'action des gènes, caractère héréditaire, crossing-Over, linkage chromosomique, brassage chromosomique, reproduction sexuée, unicité génétique, diversité génétique. Les cours de biologie au secondaire sont d'un caractère obligatoire et il n'existe pas de cours optionnels.

Dans l'apprentissage de la biologie, le savoir est vaste et les connaissances, très nombreuses. Les connaissances s'opérationnalisent sous plusieurs formes, comme le monde vivant (incluant la génétique), l'éducation à la santé, la biotechnologie, les composantes de la

matière vivante, mais aussi les modèles qui permettent d'expliquer et de prédire le comportement de cette matière vivante. Plusieurs de ces modèles reposent sur des métabolismes et sur des micro-organismes et constituants trop petits pour être visible à l'œil nu, ce sont des modèles sous-microscopiques. D'autres modèles reposent sur des macroorganismes. Il faut donc une bonne dose d'abstraction pour intégrer ces deux modèles.

Le programme officiel de Biologie au secondaire permet aux élèves de « savoir que » la matière vivante est constituée du plus petit élément qui est la cellule avec un noyau, siège des divisions cellulaires à l'instar de la mitose et de la méiose et où est logé le matériel génétique tels que les gènes et les chromosomes. Ce programme permet aussi aux élèves de se familiariser avec les différents métabolismes cellulaires, avec les différents tissus et organes, ainsi qu'avec les différents systèmes de l'organisme à savoir : le système nerveux, le système cardiaque, le système digestif, le système génito-urinaire, le système endocrinien, le système respiratoire, le système squelettique, le système musculaire, le système réticulo-endothélial, le système circulatoire (sanguin) , le système lymphatique, le système immunitaire, l'études des maladies et les vecteurs responsables, etc... En biologie, on fait face à trois exemples de connaissances, respectivement les connaissances déclaratives, conditionnelles et procédurales (Tardif, 1992). Toutes ces connaissances nécessitent toute la mise en action de processus cognitif distinct et pertinents.

On peut parfois, croire qu'en biologie, les connaissances déclaratives sont plus faciles à apprendre que les connaissances conditionnelles et procédurales. En SVTEEHB en général et en biologie en particulier, la distance épistémologique est si grande entre le monde qu'on peut observer et les modèles si peu familiers et si complexes, qu'elle fait surgir les obstacles dès l'apparition des connaissances de base. Les connaissances conditionnelles et procédurales en biologie sont encore plus difficiles à maîtriser au secondaire.

2.1.2. Domaines multiples de savoir en SVTEEHB/Biologie en général et en génétique en particulier.

Une caractéristique épistémologique de la biologie distingue cette dernière des autres sciences expérimentales à l'instar de la géologie, de la chimie et de la physique. En vue d'illustrer ce qui est entendu par « domaine du savoir », un éminent professeur de didactique des sciences de la Vie et de la Terre, David Treagust, propose une analogie et encourage les enseignants de SVTEEHB à commencer chaque unité d'enseignement par une anecdote à l'instar de celle-ci. Un jour, pendant qu'il visitait le musée d'art de Los Angeles County,

Treagust aperçu la toile du peintre surréaliste belge Magritte René intitulée “*la trahison des images*”. Cette toile illustre simplement une pipe sur un fond neutre, accompagnée d’une légende : « Ceci n’est pas une pipe ». Bien que l’Australien Treagust ait compris la légende en langue française et s’est écrié « *This bloody looks like a pipe to me !* » (Gilbert & Treagust, 2009)

Bien évidemment, Magritte voulait faire comprendre aux uns et aux autres que son illustration d’une pipe n’est pas une pipe, mais la *représentation d’une pipe*. Il faut souligner, que c’est cette prise de conscience qui a guidé Treagust dans l’enseignement des sciences. En effet, les animations chromosomiques, le code génétique, les formules des protéines, acides aminés etc... ne sont pas ce qu’ils représentent. Ils forment un système de représentations induisant un décalage entre le monde vivant et le modèle. Les représentations peuvent aider à illustrer le comportement de la nature corpusculaire des particules cellulaires et des réactions chromosomiques à l’intérieur d’un noyau cellulaire ou à l’opposé la formation des caractères héréditaires. On peut traiter en génétique d’un problème en considérant des gènes et des chromosomes manipulables en laboratoire et dont la culture se fait *in vitro*, ou alors considérer spécialement un événement génétique ponctuel d’une interaction entre les chromosomes et gènes de deux individus lors de la fécondation. Pour un biologiste ou un généticien, les domaines du savoir sont si imbriqués les uns dans les autres qu’ils ne se distinguent pas, l’un servant à expliquer l’autre, les manipulations du premier servant à prédire le comportement du suivant. Les chercheurs en didactique de biologie ont par contre observé que les élèves ont du mal à distinguer les connaissances propres à chaque domaine en biologie en général et en génétique en particulier. Raison pour laquelle, ce flou pourrait mener à des difficultés d’apprentissage et de compréhension.

Les chercheurs en didactiques ont estimé qu’il existe trois domaines du savoir en biologie : les domaines macroscopiques (les phénomènes observables à l’œil nu, ressemblances en génétique, observation des faits biologiques etc...), sous microscopiques (visibles à l’aide du microscope, représentation et mode de vie des micro-organismes) et métaboliques (fonctionnement des organismes, systèmes, organes, tissus et cellules) (Gilbert & Treagust, 2009) ; ces trois domaines ont été proposés par Johnstone (1982) au départ. Cette triple représentation est un enjeu très important en recherche dans le domaine de la didactique de la biologie.

2.1.3. Étude du vivant : Les démarches de la Biologie, domaine du vivant en SVTEEB

La biologie est très souvent considérée comme une science expérimentale, mais il faut souligner le fait que toutes les connaissances biologiques ne sont pas obligatoirement fondées sur les expériences, notamment l'étude de la biosphère et des écosystèmes (à moins de considérer la pollution industrielle et Tchernobyl comme des expérimentations...). En biologie, les démarches des recherches peuvent faire l'objet d'un regroupement en trois types.

- Démarche à partir de l'observation.

La démarche à partir d'observations regroupera la démarche à partir d'observations à l'œil nu, la démarche à partir d'observations instrumentalisées, la démarche fondée sur la description et l'interprétation.

- Démarche à partir d'observation à l'œil nu

L'usage de la flore et de la faune ainsi que de toute la systématique est basée sur un type simple d'observation qui se fait à l'œil nu. Dans certains cas, cette observation est réalisée à l'aide des loupes de poche. Il est à souligner que le suivi et la description des écosystèmes marque très souvent ses débuts par ce niveau d'observation, aidé de techniques de cartographie et d'échantillonnage. Ce niveau d'observation simple est aidé de simples palpations ou écoutes qui sont considérés comme le stade numéro un de tout diagnostic médical. Les démarches adoptées pour ces descriptions sont celles de la classification : définition de critères pertinents, de catégories, de profils et de leurs relations...

- Démarche à partir d'observations instrumentalisées :

Cette démarche fait allusion aux dissections, coupes, imagerie biomédicale anatomique, biologie moléculaire, mais aussi à des photographies par avion ou satellite pour les écosystèmes ou l'agriculture, tout ceci obéissant, aux mêmes logiques de description et de catégorisation. Néanmoins, elles nécessitent la maîtrise de ces instrumentations en vue d'interpréter certaines données comme les images qu'elles fournissent et être sûr que les données observées ne sont pas des artefacts introduits par l'instrumentation. Dans ce cas, il n'y a pas de protocole de recherche, basé sur les hypothèses, des techniques appropriées d'observation, puis d'analyse des données.

L'absence d'expérimentation ne signifie pas qu'il y a absence de références théoriques en vue d'interpréter les données observées. La taxonomie animale ou végétale (systématisation) en est un exemple adéquat (Tassy, 1986 ; Clément et Grim, 1998).

- **Démarche fondée sur la description et l'interprétation**

Cette démarche a été étudiée jusqu'à présent dans le cadre de recherches relevant de la psychologie cognitive (Cordier & Denhière, 1990). Plusieurs de ces recherches ont été menées sur l'interprétation de certaines images qui sont utilisées dans le cadre des recherches dans une optique sémiologique d'une part (Bastide, 1985 ; Lynch & Woolgar, 1989) et, en didactique de la biologie à partir de l'imagerie biomédicale d'autre part (Gay et al., 1996 ; Clément et al., 1996 ; Clément et Fisseux, sous presse...).

Ces recherches ont une problématique qui consiste à déterminer jusqu'à quel point il est nécessaire de maîtriser les techniques d'interprétation.

- **Démarche à partir de l'expérimentation**

Depuis les travaux pionniers de Giordan (1978), Cauzinille et al. (1983), Astolfi (1984), B. Darley (1994) et dans le cadre du programme européen sur l'expérimentation dans les T.P, plusieurs recherches de didactique de biologie ont par contre reposé sur l'expérimentation, qui est à la base de plusieurs T.P. de biologie. L'un des modèles faisant référence aujourd'hui à une interprétation assez rapide des écrits de Claude Bernard est le modèle OHERIC. La didactique des sciences fait d'avantage l'objet des contestations de ce modèle. Des propositions ont été faites en vue de remplacer OHERIC par THEORIE, afin de marquer le fait que la théorie et les hypothèses précèdent toujours une observation et une expérimentation (Astolfi, 1984)

- **Démarche liée à la modélisation en Biologie**

Qu'il s'agisse de concevoir de nouveaux modèles théoriques ou de tester ceux existant, le tout à partir des données empiriques, la modélisation joue un rôle de plus en plus grand dans les recherches en didactique de la biologie. Les représentations graphiques de type analyse systémiques ou de type cladogramme sont très nombreuses. Les modèles neuromimétiques, les modèles sophistiqués de type auto-organisation permettent un renouvellement de manière profonde de nos interprétations des phénomènes biologiques (Varéla, 1989 ; Clément, 1994).

Cette démarche de modélisation a été étudiée dans plusieurs recherches en didactique de la biologie. Ces concepts de cycle ont été portés dans un contexte particulier avec un historique très documenté sur la modélisation (C. Haguénauer, 1991). Des démarches de modélisation ont été étudiées lors de la résolution de problèmes de biologie par des élèves du second cycle du secondaire (C. Orange, 1994).

Il existe de nombreuses situations d'apprentissage pour lesquelles le recours à la modélisation est indispensable pour l'élève. En dehors de ses différents avantages incontestables, la modélisation pose le problème de l'isomorphie autant pour les enseignants et les chercheurs

que pour les élèves. Cette isomorphie est parfois postulée de manière hâtive entre les phénomènes modélisés et les phénomènes étudiés. Nous pouvons illustrer les différentes modélisations telles que :

- Les modélisations graphiques de la membrane cellulaire, de la molécule d'ADN ou de la synthèse des protéines à l'intérieure d'une cellule qui sont des constructions résultantes de divers travaux de biologie moléculaire. Celles-ci sont souvent confondues avec des images très souvent figuratives et réellement observées à travers un instrument (clément, 1996c)
- Les modélisations sur la base l'intelligence artificielle (IA) qui atteignent des performances qui sont pour la plupart du temps comparable aux modèles d'origine simulables. Mais ceci ne signifie pas qu'un robot fonctionnera en tout point comme un être humain.

Ces différentes démarches ont été proposées en premier par Johnstone (1982). Dans le domaine de la didactique de chimie en particulier, cette triple représentation a un rôle très important dans ce domaine de recherche, au point qu'on lui a attribué le nom de " relation du triplet" ou " triplet relationship" en anglais. Tout ceci a servi de base à une diversité d'auteur en vue d'analyser les difficultés d'apprentissage touchant la chimie (Tsaparlis, 1997; Nicoll, 2001 ; Gilbert et Treagust, 2009 ; Talanquer, 2011). Un étudiant pourra utiliser de manière correcte plusieurs modèles de la chimie dans l'optique de prédire et expliquer les réactions de la matière uniquement après avoir maîtrisé les trois différentes démarches et leurs interrelations respectives. Ces domaines du savoir sont considérés par plusieurs auteurs comme des « composantes de base » (Johnstone, 1993) et des « niveaux de représentation » (Tsaparlis, 1997) ou des « représentations » (Gilbert & Treagust, 2009).

2.2. Définition de l'élément didactique de la biologie.

Elle recouvre les fondamentaux du concept de didactique : la relation aux savoirs dans le contrat didactique, le rôle du professeur dans son idéologie privée en vue de l'acquisition des connaissances scolaires, les savoir soumis à la transposition didactique.

2.2.1. Les fondamentaux du concept de didactique

De nos jours, il existe un débat houleux entre didacticiens. Ce débat concerne les rapports entre didactiques spécialisées et didactique générale d'une part. D'autre part, les rapports entre la didactique des sciences (sciences de la vie et de la terre) et la didactique des disciplines scientifiques (Gaudreau & Laurin, 2001 ; Jonnaert, 2001). Bien que la plupart des

processus et concepts sont visiblement transversaux en didactique générale et en didactiques spécialisées, nous éviterons d'entrer ici dans ce débat. Nous nous attarderons sur les didactiques spécialisées à l'instar de la didactique des sciences

“la didactique d'une discipline est la science qui étudie pour un domaine particulier (...), les phénomènes d'enseignements, les conditions de transmission de la ‘culture’ propre à une institution (singulièrement ici les institutions scientifiques) et les conditions de l'acquisition de la connaissance par un apprenant” (véronique Zbinden Sapin, 2006, p.13).

La différence entre la didactique et la pédagogie tient du fait que la pédagogie est générale, tandis que la didactique est spécifique, car elle a pour objet des contenus spécifiques liés à une discipline (Dupin & Joshua, 1993). L'activité pédagogique se base sur la relation qu'entretient l'enseignant et l'apprenant dans laquelle ce dernier se trouve au centre de l'activité. L'activité didactique quant-à-elle, est basée sur les activités d'aménagement des savoirs disciplinaires élaborés par l'enseignant et ayant pour objectif son appropriation par les apprenants (Jonnaert & Laurin, 2001). Il faudrait signaler que la didactique et la pédagogie n'ont pas une séparation rigide. Il existe aussi une différence entre les approches piagétienne et la didactique étant donné que le premier considère le développement comme totalement dissocié des contenus, tandis que le second a pour champ de prédilection les contenus et savoirs disciplinaires qui constituent le socle fondamental des objets réels évoluant au cours des changements. Dupin et Joshua parlent “*des objets vivants, évolutifs et changeants*” (Dupin & Joshua, 1993, p. 2). La didactique des sciences quant à elle se base sur les contenus des disciplines scientifiques à l'instar de la biologie et de la géologie. Elle se fonde aussi sur « la prise de conscience qui existe à l'intérieure des difficultés d'appropriation qui sont intrinsèques aux savoirs » (Dupin & Joshua, 1993, p. 5). La didactique des sciences traite de la manière dont est développé un contenu scientifique pour qu'un individu s'approprie efficacement le savoir. La didactique de la biologie s'intéressera à la manière dont les différents savoirs en biologie sont traités dans le cadre scolaire. Puisque la génétique humaine fait partir de la biologie, la didactique de la biologie s'intéressera à la manière dont sont traités les différents concepts génétiques dans la salle de classe.

La didactique introduit un troisième angle pour former un triangle dans une relation triangulaire. Ce troisième angle qui est l'enseignant est aussi important que les deux premiers à savoir l'objet de connaissance (savoir) et le sujet connaissant qui n'est rien d'autre que l'apprenant (Dupin & Joshua, 1993). C'est la présence de l'enseignant en didactique qui crée la différence entre cette dernière et les autres théories à savoir le constructivisme classique et l'approche piagétienne, car la relation didactique s'illustre par un triangle didactique où on retrouve l'apprenant, le savoir et l'enseignant. Le savoir fait l'objet d'un contrat aux règles

établies implicitement entre l'enseignant et l'apprenant. Il s'agit ici du contrat didactique. C'est lui qui

“fixe les rôles, les places en fonctions de chaque partie (...) les activités attendues du professeur comme les élèves, les places respectives de chacun au regard du savoir “traité”, et même les conditions générales dans lesquelles ces rapports au savoir évolueront au cours d'un enseignement” (Dupin & Joshua, 1993, p. 6).

Dans le triangle didactique, chacun des pôles possède une caractéristique. Le savoir est soumis à la transposition didactique, l'enseignant est caractérisé par sa propre idéologie privée et l'apprenant, par une structure cognitive particulière.

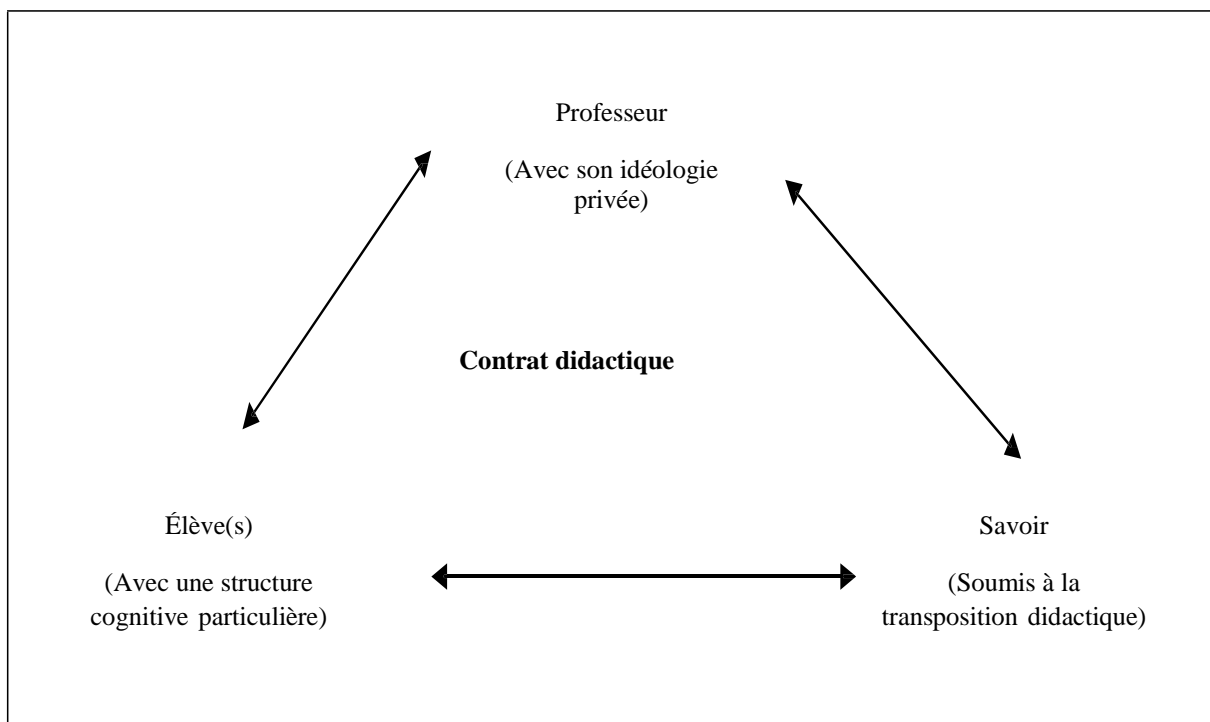


Figure 2: schéma explicatif du contrat didactique (repris de Dupin & Joshua, 1993, p. 93)

2.2.1.1. Relation aux savoirs dans le contrat didactique.

Dans la prise en compte des conceptions des élèves, la relation didactique se résume premièrement à la relation élève-savoir en situation d'apprentissage, deuxièmement à la relation didactique entre enseignant et savoir et troisièmement à relation enseignant-élève dans le contrat didactique.

- Relation élève-savoir en situation d'apprentissage

Il existe une différence fondamentale entre savoir, connaissance et information. L'élève ne peut pas demeurer passif en ce qui concerne la réorganisation de sa pensée en vue de l'obtention d'une bonne relation avec le savoir (Astolfi, 1989)

On reçoit des informations tous les jours dans notre environnement. Une information représente un élément de connaissance pouvant être collecté, traité et organisé par le cerveau. Cette information se transformera à partir de l'expérience individuelle et par l'intériorisation des données en connaissance. En effet, chaque individu rassemble un certain nombre de connaissances obtenues tout au long de son parcours. Inconsciemment, ces connaissances subiront des transformations pour s'ériger en représentations et conceptions faisant de chaque individu un réservoir d'échantillons de conceptions et représentations. Ces conceptions et représentations erronées ou non, vont influencer profondément le processus de construction de savoirs scientifiques. Dans le but de faire évoluer ces conceptions, l'apprenant scolarisé procédera à la création d'une rupture épistémologique en fournissant des efforts personnels. Une construction des savoirs réels pourra être faite avec l'aide d'une formulation, d'un modèle ou d'un cadre théorique à la suite de cette rupture épistémologique.

La construction du savoir par l'élève lui-même est un processus purement social relevant d'une interaction permanente entre ce dernier et le savoir. Plus il y a interaction, plus grande sera la construction de véritables savoirs chez l'élève et la résurgence d'un enjeu socio-affectif. Pour un meilleur apprentissage ou une meilleure construction du savoir, il faudrait qu'il y ait confrontation des points de vue variés. L'enseignant se doit d'être beaucoup plus attentif à l'endroit des apprenants. Il doit prendre en compte les conceptions des apprenants afin de les guider dans la construction des conceptions scientifiques pour une meilleure appropriation du savoir réel (Astolfi, 1989). Garmier et al, se prononcent à ce niveau pour dire que

La construction des connaissances par les élèves est la résultante de l'interaction de processus interindividuels et intra-individuels, qui se déroule dans un contexte où l'enseignant conçoit les situations optimisant ces interactions (Garmier et al, 1991, p. 259)

- **Relation didactique entre enseignant et savoir**

À une époque l'enseignant dans nos écoles était considéré comme le transmetteur d'informations et de savoir à l'endroit de l'apprenant. L'enseignant était considéré comme celui possédant la science infuse, quelqu'un qui connaissait tout. Mais cette idée de l'enseignant a connu de nos jours une mutation.

Pour Giordan et ses condisciples, il n'est pas question de réduire l'enseignant à un transmetteur d'informations et de savoir

Actuellement l'enseignant fait découler uniquement sa pratique de la "science"(...) il est conditionné non pas par une science qui à la limite n'existe pas, mais par une certaine idée de certaines habitudes(...) ce n'est donc pas la science qu'il enseigne, mais l'interprétation de qu'il a de la connaissance scientifique (Giordan, 1987, p. 28).

Pour Giordan, l'enseignant étend ses capacités en enseignant avec ce qu'il possède. L'enseignant transmet le savoir enseignable à partir de son savoir personnel ou à partir de ce qu'il croit. Il transmet ses connaissances à travers le moule par lequel il a acquis son savoir. Giordan nous fait comprendre par-là que si l'enseignant possède des conceptions de sens commun par rapport à un objet d'enseignement, il aura plus de chance de les véhiculer aux apprenants en situation de classe.

- **Relation enseignant-élève dans le contrat didactique**

L'importance de la relation entre enseignant et élève n'est plus à démontrer de nos jours. Cette relation est tellement importante que l'enseignant doit constamment intervenir de manière efficace auprès de l'apprenant tout en étant attentif à l'élaboration de ses connaissances par lui-même. L'enseignant doit prêter attention au processus d'élaboration des connaissances s'il désire procéder à une intervention plus efficace. L'enseignant doit observer attentivement le processus d'apprentissage chez l'apprenant en déterminant les différentes conceptions afin de réaliser des ruptures pour une modification de la pensée chez l'apprenant. Il pourra donc acquérir le savoir réel, encore appelé savoir scientifique. (Giordan, 1987)

Les interactions constantes en situation de classe entre enseignant-élève, élève-élève, enseignant-groupe d'élèves rappelle que chaque apprenant est en position d'apprentissage scolaire avec ses pairs sous la coordination d'un tuteur scolaire (l'enseignant).

Le tuteur scolaire sert d'interface entre l'élève et le savoir. Il l'aide à s'imprégner et à s'approprier du savoir scientifique. L'apprenant à son tour doit se surpasser et être actif dans la construction de ce savoir. Il doit dépasser ses conceptions en les dévoilant tel qu'elles sont. L'enseignant ou tuteur scolaire doit mettre l'apprenant dans des conditions où celui-ci aura une action sur l'objet d'apprentissage. Dans une situation où il pourra la manipuler et interagir avec les autres élèves sous la coordination du maître ou tuteur scolaire.

L'enseignant doit être à l'écoute de ses élèves s'il désire jouer un rôle important dans la construction du savoir scientifique chez ces derniers. Il pourra donc essayer de déterminer les conceptions erronées de ces élèves dans le but de les faire évoluer.

2.2.2. L'élève dans une structure Cognitive particulière entrevue par les conceptions en didactique de la biologie

Plusieurs chercheurs en didactiques des sciences ont mis l'accent sur la structure cognitive des élèves empruntée à la psychologie cognitive de Piaget. Ils ont emprunté ces notions à cette discipline dans le but de déboucher sur la notion de conception de l'apprenant et sur leur prise en compte par l'enseignant dans la relation didactique. Des recherches en

didactique des sciences entre 1981 et 1983 se sont intéressée aux contenus scientifiques en ayant pour point focal la structure cognitive des apprenants dans laquelle sont logés des conceptions qui nécessitent une évolution progressive. Elle porte le nom de conception naïve, naturelle et de sens commun, de représentation ou de *'misconception'*. Il faudrait relever le fait que dans les définitions des conceptions, il existe une différence entre la conception scientifique ou conception experte et la conception de sens commun ou conception vulgaire. Cette dernière ne fait pas toujours référence à une connaissance qui précède un apprentissage scientifique, étant donné que les conceptions des personnes socialisées sur le plan éducatif sont très souvent bien différentes des conceptions dites expertes (conceptions scientifiques).

La didactique des disciplines en générale et celle des sciences en particulier veille à faire une description non-exhaustive des apprenants ou élèves dépendamment de leur âge et leur niveau de développement cognitif. Ces travaux s'attardent à les décrire tout en comparant leur niveau avant et après un enseignement scolaire en opposant les conceptions vulgaires émergentes et celles scientifique ou expertes.

Dans l'évaluation des structures cognitives des apprenants attachée aux conceptions, nous nous sommes appuyés sur plusieurs. Nous les avons dans les domaines scientifiques variés à savoir les sciences physiques, sciences mathématiques et plus tard en sciences de la vie et de la Terre. En science Physique, nous citerons les recherches faites dans la conduction électrique (Joshua, 1989 ; Robardet, 1997), sur les notions de température, de d'inertie, de gravité et de chaleur (Tiberghien, 1989 ; Désautels, 1989), sur les propriétés des matériaux et leur mécanisme (Martinand, 1989), sur la création et la conservation de l'énergie (Ballini, Robardet, Rolando, 1997). En science mathématique, des recherches ont été conduites sur la notion de variable (de cotret, charbonneau & Janvier, 1989), sur le concept de nombre de l'ensemble Z (Vergnaud, 1989). Dans le domaine des sciences de la Vie et de la Terre, des recherches ont été menées en science de la vie sur la croissance et sur le développement des plantes (Goix, 1997), sur la reproduction animale (De Vecchi & Giodan, 1987), sur la circulation et purification sanguine (Paccaud, 1997), sur le système digestif et excréteur (Clément, 1994 ; Fabre & Orange, 1997), sur l'évolution du monde animal (Fortin, 1996). En science de la Terre, nous citerons des recherches faites sur les concepts d'éruption volcanique (Crépieux, 1998 ; Caillot, 2001), de séisme (Allain, 1996), sur la forme du globe terrestre et son cycle en 24h (Brewer & Viosniadou, 1992 ; Viosniadou, 1991 ; Diakidoy & Kenedeou, 2001).

Une question très importante découlant de ces recherches ci-évoquées est l'implémentation d'un environnement propice à la didactique prenant en compte le niveau

cognitif des élèves, ainsi que l'évolution de leurs conceptions. Ces différentes recherches en didactique des sciences s'appuient sur les rapports d'une réussite biaisée dans l'enseignement des disciplines scientifiques en général et celle de la biologie en particulier. Tout ceci étant étroitement lié à l'absence de la prise en compte des structures cognitives des apprenants ainsi que leur degré de conceptions conduisant à une segmentation double du savoir. Nous avons d'un côté le savoir construit précocement par l'expérience personnelle appelé encore savoir naïf ou vulgaire. D'un autre côté, nous retrouvons le savoir scolaire ou savoir scientifique. Ces deux types de savoir cohabitent pour la plupart du temps dans l'esprit de l'individu apprenant où l'un et l'autre sera utilisé en fonction du contexte où il se trouve. Il pourrait ne pas y avoir évolution des conceptions vulgaires au contact des conceptions dites scolaires. Il y'a absence d'une intégration d'un modèle dans un autre, ni un remplacement d'un modèle par un autre. Ces résultats ont amené les chercheurs en didactique à mettre sur pied des dispositifs d'enseignement / apprentissage dans la gestion des conflits cognitifs et socio-cognitifs sur l'intérêt de l'activité d'apprentissage de l'élève, simultanément avec son expérience, des hypothèses ainsi que l'influence des technologies de l'information et de la communication. (Véronique Zbinden Sapin, 2006).

2.2.3. Le rôle du professeur dans son idéologie privée en vue de l'acquisition des connaissances scolaires.

Depuis les années 1977 jusqu'à nos jours, la didactique a pour intérêt la manière dont se forment les connaissances ainsi que la manière suivant laquelle, on les fait évoluer après leur traitement (Peterfalvi, 1997). Ce courant de la didactique connaît une très grande influence de la part de l'épistémologie interactionniste et constructiviste.

Il faudrait souligner le fait que l'apprentissage scolaire n'est pas le seul moyen par lequel proviennent les connaissances, elles sont également issues d'autres champs de pratique. L'enseignant a un rôle très important dans l'acquisition des connaissances chez les élèves, bien que ces derniers n'entrent pas à l'école la tête dépourvue de toute connaissance. Les élèves avant leur scolarisation, se sont déjà construits plusieurs connaissances et conceptions à travers les expériences personnelles. C'est à ce niveau que commence le travail de l'enseignant, car il prendra en compte ces connaissances vulgaires ou précoces de l'élève dans le but de les faire évoluer.

L'enseignant n'a pas pour tâche d'élaborer les connaissances chez l'élève. C'est l'élève qui élabore lui-même son savoir. Il le fait à partir des connaissances précoces qui lui serviront à intégrer les nouvelles informations qui lui parviennent par le biais de l'école. L'enseignant va être le sujet qui apporte la connaissance scientifique, bien qu'il ne soit pas celui qui

l'élabore. Avant tout enseignement scolaire, les élèves ont des idées sous forme de représentations et des conceptions portant sur les éléments d'étude (Giordan, 1989).

Nous retiendrons que les travaux de la didactique s'intéressent par le biais du triangle didactique non seulement à l'apprenant et à l'enseignant, mais aussi à un point essentiel qui est le savoir soumis à la transposition didactique.

2.3. Savoir soumis à la transposition didactique

La structure didactique équilibrée par le contrat didactique comporte trois pôles à savoir le pôle élève et le pôle enseignant illustrés dans les deux paragraphes précédents. Le troisième pôle très important est celui du savoir "enseigné" issu du savoir scientifique. Le savoir scientifique subit le processus de transposition didactique pour devenir un savoir enseignable (Dupin & Joshua, 1993). Cette transposition ne se limite pas à une réduction de l'objet scientifique à l'objet enseignable, mais à une réelle "*re-création à l'épistémologie particulière*" (Dupin & Joshua, 1993, p. 6). Le savoir enseignable ou savoir scolaire est un savoir qui a été transposé à deux niveaux. Il y'a là une traduction du savoir scientifique en savoir livresque tout d'abord et ensuite une traduction du savoir du livre en savoir enseignable. Le savoir scientifique n'est pas le savoir du manuel scolaire. Le savoir du manuel scolaire n'est pas le savoir enseignable (savoir de l'enseignant). Le savoir enseignable n'est pas celui de l'élève. Cette présentation des choses met en exergue l'existence de plusieurs catégories de savoirs à l'école, savoirs auxquels sera confronté le chercheur en didactique dans sa recherche. Cette manière de présenter les choses nous permet d'identifier les liens qu'entretient chaque type de savoir avec les autres en fonction de leur objet d'étude et de développer les mécanismes par lesquels le savoir scientifique se transforme en savoir enseignable dans la salle de classe.

Le savoir scolaire et le savoir enseignable bien que transposés, ne sont pas des savoirs figés. Ces savoirs transposés sont conditionnés par l'évolution des connaissances techniques et scientifiques (Fillon, 2001). Les savoirs enseignés de chaque discipline proviennent des quatre origines dont le poids varie d'une discipline à une autre. Fillon catégorise ces origines de la manière suivante : premièrement, il parle des pratiques de référence qui sont des pratiques de société à savoir, l'écriture, la lecture, les pratiques sportives et professionnelles. Deuxièmement il parle des savoirs de références faisant allégeance aux savoirs sur les pratiques de référence. Fillon identifie en troisième position les savoirs experts qui s'appliquent aux pratiques expertes. Et en fin, il fait référence aux savoirs scientifiques identifiés comme savoirs savants. Ce dernier savoir élabore les modèles, les concepts et les

lois scientifiques. Ces quatre types de savoirs vont subir des transformations successives pour devenir des savoirs enseignables. Le savoir scientifique ou savoir savant a été au fil des ans le point de départ sur lequel l'enseignement s'est appuyé. Mais de plus en plus, les pratiques sociales de références semblent trouver un terrain fructueux comme point de départ sur lequel l'enseignement s'appuie (Astolfi, Ginsburger-Vogel, Darot, Toussaint, 1997). En biologie en général et en génétique en particulier, les enquêtes policières, recherche en paternité, screening génétique pourraient être des recherches auxquelles s'identifient les pratiques sociales de référence.

À quoi renvoie le terme "transposition didactique" ?

Les savoirs à l'état pur ne sont pas enseignés à l'école. Les savoirs enseignés à l'école subissent des transformations et des adaptations dans le but d'être appris et facilement assimilé par l'apprenant. Cette transformation du savoir en vue de son assimilation par l'apprenant est appelée transposition didactique. Pour Chevallard. Y,

Un contenu de savoir ayant été désigné comme savoir à enseigner subit dès lors un ensemble de transformations adaptatives qui vont le rendre apte à prendre place parmi les objets d'enseignement"... "le travail qui, d'un objet de savoir à enseigner, fait l'objet d'enseignement est appelé la transposition didactique (Chevallard. Y, 1989, p.23)

Dans la même lancée, la transposition didactique fait référence au processus d'interprétation, de transformation et de réélaboration didactique du savoir pur possédant les différents domaines de connaissance. La chaîne de ces différentes réélaborations et transformations du savoir conduit à la représentation didactique. C'est un processus assez complexe matérialisé par un certain nombre de règles et procédures rigoureuses. Le but de cette représentation didactique résultant de la transposition est l'élaboration d'un curriculum capable de rendre le savoir accessible sans le déformer.

À partir de cet exposé, nous définirons la "*transposition*" comme les transformations successives que subit le savoir savant dans le but d'être digérable par l'apprenant. La notion de "*didactique*" quant à elle, fait référence à la finalité induite par cette transformation. La transposition dans ce cas respectera un bon nombre de règles pour ne pas faire perdre au savoir sa nature, encore moins le décontextualiser. Elle doit tenir compte des objectifs et du but pour lequel le savoir est transmis. Ces objectifs et ce but doivent faire preuve de compatibilité avec les apprentissages que les élèves sont capables d'assimiler à différents stades de leur développement cognitif ainsi qu'à différents niveaux de leur cursus. De ce fait, la transposition est caractérisée par deux étapes complémentaires et indispensables chacune. Ces deux étapes sont : la transposition externe et la transposition interne.

◆ **La transposition externe**

La transposition externe renvoie au processus de transformation du savoir savant en savoir enseignable. Il y'a transformation des pratiques sociales, des références, des valeurs etc... en savoir à enseigner ou savoir enseignable. Elle est qualifiée d'externe parce que son processus se fait en dehors de la salle de classe et en dehors du système didactique et pédagogique. Pour qu'un savoir soit enseignable, il faudrait qu'il y'ait un écart contrôlable entre le savoir et le savoir à enseigner (Astolfi et al, 1997)

◆ **La transposition interne**

Elle renvoie au processus de transformation du savoir enseignable par le biais de l'enseignant en savoir enseigné et ensuite en savoir assimilable par l'élève. L'enseignant construit son cours à partir du savoir enseignable présent dans les manuels et les programmes scolaires. Ce savoir devient un savoir enseigné qui deviendra un savoir assimilé ou savoir appris par le biais de l'élève agissant sur le savoir comme acteur. La notion de transposition didactique se résume par le schéma suivant :

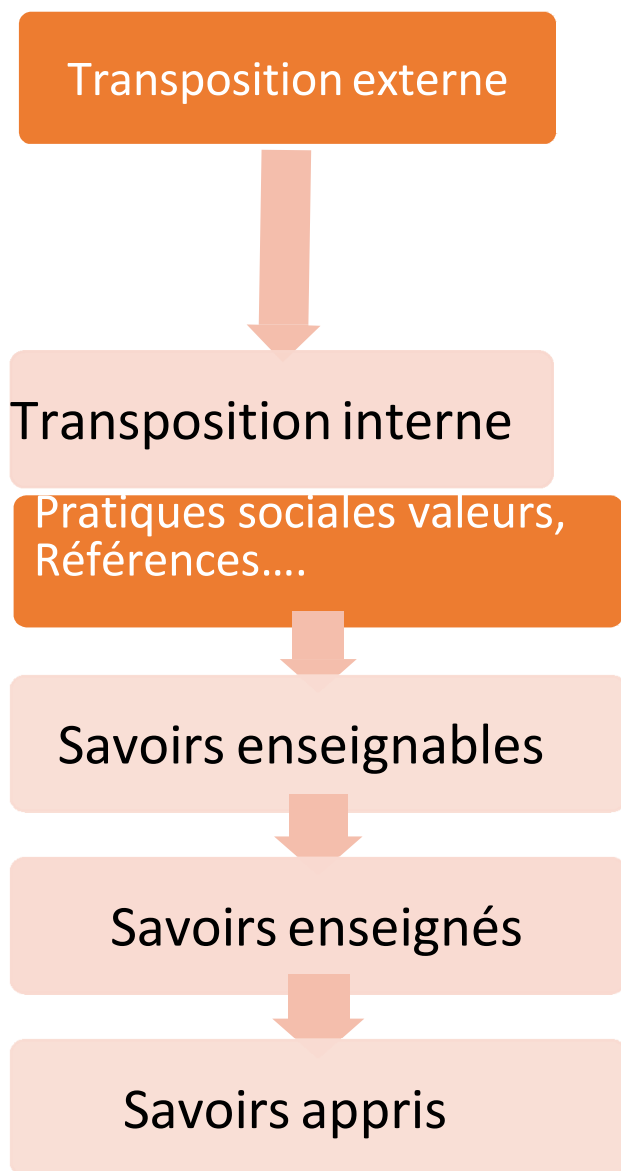


Figure 3: transposition didactique selon Chevallard (1986)

2.4. La structure des savoirs scientifiques en biologie

Les recherches en didactique des sciences essayent de démontrer que le savoir scientifique est plus difficile à faire comprendre aux apprenants qu'on le pense. L'apprentissage d'un savoir scientifique est souvent parasité par un certain nombre de conceptions étant donné que celles-ci sont des "points d'ancrage" permettant de faire des liens entre les différents objectifs. (De Vecchi & Giordan, 1987 ; Astolfi & Develay, 1989 ; Garnier et al, 1991 ; Astolfi, 1992). On utilise des façons non scientifiques ou scientifiques pour acquérir un savoir scientifique.

2.4.1. Acquisition des connaissances de manière non scientifique.

L'acquisition des connaissances non-scientifiques se matérialise par les éléments suivants

- i. le sens commun ;
- ii. l'expérience personnelle : elle peut être juste ou valable, mais elle peut aussi s'avérer très fausse
- iii. le danger de l'autorité dans l'acquisition des conceptions : une personne en autorité a beaucoup de crédibilité. Ses erreurs peuvent être dangereuses, voire fatales.
- iv. la déduction : On est dans la possibilité de formuler des énoncés provenant logiquement de prémisses. Il faudrait soulever le fait que la déduction ne permet pas de découvrir les conséquences de ce dont on a connaissance.
- v. L'induction : cette démarche d'acquisition du savoir non scientifique permet de formuler des énoncés généraux en partant des cas particuliers.

Selon Thouin, il existe 5 manières non scientifiques d'acquisition des connaissances (Thouin, 1996). Ces 5 façons non scientifiques d'acquisition des connaissances sont :

- **L'autorité** : les erreurs et la crédibilité de quelqu'un en autorité peuvent être dangereuses ;

- **Le sens commun** : une connaissance de sens commun est encore appelée connaissance vulgaire.

- **L'expérience personnelle** : une expérience personnelle peut être très vraie ou très fausse

- **La déduction** : dans cette situation, des énoncés provenant logiquement de prémisses peuvent être formulés. Ces énoncés ne permettent que de découvrir un certain nombre de conséquences du connu.

- **L'induction** : la formulation des énoncés généraux se fait à partir de cas particuliers. Du côté scientifique, différentes conceptions existent et nous pouvons les retrouver au cours du processus enseignement-apprentissage.

2.4.2. Acquisition des connaissances de manière scientifique

Nous retrouvons différentes conceptions du côté scientifique.

➤ **La conception dogmatique :**

Cette conception est celle qui présente les théories comme étant des vérités irréfutables. Cette manière d'apprendre est très répandue dans l'enseignement des sciences au secondaire, étant donné qu'on demande aux élèves de procéder à des manipulations en vue de parvenir à

des conclusions attendues. Cette conception empêche les élèves de remettre en cause leurs différentes conceptions en sciences (Thouin, 1996) ;

➤ **Les conceptions rationalistes :**

Les conceptions rationalistes de l'activité scientifique empruntent la définition des sciences. Les conceptions rationalistes nous montrent qu'il est possible d'adapter la science à notre environnement étant donné que la découverte scientifique est faite de logique. Selon les conceptions rationalistes de l'activité scientifique,

“Les sciences sont les constructions mentales qui résultent d'une interaction constante du monde réel avec l'esprit humain. Les sciences découlent d'un processus d'adaptation infini à notre environnement” (Thouin, 1996, p.11).

Les conceptions rationalistes nous montrent qu'il est possible d'apprendre les sciences étant donné que celles-ci possèdent une logique dans la découverte scientifique.

➤ **Les conceptions vérificationnisme :**

Encore appelé **empirisme classique** ou encore **positivisme** ou **individualisme** : ce type de conception est l'une des plus répandues. Cette conception conduit à décrire la méthode scientifique selon quatre étapes distinctes. Thouin les décrit de la manière suivante

1. L'observation minutieuse de la nature permet d'établir un certain nombre de faits. 2. L'induction permet d'établir des lois et des théories générales à partir de cas particuliers observés. 3. L'expérimentation offre la possibilité de faire des observations supplémentaires qui permettent de prouver, de vérifier les lois et les théories. 4. La déduction permet d'énoncer des explications des explications et des prédictions qui découlent de ces lois et théories. (Thouin, 1996, p.11-12)

Cette manière de procéder est celle utilisée dans la plupart des techniques d'enseignement des sciences quel que soit le niveau d'enseignement.

➤ **Les conceptions correctionnisme :**

Cette conception est la plus répandue de nos jours. Elle a été proposée premièrement par le philosophe Robert (1993) et ensuite repris par Thouin (1996). D'après Robert, la science est une activité de l'Homme visant à :

- Se représenter le monde par l'intermédiaire d'un langage octroyant la possibilité d'exprimer des concepts et relever les interactions, ainsi que les relations entre ces différents concepts.
- Corriger constamment ces concepts et leurs relations de cause à effet les uns les autres dans le but d'éliminer les difficultés de consistance à l'intérieur de 3 ordres de

langage à savoir l'ordre descriptif décrivant, les énoncés d'observation et les classifications ; l'ordre explicatif expliquant les relations de cause à effet exprimées sous forme de théories et des lois et en fin l'ordre justificatif faisant allusion aux modèles et les façons de connaître. D'après cette conception,

Une science n'est ni vraie ni fausse, ni vérifiable, ni falsifiable, mais elle a néanmoins une valeur objective et non pas seulement une valeur relative. Une théorie scientifique est meilleure qu'une autre si elle diminue le nombre de problèmes de consistance entre les 3 ordres de langages, ou à l'intérieur de ceux-ci (Thouin, 1996, p.17)

Le correctionnisme est une conception portant une attention toute spéciale à l'apprentissage en général et à l'acquisition d'un langage adapté à la solution de problème.

Le langage des sciences est constitué d'un vocabulaire qui permet d'exprimer des énoncés d'observation et des concepts, et d'une grammaire qui permet d'exprimer des relations entre des concepts sous forme de lois de théories et de modèles (Thouin, 1996, p.17).

De cette définition, il ressort l'existence d'un vocabulaire approprié et particulier renforçant la compréhension de tous les apprenants. Ainsi cette catégorie de conceptions portant sur le correctionnisme nous conduit à une définition de l'apprentissage d'une science. Apprendre une science renvoie à

1. Apprendre un langage permettant d'exprimer des énoncés d'observation et des concepts (ordre descriptif), des lois et des théories (ordre explicatif), des modèles et des façons de connaître le monde (ordre justificatif). 2. Apprendre à résoudre des problèmes de consistance entre ces 3 ordres de langage ou à l'intérieur de ceux-ci (Thouin, 1996, p.18)

Néanmoins apprendre nécessite la capacité de trouver les solutions aux problèmes qui, pour avoir lieu, « ...consiste à éliminer des inconsistances, des contradictions entre les observations, des définitions, des classifications, des lois, des théories ou des modèles » (Thouin, 1996, p.17).

2.5. Des conceptions aux différents obstacles en didactique

Nous aborderons successivement la matérialisation de l'obstacle en didactique, la gestion de l'obstacle dans une relation didactique, le caractère polémique de la notion d'obstacle en didactique

2.5.1. Matérialisation et catégorisation de l'obstacle en didactique

L'obstacle se matérialise par une série d'erreurs relatives à un savoir. Astolfi remarque que chaque erreur est susceptible d'être persistante et reproductible. On retrouve souvent ces erreurs après que le savoir scientifique ait été enseigné. Ce qui nous amène à dire que l'erreur

peut être le produit d'une connaissance antérieure se révélant fausse et inadaptée dans une situation actuelle, bien qu'ayant montré un intérêt particulier pour une situation à un moment donné. Donc il existe un lien étroit entre l'idée de conception des élèves et celle d'obstacle.

Dans le cadre de l'enseignement, l'apprentissage d'une nouvelle connaissance nécessite de franchir un obstacle, qui peut être issu de la vie courante, des conceptions présentes dans l'esprit de l'apprenant ou d'une difficulté conceptuelle liée au domaine lui-même (Zouhaier Harrath, 2018, p.30)

Plusieurs chercheurs ont interprété et utilisé la notion d'obstacle tout en la rapprochant ou en l'identifiant à la difficulté. Les plus connus sont Bachelard (1938), Clément (1997), Astolfi (1998), Chabchoub (2000). Cette ambiguïté entre la notion d'obstacle et celle de difficulté suscitera d'énormes controverses au sein de la communauté des chercheurs. Tout ceci conduira à une concertation qui les amènera à catégoriser les obstacles. Cette catégorisation des obstacles a plusieurs fois été reprise dans les travaux en didactique.

Un obstacle fait référence à une conception, à une connaissance. IL n'est pas un manque de connaissance, encore moins une difficulté. Un obstacle est une connaissance qui résiste à l'établissement d'une autre connaissance meilleure et aux controverses auxquelles elle fait face. La présence d'une connaissance scientifique n'élimine pas forcément celle erronée présente avant, d'où la nécessité de repérer l'obstacle et d'incorporer son inacceptation dans le nouveau savoir (Astolfi, 1998).

On distingue donc quatre types d'obstacles ayant chacune une manière propre d'être solutionné. Ces obstacles sont : les obstacles didactiques, épistémologiques, culturels et ontogéniques (Brousseau, 1989).

2.5.1.1. Les obstacles didactiques :

L'obstacle didactique est une représentation négative de l'apprentissage causé par une connaissance antérieure et faisant obstruction à une nouvelle connaissance liée à un apprentissage nouveau. C'est un obstacle lié à des décisions didactiques mal élaborées. Il est pour la plupart du temps liés à une mauvaise transposition didactique ou à une transposition didactique complètement absente. Il peut aussi provenir des contenus didactiques mal élaborés. Dans certains cas il provient d'un matériel didactique défaillant ou inapproprié.

L'obstacle apparaît donc lorsqu'il y'a contradiction entre l'appropriation des conceptions nouvelles et anciennes de l'élève. La notion d'obstacle didactique est étroitement liée aux supports utilisés, aux manuels scolaires, aux techniques d'enseignement etc... Elle fait référence à la notion de transposition didactique en faisant comprendre que l'école ne transmet pas un savoir à l'état brut, ou du moins un savoir scientifique à l'état brute. Le savoir enseigné à l'école va subir différentes transformations en vue de permettre son appropriation

et son assimilation par les apprenants. Nous ne saurons parler d'obstacle didactique sans brièvement traiter du concept de '*transposition*

Plusieurs didacticiens ont abordé la notion d'obstacle didactique depuis le 19^e siècle. Durkheim identifie les obstacles à l'élaboration des savoirs scientifiques. Il les identifie comme des prénotions produites par les expériences individuelles. Ce produit de l'expérience peut être faux dans la théorie bien qu'étant très utile dans la pratique (Bednarz & Garnier 1989).

La notion d'obstacle didactique a été développée par Bachelard entre la fin du 19^e et la moitié du 20^e siècle. Il va alimenter par sa proposition, la réflexion didactique au travers des récits descriptifs faits par Vernant et Popperlard en 1997.

2.5.1.2. Les obstacles épistémologiques :

Vergnaud énumère les caractéristiques des réels obstacles épistémologiques de la manière suivante.

i) Les obstacles épistémologiques sont durables ; ii) ces obstacles pour la plupart du temps sont en contradiction avec les conceptions fonctionnelles antérieures à l'enseignement ; iii) les obstacles épistémologiques sont très résistants. À ce niveau, les anciennes conceptions peuvent émerger à nouveau si elles ne sont pas totalement déconstruites.

En se référant à l'histoire et à l'épistémologie des notions scientifiques, nous constatons que ces notions ont été construites essentiellement par des paliers de modification et de rectifications ancrés sur des connaissances antérieures d'une part et contre les évidences empiriques d'autres part. Pour évoluer dans la connaissance, il a fallu que des obstacles soient franchis. Les obstacles épistémologiques sont ceux qui participent à la connotation des notions abordées et des significations dont se rapprochent celles-ci. Ces obstacles jouent pour la plupart du temps un rôle déterminant dans la formation étape par étape des connaissances. Dans ce cas, on assiste à une intégration implicite des savoirs rejetés dans le savoir transmis. Certains des obstacles épistémologiques sont des chemins indispensables et importants dans la formation du savoir scientifique chez l'apprenant. Ils servent d'appui considérable et incontournable dans l'accession à une connaissance plus grande. Bachelard a introduit la notion d'obstacle épistémologique affirmant que

Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique... la question abstraite et franche s'use : la réponse concrète reste. Dès lors, l'activité spirituelle s'investit et se bloque. Un obstacle épistémologique s'incruste sur la connaissance non questionnée. Des habitudes intellectuelles qui furent utiles et saines peuvent à la longue, entraver la recherche (Bachelard, G, 1938, p.21)

Bachelard préconise quatre règles à suivre pour tout esprit scientifique désirant contourner les obstacles épistémologiques.

- i) rejeter toute imposition d'autorité en libérant l'esprit de tout assujettissement
- ii) Faire une réalisation affective et intellectuelle de catharsis
- iii) se rassurer que sa raison soit constamment inquiétée.
- iv) faire une reformulation de son homme intérieur.

Bachelard sous sa casquette d'épistémologue, cherche un point d'encrage entre perception et obstacle. Pour lui, la perception donne uniquement des « représentations subjectives à partir desquelles le sens commun, l'opinion opère des généralisations hâtives » (Popper & Vernant, 1997, p.41). Cette pensée vulgaire constituant les obstacles épistémologiques mérite d'être dépassée par un raisonnement scientifique. Les expériences des individus au quotidien produisent des obstacles accompagnés d'erreurs nécessitant un dépassement. Bachelard fait une différence objective entre connaissance vulgaire et connaissance scientifique. À partir de la notion d'obstacle adoptée par Bachelard, plusieurs emprunts ont été faits par plusieurs didacticiens qui ont contribué à l'enrichir. Plusieurs types d'obstacles ont évidemment fait surface tout en étant différenciés.

2.5.1.3. Les obstacles culturels :

Les obstacles culturels sont définis comme un ensemble de connaissances transmises par le contexte culturel, et pour la plupart du temps opposés à la connaissance scientifique. Ils constituent des connaissances biaisées possédant des origines multiples pour la plupart du temps et véhiculées par la culture. Ils résistent généralement au temps, même lorsqu'ils font l'objet d'un traitement dans le domaine scientifique (Verbunt, G. 1994).

2.5.1.4. Les obstacles ontogénétiques :

Ce sont des modèles naturels ou des schèmes opératoires qui surviennent de manière spontanée lors du développement de l'individu. Ces obstacles sont liés à un processus inachevé dans le processus de développement de l'individu. De manière naturelle, ils s'avèrent un frein à la construction des connaissances scientifiques chez les apprenants.

Considérant la typologie des obstacles à l'apprentissage, on pourra relever que

Toutes les connaissances "fausses" peuvent donner lieu à des conflits cognitifs, mais certains de ces conflits auront un caractère obligatoire, constitutif de la connaissance, les autres seront beaucoup plus accidentels, occasionnels, et même si leur importance est grande dans le développement de chaque sujet, le traitement et le statut culturel et donc didactique seront différents (Brousseau, 1988, p. 283).

On appelle donc obstacle ontologique ou ontogénétique tout obstacle en rapport au développement psychogénétique de l'être humain. Ces obstacles se manifestent par des erreurs qui sont le fruit des limites du développement intellectuel des élèves à une période déterminée. Le stade de développement auquel appartient l'apprenant correspond à un type d'erreurs. Par exemple, avant l'âge de sept ans, la rétention des quantités numériques n'est pas évidente selon Piaget. Mais Vygotsky lui emboîte le pas en montrant que le rôle de l'enseignant est de précéder le développement de l'apprenant en anticipant et en proposant des activités se situant un peu au-delà du savoir-faire de l'enfant. Il ne doit donc pas attendre de manière passive que le développement ait lieu, et se contenter de greffer les savoirs à enseigner.

2.5.1.5. Les obstacles affectifs :

L'obstacle affectif est un obstacle lié à une motivation excessive ou à manque de motivation entraînant un conflit affectif chez l'individu. Cet obstacle est aussi causé par un sentiment lié à la perte et ou à l'état de santé d'un être cher (un parent, un ami etc...)

2.5.1.6. Les obstacles langagiers :

L'obstacle langagier est un obstacle lié à la non maîtrise de la langue parlée ou écrite étant donné que tout enseignement nécessite l'utilisation d'un discours véhiculant les différents concepts scientifiques. Les sciences de la vie et de la terre représentent une discipline dont les connaissances sont peu formelles et où l'on rencontre rarement les représentations en symbole au profit des représentations verbales amplifiant les manifestations de cet obstacle.

2.5.2. Gestion de l'obstacle dans une relation didactique

La didactique des sciences a porté haut le concept d'objectif-obstacle. L'idée attachée à ce concept vient de ce la connaissance naïve et les obstacles qui la composent sont traités au préalable en subissant une progression vers la connaissance scientifique. La conception naïve ou conception vulgaire devient avec le temps l'objectif principal de l'enseignement. Étant donné que les conceptions vulgaires sont pour la plupart du temps résistant au changement, cet objet devient donc difficile à atteindre. La résistance des conceptions vulgaires à leur évolution vers la connaissance scientifique est un véritable problème en didactique. Car, « ces schèmes cognitifs, naïfs au regard de la théorie physique, sont pertinents dans une certaine mesure » (Joshua, 1989a, p. 110). Une conception de sens commun évolue de manière progressive à un rythme dépendant de son degré d'ancrage chez l'individu. En conclusion,

elle se fait par un processus lent : « ce n'est que (...) par la multiplication et la diversification des situations didactiques où ils sont opératoires, que les concepts sont progressivement intégrés par les apprenants » (Véronique Sapin, 2006, p. 19).

Plusieurs recherches en didactique des disciplines ont vu le jour. Certaines d'entre-elles ont tenté d'identifier les différents obstacles à l'apprentissage. Une démarche proposée par Brousseau a laissé entrevoir les étapes suivantes (Brousseau, 1989a).

i) la nécessité de rencontrer chez l'apprenant les erreurs se répétant continuellement autour des conceptions naïves. Celle-ci doit être identifiée autour d'une situation didactique particulière faisant référence à la connaissance en cause.

ii) repérer les obstacles dans l'histoire des sciences tout en comprenant notamment les avantages et les limites liées à l'usage des conceptions. Tout ceci ayant entraîné son dépassement conduisant à faire émerger à nouveau les conceptions déjà traitées.

iii) établir la portée épistémologique en confrontant les obstacles d'apprentissage d'avec les obstacles historiques.

Il existe une reprise à ce niveau de la comparaison entre la genèse historique des connaissances et son progrès spontané chez l'apprenant, s'apparentant à la méthode historico-critique développée par Piaget. Les recherches ont montré que l'obstacle est analysé sous deux angles. D'une part, il s'analyse par les productions des élèves avec les conceptions qu'il comporte (Joshua, 1989a ; Tiberghien, 1989a ; Viennot, 1989b) et d'autre part, en tenant compte du volet historique (Brousseau, 1989a ; Cotret Charbonneau & Janvier, 1989). Il est à noter que, ces deux approches dans l'analyse des obstacles ne sont antinomiques ; La première complète la deuxième et vice versa. Dans le but de mieux adapter les activités d'enseignement au contexte, il est judicieux de connaître préalablement les différentes conceptions des apprenants. Quel comportement adopter après repérage d'un obstacle ? Plusieurs recherches en didactique se sont penchées sur les attitudes à adopter après les avoir repérées (les attitudes "*pour y faire face*"). Il existe plusieurs travaux en didactique testant les solutions envisagées pour la gestion des obstacles épistémologiques.

Les chercheurs spécialistes de la notion d'obstacle épistémologique ont une préférence pour la phase d'évaluation des acquis des élèves en tout début de séance d'enseignement. Ensuite ils continuent par la prise en compte des conceptions des élèves. Certains estiment qu'il faille affronter brutalement l'obstacle, le déplacer et ensuite le casser. D'autres estiment qu'il faut sauter l'obstacle, le contourner ou l'ébranler (en semant le doute de l'esprit des élèves). (Giordan, 1989). Il apparaît quatre propositions détaillées de gestion de l'obstacle dans les travaux de Giordan (1989)

1^{ère} proposition : il propose que la gestion de l'obstacle commence par une phase d'expression ayant pour but de faire émerger les conceptions présentes. Ensuite, l'enseignant doit remettre en cause les conceptions des élèves par une argumentation pertinente en vue de détruire les différentes conceptions des élèves. L'enseignant jouant le rôle de moniteur dans ce cas, proposera aux apprenants un message adéquat puisqu'il est l'unique acteur susceptible d'aider l'apprenant dans la construction des concepts mis en jeu.

2^{ème} proposition : l'enseignant procédera à une opposition des pensées des apprenants. Pour ce faire, l'enseignant doit soit agir au niveau du groupe de pairs, soit utiliser les données d'expérimentation ou d'observation tout simplement. Cette confrontation des idées opposées des élèves entraînerait des conflits cognitifs chez ces derniers. Plus tard l'enseignant devra chercher à gérer ces conflits en alternant la phase d'investigation avec celle de structuration. Ces échanges opposés permettront donc de « *nettoyer* » les conceptions initiales.

3^{ème} proposition : l'enseignant est appelé dans ce cas à mettre les élèves dans des conditions qui leur permettront d'explorer leurs propres conceptions entre pairs. Ceci nécessitera un travail de groupe pour agir sur ces conceptions dans le but de parvenir au concept scientifique.

4^{ème} proposition : la démarche débute de manière similaire à la première proposition. Elle démarre par une phase d'expression en vue de ramener à la surface les conceptions présentes. L'enseignant dévoile ensuite le savoir souhaité. Il propose alors des situations didactiques présentant le fossé entre connaissances naïves et connaissances scientifiques.

2.2.3. Caractère polémique de la notion d'obstacle en didactique

Rappelons le caractère polémique de la notion d'obstacle, y compris parmi les chercheurs en didactique de la biologie. Très souvent le sens commun dévalorise la notion d'obstacle, or l'obstacle est tout d'abord positif, car il mobilise un savoir non scientifique et c'est en s'appuyant sur une certaine positivité bien entendu que la didactique s'approprie le privilège de proposer des procédures nouvelles d'apprentissage, en vue de développer la vigilance critique et de booster l'identification à *posteriori* des obstacles par les élèves (objectif-obstacle coordonnée par Astolfi et Peterfalvi, 1997).

La pensée considère et catégorise très souvent l'obstacle comme étant un empêchement. Il ne prend en compte aucun autre paramètre en dehors de son côté négatif, et oubliant que l'obstacle est relatif. Selon le cotexte, chaque obstacle peut fonctionner premièrement comme aide et deuxièmement comme frein. Bachelard soulignait, qu'il est remarquable que d'une

manière générale les obstacles à la culture scientifique se présentent toujours par paires. Il est donc nécessaire de porter une attention particulière à cette dualité de l'obstacle en didactique. Si la mathématisation peut être considérée comme une étape très importante dans l'évolution de l'esprit scientifique, une mathématisation systématique peut constituer un obstacle et conduire à un écueil et à un traitement de données non productif (Rumelhard, 1992)

2.5.3. La typologie des conceptions en fonction des obstacles épistémologiques

Il est important de clarifier les différentes conceptions des élèves. Pour cela, il nous faudra trouver une typologie convenable à nos intérêts sur le plan scientifique. Dans le recensement des écrits, il ressort que Bachelard en 1960, a contribué majoritairement à l'élaboration d'une typologie comprenant des conceptions catégorisées en fonction des obstacles épistémologiques étant donné qu'il est essentiel de situer le problème de la connaissance scientifique en termes d'obstacles.

Il existe par ailleurs une classification selon M. Thouin s'étendant sur une dizaine d'items (M. Thouin, 1987). Ces obstacles comprennent

❖ L'obstacle de l'expérience première :

Elle contribue à expliquer un phénomène en se basant sur les apparences. L'exemple qui sied à cet obstacle est : le soleil qui tourne autour de la Terre.

❖ L'obstacle verbal

Cet obstacle consiste à expliquer tout simplement en ayant recours à un mot, un groupe de mot, une expression ou une image. Comme exemple, on peut faire référence à un œuf qui pendant la cuisson adhère à une poêle à cause de ses molécules formant "une espèce de ventouse"

❖ L'obstacle substantialiste

L'obstacle substantialiste consiste à expliquer décrire, analyser et expliquer un phénomène en évoquant l'existence d'une substance. L'exemple adapté ici est celui "du froid qui s'infiltré à travers des fenêtres peu étanches.

❖ L'obstacle de la connaissance générale

Cet obstacle consiste à expliquer un phénomène en utilisant un concept général de façon excessif. Exemple : la glace fond par l'effet de la chaleur.

❖ L'obstacle de la connaissance unitaire

Cet obstacle consiste à fournir des explications à un phénomène en le qualifiant de naturel, de normal ou tout simplement d'habituel. (Exemple : il pleut en saison pluvieuse parce que "c'est normal" et "c'est naturel" qu'il en soit ainsi).

❖ **L'obstacle de la connaissance pragmatique**

Elle consiste à expliquer tout phénomène physique tout simplement en se basant sur son utilité apparente ou du moins sur son inutilité apparente. (Exemple : Voltaire avait du mal à voir "l'utilité" des équinoxes, donc, pour lui, ce phénomène était inexistant).

❖ **L'obstacle animiste**

Cet obstacle consiste à expliquer un phénomène en octroyant aux objets une certaine volonté. Exemple : le mouvement d'un objet lourd en chute libre est accéléré dans le but de rencontrer rapidement le sol.

❖ **L'obstacle crée par le mythe de la digestion**

Cet obstacle consiste à fournir une explication à un phénomène en l'identifiant à une certaine assimilation. Exemple : un malade qui obtient la guérison parce que "son mal a été digéré"

❖ **L'obstacle crée par le mythe du germe universel**

Cet obstacle consiste à expliquer un phénomène en prenant la peine de l'identifier à une certaine forme de germination. Exemple : L'apparition de la vie sur une nouvelle île volcanique sous l'effet de la présence des semences contenues à l'intérieur de toute pierre.

❖ **L'obstacle de la connaissance quantitative**

Cet obstacle consiste à donner une explication sur un phénomène physique par le biais d'une simple opération sur des nombres. Exemple : Une petite quantité d'eau à 20°C mélangée à une grande quantité d'eau à 40°C va donner de l'eau à 30°C

De cette liste de 10 obstacles, seulement 4 ont été retenus par Thouin (1987) puisque les autres figurent dans l'univers de l'enseignement du primaire. Les obstacles concernés par cet enseignement du primaire sont : l'obstacle verbal, l'obstacle de l'expérience, l'obstacle substantialiste, et l'obstacle de la connaissance générale. L'auteur ajoute à cette liste un cinquième obstacle qui est l'obstacle de l'explication de nature scientifique, ce qui renvoie à la conception qui donne une explication scientifique à une question posée dont la recherche est souvent ardue.

Tout comme Thouin (1987), nous garderons cette classification afin de nous faciliter la catégorisation des réponses de nos répondants en cinq classes ou catégories différentes. Cette manière de procéder nous permettra de vérifier si les élèves de Terminales ont des conceptions en génétique plus ou moins élaborées. Ce qui nous permettra d'en déterminer la nature (Thouin, 1987)

De plus, il y'a eu une fine élaboration d'une méticuleuse typologie des conceptions et représentations par l'auteur. Elle consiste à regrouper les conceptions en deux types :

premièrement les “conceptions semi-évoluées” regroupant : *l'expérience première et substantialiste* et deuxièmement, les “conceptions évoluées” associées à *l'obstacle verbal*, à *la connaissance générale* et à *la connaissance scientifique*. Il ressort des résultats de cette recherche, la difficulté pour les enseignants de faire la différence entre une *conception* et *l'obstacle*. Cette situation se produit dans la plupart du temps quand la population choisie pour répondre à une recherche a moins d'ancienneté dans l'enseignement que celle retenue pour effectuer une étude. (Thouin, 1987).

2.5.4. Limites et avantages des travaux de didactique

L'importance de ces travaux réside dans le fait d'avoir contribué dans la prise en compte des conceptions des élèves. Plusieurs chercheurs ont mis en évidence l'intérêt qu'il y'a à prendre en compte les conceptions erronées des élèves, en les introduisant dans les différentes pratiques pédagogiques. Ces recherches ont prôné l'importance des conceptions préalables en renforçant la thèse selon laquelle, l'élève n'est pas dépourvu de toute connaissance avant sa scolarisation, dans la mesure où il arrive à l'école possédant des conceptions préalables héritées de son milieu de socialisation. Les différentes recherches en didactique ont mis en évidence l'hypothèse selon laquelle, avoir une compréhension sur le développement de l'enfant n'est pas suffisant pour améliorer les enseignements. L'idée ici est d'analyser le contenu spécifique de l'enseignement dans les détails. Ces recherches n'ont pas hésité à mettre l'accent sur les contenus d'enseignement en les analysants, dans leur spécificité.

Les recherches en didactique des sciences opposent explicitement savoirs naïfs et scientifiques, étant donné que chaque type de savoir présente une spécificité quant à ses caractéristiques. La distance entre ces deux types de savoir peut faire l'objet d'une évaluation à la suite d'une comparaison. Bien que l'efficacité et l'utilité de la connaissance naïve soient vérifiées dans un contexte d'apprentissage, il est clair qu'elle est toujours inférieure à la connaissance scientifique. L'évolution des connaissances scientifiques et l'évolution des connaissances sur le plan individuel ont fait émerger un parallélisme laissant transparaître le fait que le savoir évolue par rupture et par continuité.

L'un des intérêts de ces travaux de didactique réside dans la proposition et l'élaboration d'un calendrier des objectifs à atteindre d'une recherche en didactique appliquée aux traitements des conceptions et des difficultés d'apprentissage en didactique. Le travail a consisté à détecter les conceptions existantes avant de les faire émerger dans le but de mettre ensuite en évidence les différents obstacles liés à ces conceptions. L'objectif visé ici étant la

proposition d'un traitement didactique adapté à ces conceptions. L'objet de notre recherche est la description des conceptions des concepts issus de la biologie en générale et de la génétique en particulier. Cet objet de recherche intéresse aussi de manière explicite la didactique de la biologie en tant qu'étape incontournable de la prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement et l'apprentissage de la génétique. À l'heure où nous abordons ces travaux, le constat que nous faisons est qu'il existe très peu de recherches qui se sont penchées sur les conceptions des élèves en génétique. Depuis trois ans, un certain nombre de travaux ont été publiés dans le cadre d'articles et non d'un mémoire de recherche.

Certains travaux ont été produits dans d'autres disciplines à l'instar de la psychologie. Ces travaux concernent l'acquisition des connaissances scientifiques et pour la plupart du temps, issus des travaux de la psychologie cognitive focalisés sur les concepts des modèles mentaux (Stevens & Gentner, 1983).

3. Autres notions et expressions discursives fondamentales secondaires

Ce sont des notions et expressions n'apparaissant pas dans le thème du sujet de recherche, mais qui sont indispensables pour l'atteinte des objectifs de la recherche.

3.1. Le pré-test

C'est un test survenant avant la phase expérimentale en vue de paramétrer le niveau initial des élèves et qui permet de s'assurer que les deux groupes (témoin et expérimental) sont équivalents. Il permet un certain nombre d'analyses distinctes donnant aux chercheurs les outils pour filtrer le bruit expérimental et les variables confondantes avant la phase expérimentale à laquelle est soumis le groupe expérimental (Coquidé, 1998). Il est aussi défini comme un test permettant de mesurer l'impact d'un ou plusieurs outils et dispositifs éducatifs appliqués sur un échantillon de la population. Le pré-test joue le rôle de test préalable en vue d'éviter les éventuelles erreurs et de pouvoir les corriger avant le lancement de l'expérience.

L'objectif d'un pré-test est de comprendre la valeur de communication d'une idée créative par rapport à l'intérêt qui est de déceler les éventuels blocages ; de baliser les zones de risque avec pour but ultime l'optimisation de ce qui doit être. Le pré-test éducatif s'opère par une évaluation d'un échantillon de la cible et par une comparaison des résultats. Il peut se faire soit par une étude qualitative et/ ou une étude quantitative.

3.2. Le post test

Méthode d'évaluation préférée pour comparer les groupes participants en vue de mesurer le degré de changement qui se produit à la suite d'un traitement ou d'une intervention. Il s'agit d'une remesure d'un certain nombre d'indicateurs auprès des répondants suite à la communication d'un certain nombre d'informations après la phase expérimentale (Coquidé, 1998). Les post-tests sont des études quantitatives réalisées en didactique sur la base des évaluations écrites ou orales, administrées à des échantillons de personnes (apprenants ou enseignants) appartenant à la cible pour mesurer l'impact sur l'échantillon. C'est un test pratiqué pendant ou après la phase expérimentale. Son objectif est en premier de corroborer les résultats de pré-test et en second lieu d'obtenir des informations avant échéance sur les résultats de l'opération.

3.3. Les situations problématisantes

Une situation problématisante est une proposition d'activité d'apprentissage conçue par l'enseignant formateur en phase de préaction. La situation problématisante s'empare des savoirs problématisés. Aussi, la situation problématisante repose-t-elle sur une intentionnalité partagée et sur la coopération entre l'élève et l'enseignant (Nkeck Bidias, 2019; Lenoir, 2014 ; Orange, 2010 ; Orange et alii, 2005 ; Orange-Ravachol, 2005).

La situation problématisante vise un effet déclencheur chez l'apprenant parce qu'elle porte en elle-même un caractère émergent et dynamique dans la mesure où lorsque les apprenants s'en approprient, elle subit un traitement (à travers un débat interactionnel) qui la fait connaître une évolution et une mutation en situation problématique ou situation-problème.

3.4. La mise en situation

Au cours d'une phase de formation préparatoire en intervention socioéducative, la mise en situation ou mise en contexte d'un enseignant participant à la recherche correspond à l'ensemble des activités préparatoires liées à ses effectuations anticipées pour la préparation d'une leçon ou d'une séquence (sa préaction). Ces activités préparatoires sont aussi liées à ses simulations d'interactions en classe de formation à l'adresse des pairs de la profession enseignante ou enfin à celles portant sur des simulations en post-action après la classe de formation (Nkeck Bidias, 2019). Selon cette auteure, la grille de lecture de l'intervention socioéducative par le chercheur formateur se construit de la façon suivante pendant les activités de mise en contexte adaptées à la génétique

Conclusion du chapitre 2

Il était question dans ce chapitre de rendre les concepts liés à notre thème compréhensibles en nous emparant des notions et expressions conceptuelles discursives fondamentales piliers, comme les concepts de génétique, de conceptions, de représentations, difficulté d'apprentissage et dispositifs d'enseignement en plus des notions et expressions discursives fondamentales secondaires. Les discussions que nous avons ouvertes dans ce chapitre au travers d'une compréhension plus claire des différents concepts nous ont permis de recadrer notre travail de recherche qui contribue à élaborer d'un dispositif d'enseignement de génétique en vue de pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D.

CHAPITRE III :

CADRE THEORIQUE DE LA RECHERCHE

Le cadre théorique contraint les phénoménologies biologiques à construire et à mettre en évidence à travers l'application directe, des propositions de profils de la conduite enseignante. Celles-ci sont retenues en même temps qu'elles engagent des ressources théoriques pour se construire. Dans une biologie- génétique convoquée, le modèle de conduite enseignante s'inspire du référent empirique pendant la problématisation historique et fonctionnaliste au cours du débat en effectuation de classe de SVTEEHB (Lenoir, 2004 *ibid.* ; Clanet, 2012 ; Nneck Bidias, 2018). Le cadre théorique dans le contexte de nos travaux « est constitué des théories qui servent de matrice théorique pour les étapes successives de la recherche. Cette “matrice théorique” est élaborée à partir des analyses rhétoriques du corpus théorique » (Lenoir, 1995, p. 19). Elle donne des assises à la recherche au travers de balises théoriques issues de l'examen des théories et des recherches existantes que nous prenons la peine de recadrer à l'aide, notamment, de l'analyse des théories et la revue de la littérature, et qui cernent l'objet de notre étude. Pour être valide, cet examen est fait dans un esprit critique qui se manifeste par un discours argumentatif. L'utilisation des théories nous permettra de faire une généralisation abstraite par la présentation d'une explication systématique sur la manière dont les phénomènes sont reliés entre eux.

À ce titre, le cadre théorique mobilisé est à la confluence de l'épistémologie, de la revue de littérature et des pratiques enseignantes bienveillantes, professionnalisantes et collaboratives. Parmi ces pratiques enseignantes ou théorie éducatives, nous avons : l'intervention éducative bienveillante (chez les apprenants de la classe de Terminale D) et de l'intervention socioéducative bienveillante (chez les enseignants en activité de classe participant au présent travail). En effet, dans le domaine de la théorie générale des interventions (Morf, Grize et Pauli, 1969), l'intérêt est porté sur l'intervention éducative et socioéducative bienveillante justifiée par des spécificités qualifiant deux types d'intervention finalisée. Pour ce faire, celle qui retient l'attention, se définit comme un ensemble de construits référant à deux modes étrangers entre eux, à savoir : le mode afférant à l'école et celui en rapport avec la communauté enseignante.

1. Historique et épistémologie de la génétique

En didactique, l'étude historique d'un concept permet premièrement une reconstruction chronologique des étapes de la découverte de ce concept et deuxièmement l'identification des obstacles auxquelles les scientifiques sont heurtés au cours de l'élaboration de ce concept. Faire un parallèle strict entre l'apprentissage du concept par les élèves et la découverte de ce concept n'est pas l'objectif visé par l'utilisation du repérage de ces obstacles. L'objectif est plutôt de prévoir les difficultés que les apprenants sont susceptibles d'avoir et les obstacles y afférentes, dans le but d'élaborer des stratégies à mettre en œuvre afin de les dépasser. Ainsi, nous serons à même d'explicitier le savoir visé avec toutes ses difficultés et ses caractéristiques. Cette étude pourrait permettre de formuler des hypothèses sur les difficultés que peuvent rencontrer les apprenants lors de l'apprentissage du concept de génétique.

L'étude historique de la découverte de l'ADN (élément fondamental en génétique) et l'identification des obstacles associés à cette découverte a fait l'objet de plusieurs travaux à l'instar de ceux de Hélène Fayolle en Juin 2009. Notre travail s'articule autour des questions que les chercheurs ont eu à résoudre sur les représentations de l'ADN, support de l'information génétique : la structure enseignée de l'ADN (succession d'un ensemble de nucléotides structurés en double hélice. Les différents travaux de recherche se sont organisés autour de plusieurs pôles : la transmission des caractères héréditaires, la nature du support génétique, les modifications du support et l'évolution de l'espèce. L'analyse historique du concept de la génétique est présentée chronologiquement.

1.1. Évolution de la construction du concept de génétique

L'évolution de la construction du concept de génétique se scinde en trois principales phases : phase allant de l'origine des sciences jusqu'en 1880, phase comprise entre 1880 et 1909 et la phase d'intenses recherches située entre 1947 et 1953.

1.1.1. Évolution du concept jusqu'en 1880

Les recherches sur le support génétique et l'information génétique sur plusieurs connaissances et théories développées au début du 19^e siècle montrent que le noyau cellulaire observé depuis le 17^e siècle par les microscopistes, a été qualifié par Brown Robert en 1931, de constituant permanent et essentiel de la cellule. Cette observation a permis de renforcer la théorie cellulaire proposée en 1824 par Dutrochet. Jusqu'à l'an 1959, les travaux sur l'étude cellulaire conduiront les scientifiques à penser que le support de l'hérédité est précisément le

protoplasme (l'ensemble des constituants d'une cellule) et que cette hérédité est obtenue par mélange des caractères des deux parents.

Mais plusieurs découvertes vont bouleverser cette idée à partir de 1859. La publication de l'ouvrage de Darwin sur l'évolution : « *De l'origine des espèces* » illustrera ce bouleversement. Darwin émet l'idée de l'adaptation au milieu et celle de sélection naturelle pour expliquer l'évolution de la diversité des individus et de la population. Pour lui, l'évolution des espèces et de la biodiversité sont les conséquences de la rencontre des caractères héréditaires aléatoires avec des facteurs d'adaptation (le milieu), rendant les populations aptes à des modes de vie spécifiques. Les mutations, appelées « Sport of nature » (Caprices de la nature), ne sont pas considérées comme des facteurs de l'évolution étant donné que les chercheurs de cette époque-là estiment qu'elles s'évanouissent au fur et à mesure que les générations voient le jour.

a) Heurte de Darwin à l'obstacle lié à sa théorie d'évolution

Darwin se heurte à un obstacle, celui lié à sa théorie de l'évolution, car le lien entre mutation, évolution et hérédité n'est pas pris en compte par les autres scientifiques. Darwin explique que les variations sont dues au hasard, et à un meilleur taux de reproduction de certaines espèces dont la constitution génétique et héréditaire facilite la survie du plus apte et du plus résistant. Elle privilégie les caractères héréditaires qui s'accumulent au fil des générations. À cette période-là, la transmission des caractères héréditaires se justifie par le rôle des gemmules qui deviendront plus tard des pangènes.

Pendant la moitié du 19^e siècle, les pangènes ont été caractérisés, par De Vries partant des hypothèses de Weismann. Les pangènes se définissent comme étant des facteurs héréditaires se trouvant dans le noyau d'une cellule. Ils sont des entités physiques correspondants aux caractères et transmises de générations en générations. De ces facteurs héréditaires, a découlé une théorie : c'est la théorie de la pangenèse cellulaire. Ce support n'a pourtant jamais été observé, bien qu'étant caractérisé comme un support physique (Vignais, 2001)

L'essor du rôle des « facteurs héréditaires » se retrouvent aussi dans les travaux de Mendel menés entre 1856 et 1865, bien qu'en cette période ils demeurent peu connus et moins acceptés. Mendel débute ses travaux en menant des expériences de croisement sur des pois. Il va apporter de nombreuses connaissances à la suite de cette expérience. Tout d'abord, il identifie des caractères récessifs et dominants qu'il spécifie en effectuant des expériences sur le monohybridisme (croisement expérimental reposant sur un seul caractère). Ensuite, il

poussera ses expériences sur le dihybridisme (croisement expérimental reposant sur deux caractères). Il finit par déduire que les supports des caractères héréditaires sont facteurs indépendants et bien distincts : ce sont des facteurs particuliers porteurs de l'hérédité (Vignais, 2001). Cette grande découverte va favoriser « le passage de l'idée d'hérédité par mélange à l'idée d'hérédité particulière » (Fayolle, 2009, p.10)

b) Admission tardive des travaux de Mendel par la communauté scientifique.

Les travaux de Mendel n'ont pas été admis rapidement par la communauté scientifique, car ils étaient peu communiqués et peu connus, et en plus de cela, à cette époque, les connaissances sur la cellule et la méiose étaient quasi inexistantes. Et tout ceci a servi d'obstacle majeur à l'acceptation des travaux de Mendel. Tout de même, ses recherches ne laissent pas insensibles un certain nombre de chercheurs à l'instar de Haeckel, qui propose en 1866, un extrait de synthèse des dernières découvertes. Il fait une publication sur le fait que les facteurs responsables de la transmission des caractères héréditaires sont logés dans le noyau de la cellule (Marty, 2003)

Le noyau est considéré comme un élément important de la transmission des caractères héréditaires. C'est au bout de cette découverte que Miescher décide en 1869, de caractériser chimiquement les constituants composants le noyau. Cette caractérisation conduit à la découverte des protéines et des lipides, ainsi qu'un autre composé du noyau, inconnu jusqu'alors. Ce composé ne pourrait pas être une protéine, puisqu'il qu'il résiste à la pepsine, mais possédant néanmoins des propriétés acides. Ce composé sera nommé : nucléine par Miescher qui décidera donc de poursuivre ses analyses dans le but d'obtenir plus d'informations là-dessus. Il retrouvera ce composé dans des noyaux des différentes espèces. C'est ainsi qu'il constatera que la nucléine est composée de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote. Sa composition ressemble à celle de nombreuses autres biomolécules découvertes à cette même période (protéines, sucres, lipides). Plus tard, on découvrira une chose inhabituelle, le phosphate est contenu dans la nucléine.

c) Difficile dépassement de l'obstacle lié au fait que la nucléine n'est pas une protéine

Le fait que la nucléine ne soit pas une protéine fait apparaître un nouvel obstacle qui sera difficile à dépasser, car pour les chercheurs, le facteur qui transmet les caractères héréditaires doit être de nature protéique. Selon les scientifiques de cette époque, un facteur non protéique serait incapable de transmettre l'hérédité.

Simultanément à cette même période, en 1870, les scientifiques obtiennent une description de la mitose. Ils découvrent les bâtonnets visibles dans le noyau à certains moments de cette division cellulaire. Ces bâtonnets seront appelés par Flemming Chromatine.

À cette même période, Miescher, qui continue à s'intéresser à l'étude de l'hérédité, est un petit peu intrigué par le composé qu'il a découvert. Cette découverte le conduit à l'émission de l'hypothèse suivante. La transmission des caractères héréditaires se fait par le biais de la nucléine. Quelque chose de surprenant se produit en même temps, car Miescher rejette son hypothèse du fait qu'il estime qu'il est inconcevable qu'une seule et même substance conduise à la diversité des espèces (Dahm,2008)

d) Nouvel obstacle lié à la diversité des espèces imposant des mécanismes complexes et divers

Il y'a ici apparition d'un nouvel obstacle qui est mis à jour et qui, persistera aussi longtemps que les précédentes. « La diversité des espèces impose des mécanismes complexes et divers » (Fayolle, 2009, p.14). Cet obstacle est lié au fait que les chercheurs de cette époque estiment qu'une même molécule ne peut être le support de l'hérédité de caractères variés et concernant différentes espèces. Ils vont jusqu'à se braquer sur le fait que ça ne peut pas être une substance commune à toutes les espèces.

1.1.2 Découverte du concept entre 1880 et 1909 : Précision et confirmation des découvertes antérieures

Kossel va confirmer l'existence de la nucléine dans le noyau autour de 1880 et 1909. Il confirmera à cette même période et par la suite son caractère non-protéique et sa composition en phosphates. Il met également en lumière la relation qui existe entre la quantité de noyau et le phosphate de la nucléine en déterminant que, quel que soit le tissu, le rapport entre les deux est toujours constant. Il termine dans cette lancé, en déduisant une relation.

Kossel va plus loin dans l'étude de la nucléine en découvrant qu'elle est composée de deux principales bases, toute différente : les pyrimidines (T-C-U) et les purines (A-G) qui tirent leur différence de leur composition chimique.

En 1888, Hertwing et Waldeyer confirment et précisent toutes les découvertes effectuées jusqu'alors. Hertwing indique l'importance du noyau dans la division cellulaire. Walderyer, quant à lui, change le nom des bâtonnets identifiés dans le noyau cellulaire pendant la mitose. Ils partent d'un ensemble appelé chromatine à une entité à part entière appelé chromosome. Plusieurs recherches d'ordre chimique vont suivre. Elles seront centrées sur la nucléine car que ce nouveau composé nucléaire joue un rôle important dans l'hérédité

(car se trouvant à l'intérieur du noyau). Lors de l'année 1889, Altmann change le nom de la nucléine en acide nucléique après avoir confirmé son caractère acide. Il ne cesse d'affiner sa structure chimique, en montrant en 1891, que l'acide nucléique contient un ose (sucre). Cette même année, Hammarsten découvre que cet ose n'est rien d'autre que du pentose, bien qu'après des recherches plus approfondies, ce sucre deviendra le ribose, avec Jacobs et Levene, en 1908. Le désoxyribose sera nommé en 1929 par Levene et aura été découvert par Kossel quelques années plus tôt. Ce désoxyribose est désigné ainsi en opposition au ribose, car il est un ose différent se trouvant dans les cellules du thymus. Ces découvertes chimiques seront étroitement liées à celles réalisées dans certains domaines de la physique.

Flemming et Kossel établissent en 1896, le fait que la chromatine soit assimilée à la nucléine, donc que les chromosomes sont des acides nucléiques.

a) Identification de l'obstacle lié au fait que l'acide nucléique soit considérée comme le support de l'hérédité.

À la fin des années 1800, les points de vue des scientifiques convergent sur le fait que le matériel nucléaire des chromosomes présents à l'intérieur du noyau d'une cellule est en partie responsable de la transmission des caractères héréditaires. Malgré tout ceci, un obstacle persiste, il s'agit de l'obstacle lié à la nécessité, pour le facteur transmettant les caractères héréditaires d'être de nature protéique. Cette résistance est dû au fait qu'à l'époque, le matériel nucléaire des chromosomes est la base chimique de la vie et que la grande diversité des protéines serait forcément responsable de la diversité des espèces. Il y'a donc un obstacle à identifier, celui de l'acide nucléique comme étant le support de l'hérédité à cause de sa nature chimique.

b) Mauvaise interprétation des lois de Mendel par De Vries : obstacle à l'avancé de la recherche

Les recherches sur l'évolution continuent parallèlement aux recherches sur la nature du facteur responsable de la transmission de l'hérédité. En 1900, De Vries, met en évidence les variations discontinues des caractères héréditaires qu'il nomme mutation. Il indique leur rôle principal dans l'évolution en fondant la théorie discontinuiste de l'évolution (Vignais, 2001). Une erreur va se glisser dans les travaux de De Vries ; il procède à une mauvaise interprétation des lois de Mendel et assimile récessivité/dominance et mutation. « La discontinuité due à la mutation est rapportée à la discontinuité que Mendel avait produite dans l'hérédité. » (Fayolle, 2009, p.15). Cette erreur de la part de De Vries a donc été un obstacle

dans les recherches qui ont suivis, à l'instar de celles voulant étudier les caractères héréditaires par le biais des mutations.

Boveri et Sutton prolongent par des expériences ces études entre 1902 et 1903, en faisant varier les conditions de fécondation avec l'ovule énucléé... À partir de cette expérience, ils confirment la véracité des travaux selon lesquels l'information génétique d'un individu est localisée à l'intérieur du noyau de ses cellules. Avant ces travaux, Ceci n'avait pas fait l'objet d'approbation. Elle était juste une supposition. Ces deux chercheurs vont démontrer que pour une paire de chromosome, à l'intérieur d'un œuf fécondé, il y'a un chromosome qui est d'origine paternel et un chromosome qui est d'origine maternel. C'est cette recherche qui les amène à poser ainsi les bases de la théorie de l'hérédité qui sera complété par Stevens lorsqu'il découvre entre 1904 et 1905, les chromosomes sexuels. Cette découverte permet à Stevens d'ailleurs de faire le lien avec la détermination du sexe d'un individu (Vignais, 2001)

1.1.3. Théorie de l'hérédité : Accélérateur de découverte en 1909

À la suite de ces découvertes, Johannsen va en 1909, remplacer le terme facteur de l'hérédité par le terme gène (qui est juste une simplification de « pangène »). Au cours de cette découverte, il définit le gène comme un principe, une « unité de calcul », une abstraction influençant le phénotype à l'intérieur d'un œuf fécondé. Le gène apparait donc pour lui, différent d'une entité moléculaire. Johannsen, va lors de ses recherches définir les termes phénotype et génotype, termes employés jusqu'à nos jours.

Toujours en 1909, Jacob et Levene définissent les constituants d'un nucléotide. Ces constituants sont entre autres : une base (pyrimidique et purique), un ribose et un phosphate. L'année suivante (1910), Morgan précise la théorie de l'hérédité en la transformant en théorie chromosomique de l'hérédité. En effet, il décide d'établir de manière claire, que les facteurs héréditaires (appelé maintenant gène), sont portés par des chromosomes qui eux même, sont localisés dans le noyau cellulaire. Il précise donc la théorie par cette information. Au cours de la même année, les travaux de Morgan, l'ont conduit à caractériser les chromosomes. À cet effet, il découvre un lien entre un caractère et un chromosome (tout d'abord, les liens avec les chromosomes sexuels). L'obtention de cette association par l'éminent chercheur se fait en menant des expériences utilisant des mutations. À partir de ce moment, les mutations deviendront un outil de détermination des associations caractère-chromosome, ensuite caractère-gène. Les liens phénotype/génotype deviennent alors plus explicites.

a) Obstacle, lié au doute en recherche sur la réelle fonction des chromosomes dans l'hérédité

Par coloration des chromosomes, Strasburger, découvre que ceux-ci disparaissent un moment lors du cycle cellulaire (Vignais, 2001). Cette découverte conduit au doute sur la réelle fonction des chromosomes dans l'hérédité, étant donné qu'à cette époque, les chercheurs en génétique pensent que le matériel héréditaire doit être interchangeable, constant, identifiable et présent à toutes les phases et étapes de la division cellulaire. Cette idée va constituer un obstacle pendant plusieurs années à la découverte du support de l'information génétique.

À la suite de ces découvertes sur l'association d'un gène à un caractère, continueront les recherches sur les gènes. Muller, démontre en 1912, l'existence des gènes différents, ayant des structures internes non répétitive. Grâce à l'observation de gènes aux rayons X, il obtient ces résultats (Marty, 2003). Un gène est défini comme un « modeleur » formant sa propre copie proche de lui. Il fonctionne donc comme un patron de construction qui est modifié par le biais d'une mutation (Fayolle, 2009).

En 1915, Morgan modifie la définition du gène. Pour lui, un gène est une unité de recombinaison localisée sur un locus précis de chromosome. En avançant dans ses travaux, il va calculer les écarts entre les gènes en inventant une nouvelle mesure : le centiMorgan, qui reste utilisé jusqu'aujourd'hui.

Simultanément, certains scientifiques continuent à travailler sur les acides nucléiques. En 1916, Mathews, annonce que la chromatine possède divers acides nucléiques jouant un rôle de squelette à l'intérieur de la molécule. Ces acides nucléiques sont également attachés aux protéines, qui sont des éléments actifs dans la transmission de l'hérédité.

b) Proposition du modèle tétranucléotidique comme obstacle à la découverte de la structure de l'ADN

Ainsi, en 1920, Levene reçoit la conviction que les quatre bases, identifiées en 1882, par Kossel, se trouvent en proportion égales à l'intérieur de la chromatine. Il propose alors un modèle : c'est le modèle tétranucléotidique qui est la répétition du motif : A-T-C-G. Ce motif (modèle) persiste jusqu'en 1945. Il constituera un obstacle majeur à la découverte de la structure de l'ADN, bien que proposé par un groupe de forte renommée de l'époque (Vignais, 2001).

Muller, dont l'objet d'étude est le gène, va le définir en 1926, comme une particule fondamentale à la base de la vie. En 1927, il effectue, la première irradiation aux rayons X de

drosophiles dans le but d'observer leur effet sur la descendance (Vignais, 2001). Certaines expériences sont menées par Delbrück, avec des rayons X pour observer les gènes. Il sera confronté à des difficultés, car il constate qu'il est difficile d'observer des gènes aux rayons X, étant donné qu'on ignore leur nature chimique. Delbrück s'intéresse dès lors aux résultats de Muller et propose la conclusion suivante découlant de ses différentes expériences : une mutation est un phénomène intermédiaire entre deux états constants d'un gène. Cela veut tout simplement dire qu'un gène peut avoir plusieurs états stables (Marty,2003).

c) Renforcement de l'idée sur les protéines faisant obstacle à la recherche

En définitive, Delbrück, Muller, Zimmer et Timofeef-Ressovsky repèrent une substance cible des rayons X se trouvant dans les gènes. Les gènes sont à la suite de ce repérage identifiés comme jouant un rôle majeur dans l'hérédité. Cette découverte n'est malheureusement pas très suivie, à cause du fait que la même année, les virus, sont considérés comme de l'ADN à l'état pur (Vignais,2001). Cela renforce l'idée selon laquelle les protéines sont le support de l'hérédité. Après sa première apparition, cet obstacle persiste encore soixante-dix ans plus tard.

Cet obstacle n'empêche pas certains chercheurs de poursuivre le travail sur la chromatine et les acides nucléiques. C'est seulement en 1935 que l'acide nucléique est qualifié d'acide désoxyribonucléique ou ADN. Ainsi, en 1937, Bernal et Astbury mettent en évidence la structure périodique de l'ADN. L'ADN est à partir de ce moment considéré comme une molécule monotone formée de la répétition d'un acide nucléique (exemple TTTT) (Vignais, 2001). En 1938, Bell et Astbury proposent un modèle d'organisation de la structure de l'ADN respectant le principe de cette monotonie. Ce modèle constitue un empilement de composants aplatis représentant chacun un acide nucléique ou nucléotide. Ce modèle est rejeté à l'immédiat de par sa planéité et non de par sa monotonie

d) Obstacle à la découverte face à la force du paradigme protéique

A la même période que Astbury et Bell, Schult fait le lien en 1938 entre l'activité, la reproduction du gène et le métabolisme des acides nucléiques. En 1941, Ce lien élaboré permet à Caspersson, de décrire le rôle de l'acide ribonucléique (ARN) dans la synthèse des protéines. À cet effet, Caspersson déclare que les protéines sont aidées par l'acide nucléique à se répliquer. Il émet l'idée que les protéines chromosomales sont des protéines spéciales. Les gènes jouent donc à partir de ce moment un rôle indirect dans la transmission de l'hérédité en devenant alors des nucléoprotéines (association de protéine + acide nucléique) (Marty, 2003).

C'est en ceci qu'on retrouve toujours ici, le paradigme protéique très fort, faisant obstacle à la découverte du rôle réel des gènes.

e) Obstacle lié à la nécessité pour le facteur transmettant l'hérédité d'être de nature protéique

À la suite de ces travaux, Delbrück, en 1941, établit un modèle qui définit de manière claire le rôle du gène, mais en prenant en compte la nécessité de la nature protéique du support héréditaire. Pour lui, le gène agit comme une enzyme, mais n'en est pas une. Il catalyse l'autocopie des protéines se trouvant à l'intérieur de la cellule. Delbrück détermine alors que les enzymes sont les seuls éléments aptes à remplir un rôle, une fonction héréditaire et que les gènes sont un outil de synthèse des protéines et non le support de l'hérédité.

L'année 1941 représente une année fructueuse dans les découvertes dans la mesure où Hollaender identifie simultanément la longueur d'onde du spectre UV, développant des mutations comme similaires à celle de la longueur d'onde des acides nucléiques. Il arrive à la conclusion selon laquelle le gène est composé d'acide nucléique. Les acides nucléiques sont des capteurs d'énergie (Marty, 2003). Cette notion de capteur d'énergie, puis de transfert de l'énergie à la protéine porteuse de l'information génétique fait l'objet d'un obstacle nouveau lié à la nécessité, pour le support de l'information génétique, d'être de nature protéique.

Schrödinger, en 1945, démontre que le gène est contrôlé par une organisation apériodique. Carspersson quant à lui, confirme le fait que les acides nucléiques sont bel et bien situés dans le noyau des cellules, par l'intermédiaire d'une estimation quantitative des différents constituants du noyau. « *Le chromosome devient ainsi une fibre protéique avec des différenciations nucléoprotéiques* » (Fayolle, 2009, p.19). De plus, Caspersson établit une corrélation acide nucléique et dédoublement des gènes par augmentation du contenu du noyau suivi de sa diminution. Tout ceci conduit à une remise en cause de la monotonie de la molécule d'ADN. Son rôle dans l'hérédité étant de plus en plus convoqué dans la littérature, mais en gardant toujours le gène qui est tout de même de nature nucléique et protéique.

1.1.4. Des années d'intenses recherches entre 1947 et 1953

Les recherches se concentrent davantage sur l'ADN au début de l'année 1947. Le chimiste Stern avance une théorie qui donne à l'ADN, une certaine spécificité génétique et héréditaire : orientation et séquence des bases (Marty, 2003). En 1950, Wilkins, présente une capture de diffraction aux rayons X d'un cristal d'ADN. Schrödinger affirme que l'hérédité renvoie à la transmission d'une substance avec un ordre physique défini et stable. Chargaff

quant à lui, cherche à caractériser l'ADN. Il remarque de ce fait qu'un ADN est spécifique à l'espèce dont il est issu. Il va plus loin en démontrant l'existence de deux groupes distincts d'ADN (en opposition au motif tétraédrique prônant une égalité entre bases pyrimidiques et bases puriques). Ces différentes découvertes permettent de dépasser le paradigme du tétranucléotide. Chargaff à la suite de ceci, expose le fait que la proportion entre bases découle des lois particulières : proportion égale entre les acides nucléiques A et T, et entre les acides nucléiques C et G (Marty, 2003).

C'est à la suite de ces travaux en 1951, que Pauling, trouve la structure hélicoïdale des protéines dont se servent Crick et Watson comme premier modèle d'ADN : une structure en hélice comportant trois chaînes. L'année suivante, en 1952, Pauling développe un modèle à triple hélice en détaillant sa structure squelettique : le sucre et le phosphate sont à l'intérieur, tandis que les bases sont à l'extérieur, le tout étant relié par le biais des ponts hydrogènes.

Ce modèle à trois chaînes est aussitôt rejeté par les chercheurs en chimie, car selon leur recherche, il n'est pas possible de trouver des ponts hydrogènes entre des molécules ionisées, des résidus phosphates acides. Toujours en cette même année, c'est-à-dire en 1952, Chase et Hershey, membres du groupe des phages (groupe très influent à cette époque de par l'accent mis à l'étude de la génétique bactérienne par l'intermédiaire des phases de 1940 à 1960 (Morane, 1994)) affirment la pertinence des expériences d'Avery de 1944 et le fait que l'ADN est bel et bien le support de l'hérédité.

À la fin de l'année 1952, Franklin obtient des clichés d'images de diffraction de l'ADN aux rayons X. ceux-ci vont lui permettre de préciser le squelette de la molécule : l'hélice est constituée de deux chaînes ; les bases sont situées à l'intérieur, le sucre et phosphate se trouvent à l'extérieur.

La détermination du squelette de la molécule est l'élément déterminant permettant à Crick et Watson en 1953 (précisément, le 12 mars), de faire la présentation d'un troisième modèle, qui est celui connu actuellement (Vignais, 2001). Ce modèle stipule que la molécule d'ADN est formée de deux chaînes de nucléotides antiparallèles et bien enroulées en une hélice dextrogyre. Ces chaînes comportent naturellement quatre bases azotées qui s'apparient par liaison hydrogène : A s'apparie avec T par deux ponts hydrogènes, tandis que C s'apparie avec G par trois liaisons d'hydrogènes. En 1973, ce modèle, est validé par Rich grâce à des expériences de cristallographie directe (Marty, 2003).

L'acceptation de l'ADN comme support de l'hérédité et la découverte de sa structure ont pris plus d'un siècle de recherche associant biologiste, physiciens et chimistes. Aujourd'hui, grâce à ces chercheurs, on peut dire qu'un gène, présent dans le noyau d'une

cellule et porté par un chromosome, est une séquence d'ADN, elle-même, étant une succession bien agencée de bases azotées qui sont transmises aux descendant d'une lignée et commandant la synthèse des protéines (Rumelhard, 1986).

1.2. Obstacles épistémologiques rencontrés dans la recherche en génétique

Cette étude historique, nous permet de remarquer que les chercheurs en génétique ont pendant des années été confrontés à des difficultés variées lors de la construction du modèle contemporain de l'ADN. L'un des avantages liés à ces difficultés est la possibilité de construire des obstacles en regroupant les difficultés similaires, mais rencontrées à des moments différents ou des difficultés rapprochées du point de vue biologique. Ceci nous permet de décrire ensuite les raisons historiques de l'existence de ces obstacles.

Ces obstacles sont de natures diverses et nombreuses : technique (les instruments disponibles ne facilitent pas la réalisation de toutes les observations), social (influence d'un groupe affinitaire de recherche reconnu), lié aux croyances (idée préconstruite sur ce qui est ou doit être le support de l'information génétique).

En référence au travail de Fayolle (2009), nous répartissons les difficultés liées à la construction du concept de transmission de l'hérédité en quatre catégories d'obstacles :

- Les mutations sont des facteurs d'hérédité et d'évolution.
- Un même matériel biologique peut posséder des formes très variées.
- Les différents objets biologiques impliqués dans l'hérédité sont liés les uns les autres.
- Le codage de l'information génétique

Le travail ci-dessous consiste à rendre plus explicite les différentes catégories d'obstacles évoqués plus haut.

1.2.1. Les mutations : facteurs d'hérédité et d'évolution.

Lorsque Darwin présente sa théorie de l'évolution, il fait une déclaration selon laquelle l'évolution est due à des variations qui sont le fruit du hasard, ce qui exclut les mutations responsables des variations discontinues des facteurs d'évolution. Bien plus, des années durant, les mutations ont été uniquement associées aux maladies. Donc elles ne pouvaient pas avoir un rôle dans l'évolution, étant donné qu'elles disparaissent à la génération qui suit ou de manière très rapide dans les générations suivantes.

Ce n'est qu'au moment où Morgan établit le lien entre les gènes et les caractères par le biais des mutations, que les chercheurs en génétiques découvrent le rôle important des

mutations dans l'hérédité, et le fait que les mutations peuvent être aussi des facteurs d'évolution.

À partir de ce moment, les variations discontinues seront étudiées comme des causes de l'évolution et de l'hérédité.

1.2.2. Un même matériel biologique aux formes différentes

Lors de la découverte de la notion de transmission de l'hérédité, les chercheurs en génétique pensent très rapidement que les chromosomes jouent un rôle capital dans la transmission de l'information génétique. Mais en observant les chromosomes, ils constatent que ceux-ci ne sont pas toujours présents à toutes les phases de la division cellulaire. Ils déduisent que les chromosomes ne peuvent pas être les porteurs de l'information génétique. À cette époque, on pense en effet que le support de l'hérédité doit toujours être visible, à tout moment. Mais ce n'est pas le cas des chromosomes qui, pendant l'interphase, se condensent et ne se présentent plus sous forme de bâtonnets. À cette phase, ils se présentent plutôt sous la forme de filaments agglomérés composés d'ADN et de protéines : la chromatine.

En conclusion, il s'agit du même matériel, la chromatine, condensée ou décondensée, et qui est présente tout au long du cycle cellulaire. Mais cette observation n'a été faite qu'une fois le phénomène de mitose compris. Tout ceci a donc contribué à retarder l'acceptation des chromosomes (chromatine), comme support de l'hérédité.

1.2.3. Indispensables Liens entre les différents objets biologiques

Les objets biologiques qui interviennent dans la transmission des caractères (ADN, acides nucléiques, gènes, chromosomes, noyau, cellules) ont tous été étudiés séparément par les chercheurs en génétique. Le lien entre eux a été difficile à faire. En plus, Ces objets biologiques ont essentiellement été étudiés au niveau de leur structure (niveau structural) et pas au niveau de leur fonction (niveau fonctionnel), ce qui a rendu davantage difficile l'établissement des relations entre ces différents objets. Ils étaient uniquement considérés comme des supports de l'hérédité, avec une méconnaissance de leurs fonctions, les mécanismes étant réservés aux protéines. C'est justement au moment de la reconnaissance du rôle de l'acide nucléique, que le paradigme protéique a été dépassé.

Les recherches dans le domaine de la chimie vont par la suite permettre de lier chromosomes et gènes par la mise en évidence d'une nature chimique commune. La relation entre gène et ADN n'est réalisée que lorsque le dernier obstacle est vaincu.

1.2.4. Codage de l'information génétique.

L'information génétique est organisée en une succession de nucléotides bien ordonnés sous la forme d'un code. Mais alors, ce code n'est pas apparu instantanément lors des recherches. Tout d'abord, les chercheurs en génétique estiment que la molécule d'ADN est une molécule identique à toutes les espèces et que c'est une molécule monotone composée des bases en proportion égale. Ensuite, il y'a apparition du modèle de motif tétra nucléotidique, qui permet le renforcement de l'idée de molécule monotone.

Arrivé à ce niveau de réflexion, l'ADN ne peut donc pas être le support de l'hérédité. D'un autre côté, certaines études démontrent le fait que cette molécule (ADN) est le support de l'hérédité. Il est donc très important de trouver une explication à tout ceci. Les chercheurs étudient alors de manière approfondie et dans les moindres détails la nature de cette molécule. C'est à la découverte des lois régissant l'organisation des bases (appariement des bases deux par deux, reliées par les ponts d'hydrogène) que la notion de code apparaît. Elle permet d'expliquer le fait qu'une même molécule d'ADN présentant une organisation spécifique à chaque individu, soit responsable de l'émergence d'espèces différentes par interprétation variée du code génétique qu'elle porte.

C'est l'ensemble de ces recherches qui nous permet d'enseigner de nos jours, l'information génétique, ainsi que les mécanismes de transmission des caractères héréditaires. Mais il est responsable de souligner que ces connaissances sont encore en train d'évoluer comme le démontre les récentes découvertes concernant l'épigénétique. Les programmes scolaires font l'objet d'une adaptation en relation permanente avec les avancées de la recherche.

2. Revue de la littérature

La revue de la littérature que nous présentons ici montre que les connaissances ou conceptions des élèves en génétique sont construites à partir des informations en provenance de différentes sources. Ces conceptions initiales viendraient contraindre ensuite l'acquisition des connaissances scientifiques en biologie en général et en génétique en particulier. Ainsi, le processus d'acquisition des connaissances scientifiques en génétique serait contraint par ces conceptions initiales. La source principale des conceptions initiales serait l'expérience quotidienne avec le monde. L'élève face aux notions de génétique a eu à construire dès sa tendre enfance, à partir des explications de celui-ci, des expériences par son interaction avec le monde qui l'entoure. Pour certains auteurs, ces explications sont intégrées à l'intérieur des

modèles mentaux cohérents, bien que différents de certains modèles évolués considérés aujourd'hui comme des modèles scientifiques.

Dans la suite du processus d'acquisition des connaissances scientifiques, l'élève est exposé à des sources d'informations diversifiées, avec l'expérience quotidienne en particulier caractérisée par des informations en provenance des canaux variés à l'instar des canaux culturels comme le discours des adultes ("les enfants finissent par ressembler à celui qui traverse la maman pendant la grossesse"), le discours des médias (internet, livres, radios, télévision) et des canaux d'enseignement. La plupart des informations concernant les connaissances liées aux maladies et anomalies héréditaires arrivent chez l'élève, qui possède déjà des conceptions initiales du phénomène héréditaire mentionné. Les nouvelles informations concernant ces maladies héréditaires et anomalies chromosomiques peuvent être ou non cohérentes avec les modèles déjà construits. L'élève peut être prêt ou non à assimiler ces nouvelles informations concernant les maladies et anomalies héréditaires et chromosomique tels que l'albinisme, la drépanocytose et le mongolisme dans le cadre des modèles préalables : ces modèles sont très souvent assimilés, intégrés au modèle adéquat ou remis en cause, ce qui le rend plus dynamique et lui permet d'être alors restructuré pour intégrer les nouvelles informations (Vosniadou et Brewer 1992, 1994).

La suite de la revue de notre littérature va s'appesantir sur les dispositifs d'enseignement en génétique et sur les conceptions et représentations en génétique étant donné que c'est la description des connaissances précoces ou initiales et les conceptions en génétique qui font l'objet de la recherche empirique de notre travail. Nous présenterons les travaux concernant les connaissances précoces, ensuite suivrons les travaux concernant l'évolution de ces conceptions. Si les médias sont considérés comme une source de connaissances scientifiques et génétique, il devient important de s'attarder un tout petit peu sur les enquêtes qui décrivent ce dont parlent notamment les médias dans le domaine des sciences et notamment en biologie et en génétique plus précisément.

2.1. Revue de la littérature sur les dispositifs d'enseignement en génétique.

Les dispositifs d'enseignement de génétique ont fait l'objet d'un certain nombre de travaux. Ces travaux pour la plupart soulèvent les problèmes d'inadéquation et de difficultés rencontrées dans l'enseignement de la génétique.

2.1.1. L'inadéquation des dispositifs d'enseignement de la partie génétique

Les difficultés des élèves dans l'apprentissage de la génétique ont fait l'objet d'une analyse et de plusieurs études menées les 4 décennies passées, auprès des élèves dont la tranche d'âge est comprise entre 16 et 19 ans.

Johnstone et Mahmoud (1980), Johnstone et Hansell (1999) ont fait une recherche en vue d'identifier les sujets biologiques perçus comme très difficiles par les élèves écossais et anglais.

Après l'identification des difficultés, l'objectif de Johnstone et Mahmoud était dans un second temps, d'adapter les programmes et les dispositifs d'enseignement de la biologie, en Angleterre dans le but de promouvoir le dépassement de ces difficultés. Cette recherche a été menée auprès de 166 élèves du second cycle du secondaire, 167 étudiants en 1ère année biologie et 50 enseignants du secondaire de Grande-Bretagne. Chaque participant a été soumis à un questionnaire comportant 15 thèmes (« topics ») différents en biologie. Chacun devrait cocher la case correspondant à son ressenti et selon l'échelle suivante.

- Je n'ai jamais étudié ce thème
- Difficile, car j'ai étudié et n'ai pas toujours compris
- Moyen, j'ai compris après avoir travaillé avec ardeur
- Facile, car j'ai compris immédiatement

Il y'a une transformation des réponses en indice de difficulté. Les thèmes ont été classés du plus difficile (1) au moins difficile (15) à partir du calcul d'indice. Johnstone a pu constater que la partie génétique était classée 3^{ème} par les élèves et étudiants et 5^{ème} par les enseignants. Ces résultats ont été confrontés à ceux du rapport réalisé chaque année, par l'inspection générale du Royaume-Uni (the Examination Board). Elle classe également la génétique parmi les sujets où les candidats sont confrontés à plus de difficultés lors des examens. Et il ressort de ces résultats que la moitié de ces difficultés serait dues à l'inadéquation des dispositifs d'enseignement utilisés en classe de génétique.

Dans une plus récente étude, Johnstone, Bahar et Hansell (1999) ont utilisé le calcul d'indice du même questionnaire auprès de 207 étudiants de première année Biologie d'une université en Ecosse. Leur but était de spécifier les domaines des thèmes (« topics ») faisant l'objet de difficultés. Ils ont étendu la liste des thèmes (« topics ») de 15 à 36 items. Cette étude a permis de constater que parmi les dix thèmes classés par les étudiants comme étant les plus difficiles, six concernent le domaine de la génétique. Ces thèmes de la génétique qui ont été identifiés comme présentant des difficultés sont : [croisement mono et dihybrides (« Monohybrid and dihybrid crosses and linkage ») (1), Génie génétique (« Genetic

engineering ») (2), Contrôle génétique du développement et processus métabolique (« Genetic control of development and metabolic processes ») (3), Méiose (« Meiosis ») (4), Gamètes, allèles et gènes (6), Mutation (10)] (Bahar, 1999)

Ces études montrent donc que la génétique en général est un domaine qui est aussi difficile à enseigner qu'à apprendre.

2.1.2. Difficultés liées à l'absence de dispositifs d'enseignement appropriés pour matérialiser les différents niveaux biologiques mis en jeu...

Bahan, Johnstone et Hansell, par plusieurs raisons, vont expliquer ces difficultés.

1^{ère} raison : l'existence dans cette partie, d'un vocabulaire étendu et complexe nécessitant des dispositifs d'enseignement adéquats pour corriger les difficultés des élèves dans l'utilisation d'un vocabulaire approprié en génétique.

2^{ème} raison : l'absence de dispositif d'enseignement pour une éventuelle intervention de modèles mathématique (calcul de probabilités de présence de caractère lors de l'étude de lignées et de croisements, calculs d'homologies lors des comparaisons de séquences de gènes).

3^{ème} raison : Absence des dispositifs d'enseignement appropriés dans l'enseignement des thèmes et des sujets utilisés qui paraissent identiques, mais qui sont en fait différents à l'instar de la mitose et de la méiose. Ces deux phénomènes qui sont tous deux responsables de la transmission génétique et à l'origine des conceptions chez les élèves (raison très importante pour nos travaux)

4^{ème} raison : Absence des dispositifs d'enseignement appropriés pour enseigner les notions de génétique existant sur plusieurs niveaux biologiques et souvent responsables des conceptions erronées chez les apprenants (raison très importante pour nos travaux).

La dernière raison est un point ayant particulièrement retenu notre attention. Elle est visible dans plusieurs niveaux biologiques et est souvent responsable des conceptions erronées chez les apprenants et aussi des implications qu'elle entraîne sur l'apprentissage. Nous axons donc notre travail sur ce point important que nous nous attèlerons à développer.

Bahar procède premièrement à la détermination des dispositifs d'enseignement adéquats pour l'étude comparative des thèmes et sujets liés à la transmission de l'information génétique, ce qui pourrait conduire à la déconstruction des conceptions initiales chez les élèves (Bahar, Johnstone & Hansell, 1999).

Deuxièmement, il procède, à la détermination des dispositifs d'enseignement adéquats pour l'organisation de ces différents niveaux selon la perception sensorielle que possèdent les

élèves, ainsi que le degré d'abstraction, qu'ils doivent adopter pour travailler à tous les niveaux. Bahar ressort trois niveaux différents qu'il est nécessaire de faire émerger à travers des dispositifs d'enseignement adéquats de génétique. Il s'agit : des niveaux Symbolique, Sub-micro et Macro, qu'il explique de la façon suivante (Bahar, Johnstone & Hansell, 1999).

- Les observations des caractères morphologiques, des choses vivantes comme les organes, la forme du nez, la couleur des yeux, la ressemblance au sein d'une même famille sont accessibles par les sens et appartiennent au niveau Macro.
- L'intérêt des allèles, des gènes et autres objets expliquant le Macro. Il conduit les apprenants au niveau Sub-micro, non accessibles directement par les sens et nécessitant des dispositifs de modélisation pour les visualiser.
- Ils sont ensuite représentés au travers des outils d'enseignement appropriés et sont manipulés par des outils mathématiques traduisant au niveau symbolique ce qui se passe au niveau Sub-micro et mettent en exergue le niveau micro.

Ces trois niveaux équivalent à des approches diverses de la génétique : le niveau mathématique (calculs de probabilités de présence d'un gène, distance entre gènes...) pour le niveau symbolique, le niveau du gène pour le Sub-micro et le niveau de l'expression du gène (niveau phénotypique) pour le niveau Macro nécessitant une modélisation par le biais du dispositif didactique.

Ces différents niveaux biologiques conjointement à leurs différentes relations dans la transmission de l'information génétique ont aussi été l'objet d'une étude menée par Stavy et Marbach-Ad (2000). Dans leur travail de recherche, ils analysent les explications émises par les apprenants de lycée israéliens sur la transmission de l'information génétique par le biais d'un questionnaire écrit regroupant plusieurs exercices sur la transmission des caractères génétiques et dont un exemple est évoqué ci-dessous. C'est la toute première question du questionnaire, qui en comporte trois pour le niveau 9 :

Stavy et Marbach-Ad identifient les dispositifs d'enseignement utilisés dans l'enseignement des niveaux biologiques nouveaux comme étant la source principale des difficultés des élèves lors de l'apprentissage de la génétique au secondaire. Les élèves de niveau d'étude 9 dont l'âge varie entre 14 et 15 ans éprouvent d'énormes difficultés à cause de l'inadéquation entre les dispositifs d'enseignement entre eux. Stavy et Marbach-Ad réalisent, eux aussi, tout en s'appuyant dans un premier temps sur la hiérarchie biologique, une organisation de ces niveaux. Ils proposent des dispositifs d'enseignement moins abstraits. Dans leurs travaux, ils finissent par ressortir trois catégories : Macroscopique (organisme),

Microscopique (cellule) et Moléculaire (molécule) en prônant l'utilisation d'un dispositif adéquat pour l'enseignement de chaque niveau. Ces trois niveaux biologiques sont catégorisés de la manière suivante selon Stavy et Marbach-Ad.

➤ La catégorie macroscopique :

Elle correspond au niveau de l'organisme, et pour les élèves, elle s'implémente par la manipulation du corps humain, d'un animal, d'un organe humain, tous les sens des élèves sont utilisés dans l'observation, d'où la nécessité d'utiliser un dispositif d'enseignement adapté pour l'enseignement de cette catégorie biologique (Stavy et Marbach-Ad, 2000)

➤ La catégorie microscopique :

Elle correspond au niveau cellulaire. À ce niveau, il n'existe pas d'expérience permettant de toucher les objets directement. Le microscope joue le rôle d'intermédiaire entre l'observateur et l'objet observé, placé entre l'objet et l'observateur. Il permet des observations très restreintes. Sa compréhension par les élèves nécessite des outils et dispositifs de modélisation pour les représenter et les rendre plus réel aux yeux des apprenants (Ibid.)

➤ La catégorie moléculaire :

Elle se rapporte au niveau des molécules. Les structures biochimiques ne sont pas visibles directement dans les organismes vivants (...) plusieurs objets moléculaires ne peuvent même pas être observés indirectement au microscope, les élèves doivent pouvoir les imaginer. Cette catégorie fait l'objet de plusieurs conceptions erronées chez les apprenants, responsables des difficultés d'apprentissage chez ces derniers. Leur modélisation au travers d'un dispositif d'enseignement permettra de les rendre plus réel chez les apprenants (Ibid.)

Stavy et Marbach-Ad obtiennent une classification qui suit une organisation biologique comme celle de Bahar. Ils ajoutent à leur classification une dimension purement sensorielle, en différenciant ces catégories par la perception qu'ont les élèves : imaginable pour le niveau moléculaire, observable pour le niveau microscopique et manipulable pour le niveau macroscopique. Ils pensent à un dispositif d'enseignement qui prend en compte à la fois la perception, l'observation et la manipulation par les élèves.

Marbach-Ad insiste sur le fait qu'à cause des dispositifs d'enseignement inappropriés, les apprenant n'arrivent pas à faire converger les connaissances des catégories moléculaires et microscopiques vers les observations du niveau macroscopique, ou alors font des erreurs en essayant. Cette difficulté à lier ces différents niveaux impliqués en génétique réside dans le fait que ces niveaux sont enseignés de manière séparée dans le temps et dans des niveaux scolaires différents (3ème, 2ndes, 1ères A et D, Terminale C et D en cursus général au

Cameroun), avec des dispositifs d'enseignement inadaptés et dans les disciplines différentes (chimie et biologie, pour les niveaux moléculaires).

Duncan et Reiser (2007), dans leur étude sur les conceptions de lycéens américains à propos du rôle des gènes dans la synthèse des protéines, retrouvent également ces difficultés liées aux différents niveaux biologiques. Les élèves ont eux aussi, des difficultés à raisonner dans les différents niveaux biologiques. Plusieurs auteurs remarquent aussi la difficulté pour les élèves à appréhender les phénomènes génétiques, surtout ceux qui leur semblent inaccessibles et invisibles, ceux qu'ils ne peuvent pas directement expérimenter. L'habitude de l'utilisation de l'analogie en sciences en vue d'expliquer les phénomènes par le biais des outils et dispositifs d'enseignements appropriés pose un problème. Ainsi, les élèves viennent à attribuer au noyau une fonction équivalente à celle du cerveau, en la transposant au niveau de la cellule juste à cause des conceptions erronées qui se seraient fixées par le biais d'un dispositif d'enseignement inapproprié. Duncan et Reiser obtiennent ces résultats par le biais d'interviews et de questionnaires proposés aux élèves avant et après l'enseignement du cours de génétique via l'utilisation d'un dispositif ordinaire.

En effet, Duncan et Reiser ne montrent pas uniquement dans leur étude que les niveaux biologiques intervenant en génétique posent problème. D'après eux, les élèves estiment que chaque niveau existe indépendamment des autres et chacun d'eux, contient aussi du matériel biologique différencié et bien défini. Par contre, ce qui manque aux élèves lorsqu'ils abordent l'apprentissage de la génétique en général et l'information génétique en particulier, ce sont les articulations entre la fonction et la nature des objets biologiques. Plus précisément, l'articulation nécessaire aux élèves dans la compréhension de l'information génétique, est le lien entre le niveau information et les niveaux physiques :

Duncan et Reiser (2007) démontrent que les liens entre niveau physique et information sont au cœur des difficultés des élèves lors de l'apprentissage de la génétique moléculaire.

En effet, on a affaire à un système hiérarchiquement hybride comportant des niveaux ontologiques différents : physique et information. Ils montrent également que les élèves doivent passer de l'idée selon laquelle les gènes sont des particules passives à l'idée selon laquelle ils sont des séquences qui produisent des instructions. Enfin, ils émettent l'affirmation selon laquelle les dispositifs d'enseignement appropriés pourraient aider les élèves à comprendre que les gènes sont de l'information, mais ils n'impliqueront pas la compréhension du contenu et du rôle de cette information dans la synthèse des protéines.

Ces difficultés du domaine de la génétique qui, sont déclinées à différents niveaux biologiques et en l'absence des liaisons entre ces différents niveaux lors de l'enseignement et de l'apprentissage des élèves, se retrouvent à tous les niveaux scolaires.

Cette difficulté existe aussi chez les étudiants en biologie comme le signale le rapport du jury 2008, qui stipule que les candidats ne font pas la différence entre allèle, gène et chromosomes. Cette notion encore difficile après plusieurs années de spécialisation en biologie, présente des difficultés en provenance des différents niveaux impliqués. D'où la nécessité d'un dispositif d'enseignement capable de résoudre cette difficulté en vue de faire évoluer les conceptions des apprenants et construire le savoir scientifique en génétique.

2.1.3. Difficultés liées au caractère abstrait des niveaux biologiques mis en jeu et renforcés par l'utilisation d'un dispositif d'enseignement inapproprié.

Boersma, Knippels et Waarlo (2005) reviennent également sur les difficultés liées aux différents niveaux intervenant en génétique. Ces chercheurs visent à déterminer les principaux problèmes des élèves et des enseignants lors de l'enseignement du cours de génétique dans le secondaire aux Pays-Bas. Ils relèvent eux aussi les difficultés évoquées par les auteurs précédents et qui sont pour la plupart du temps renforcé par les dispositifs d'enseignement inappropriés :

- i) la terminologie et le vocabulaire spécifiques du domaine
- ii) le contenu mathématique des tâches sur le croisement génétique,
- iii) les processus cytologiques,
- iv) la nature complexe de la génétique de Mendel : le problème micro-macro (Boetsma, Knippels & Waarlo, 2005)

A ces quatre difficultés, ces chercheurs en ajoutent une cinquième : celle du caractère abstrait de l'unité d'enseignement étudié nécessitant un dispositif d'enseignement efficace.

Des interviews, accompagnées de débats menées à partir de questions ouvertes, de 22 élèves âgés entre 16 et 17ans confortent cette idée. Les questions portaient sur le passage de l'information génétique d'une génération à une autre, les effets des mutations sur la descendance et les formes différentes de cellules dans le corps malgré le fait qu'elle possède toutes des chromosomes. Sur la base des réponses émises par ces élèves, Knippels a réussi à dégager que, ce qui bloque les élèves dans l'apprentissage de la génétique, c'est notamment le fait que l'enseignement de cette discipline ne soit pas relié à des problèmes du quotidien, personnels ou de groupe sociétal dans les programmes en Hollande. Cette situation augmente la nature abstraite de cette matière, engendre ainsi une démotivation des élèves néerlandais au

cours de leur apprentissage. Pour Knippels, il est indispensable d'utiliser des dispositifs adéquats pour conditionner les élèves à une construction du savoir scientifique de génétique.

En l'absence d'un tel dispositif d'enseignement, leur compréhension de la génétique est alors très confuse et limitée, ce qui entraîne des difficultés d'apprentissage dans l'étude des phénomènes de division cellulaire et de transmission de l'information génétique d'une part et dans l'étude de la structure de l'ADN d'autre part.

2.1.4. Difficultés liées à la spécificité de la structure de l'ADN et renforcée par l'utilisation des dispositifs d'enseignement inadéquats

La structure de l'ADN est représentée par plusieurs types de figures, chacune d'entre elle étant disponible pour l'enseignement. Une étude a été menée aux Etats-Unis par Pfriedrichsen et Stone (2004) en vue de modéliser les conceptions des élèves en génétique moléculaire. Le but était de faire des propositions pour améliorer la compréhension de ces notions lors de leur enseignement. Pfriedrichsen a instruit 300 élèves de lycée de dessiner une molécule d'ADN. Elle a par la suite interviewé 14 élèves volontaires pour qu'ils expliquent et commentent 12 dessins sélectionnés au préalable et représentant l'ensemble des productions correspondants aux quatre catégories prédéfinies au préalable (Pfriedrichsen et Stone, 2004).

Parmi les 12 productions sélectionnées, un élève dessine la molécule d'ADN comme une chaîne de chromosomes, huit élèves dessinent une simple échelle sans indication des éléments qui la constituent, trois élèves ne dessinent rien, Aucun élève ne donne la structure de la molécule d'ADN avec bases, phosphates et sucres.

La plupart des élèves interviewés expliquent leurs difficultés à faire la différence entre cellules, gène, allèle, ADN et chromosomes par des illustrations figurant dans les manuels scolaires. Lorsqu'ils observent simultanément ces illustrations, ils ne comprennent pas les rapports de taille entre les différents objets. Très souvent, les échelles ne sont pas respectées : l'illustration de la structure de l'ADN (représentation issue d'une photo d'une structure réalisée avec bâtons et boules ou logiciel de simulation) est bien plus grosse que l'illustration (schéma, dessin ou photo) de la cellule placée à côté. Or comment une grosse molécule peut-elle être contenue à l'intérieur du noyau d'une cellule plus petite ? Ces principales difficultés sont néanmoins liées aux dispositifs d'enseignement erronés, aux références minimales attribuées aux échelles ou à la taille des objets dans les différents manuels scolaires. Les grossissements générés sont rarement précisés par des échelles d'agrandissement claires, ce qui complique la compréhension des relations métriques entre objets biologiques. Dorénavant,

nous pouvons remarquer que, pour les illustrations présentes dans ce travail, peu de dispositifs d'enseignement mettent l'accent sur les représentations de la molécule d'ADN ; peu d'échelles d'agrandissement ou de grossissement sont indiquées, car elles ne sont pas indiquées dans les sources. Il est à remarquer que l'échelle n'est jamais précisée sur les schémas, elle l'est uniquement sur les photos issues de microscopes électroniques et optiques dans une certaine mesure.

La structure de l'information génétique sous forme d'ADN, en dehors de son positionnement dans l'organisation biologique, pose en elle-même un véritable problème. Mais L'ADN n'est pas seulement difficile à comprendre dans sa structure, il l'est également dans sa fonction.

Cette étude conduit à la conclusion qu'il existe lors de l'enseignement « un cloisonnement (...) entre les propriétés physiques et biologiques de l'ADN » (Gwenda-Ella Chapel, 2006, p 48). Ce cloisonnement bloque la compréhension des élèves sur la molécule d'ADN. La connaissance de la fonction (propriété biologique de la molécule) et de la structure (propriété physique) sont toutes deux nécessaires et importantes pour comprendre cette notion, ainsi que son articulation avec les autres objets du monde biologique. Les enseignants éprouvent très souvent des difficultés à utiliser des dispositifs d'enseignement adéquats pour rendre ces notions de génétique accessibles aux apprenants.

2.1.5. Description des insuffisances des dispositifs dans l'enseignement de la génétique

Dans les différentes recherches concernant les conceptions en génétique, le constat fait à l'unanimité stipule que, si les gens utilisent constamment les termes chromosomes, gènes ou encore l'ADN, la conception qu'ont les individus des différents concepts est relativement pauvre et des conceptions peinent à évoluer à cause des dispositifs d'enseignement obsolètes

Les travaux de Richards (1996c) montrent que la connaissance de sens commun est caractérisée premièrement par l'usage des concepts de génétique (chromosomes, ADN, gène, allèle, héréditaire, etc...) dans les discours, sans une connaissance réelle du matériel génétique comme une substance jouant un rôle spécifique et important dans l'hérédité. L'idée de génotype et de son lien étroit et inclusif est absente, à cause de l'inadéquation des dispositifs d'enseignement en classe de génétique. Deuxièmement, il existe une certaine confusion entre les notions de récessivité et de dominance. Le concept de chromosomes entant que structure en paires n'est pas clairement compris par les élèves, car mal énoncé dans les dispositifs d'enseignement utilisés. Troisièmement, la génétique fait face à une incompréhension ou une

compréhension incomplète de la notion de risque. “*It is hard to believe that chance has no memory*” (Wexler, 1979, in Henderson & Maguire, 2000, p. 294). De ces travaux, il faut souligner le fait que l’idée de hasard n’est pas comprise, car les dispositifs d’enseignement en classe de génétique présentent très souvent de manière superflue l’idée de hasard dans le calcul des probabilités lors des croisements.

Lewis et Wood-Robinson (2000) dans leurs travaux proposent une revue de littérature sur l’incompréhension des adultes en génétique. Et l’une des raisons de cette incompréhension est l’inadéquation des dispositifs d’enseignement utilisés en situation de classe de génétique (Wood-Robinson, 1994 ; Turney, 1995, Richard & Ponder, 1996). Ces travaux de recherche mettent en évidence plusieurs conceptions erronées, comme par exemple la confusion entre caractères héréditaires et caractères acquis, la répartition inégale des contributions de chaque parent dans la transmission génétique. À titre illustratif, il est commun de penser que les garçons héritent des caractères du père et les filles des caractères de la mère.

Des travaux de Richards (1996b, 1997) sur lesquels se sont appuyés ceux de Henderson & Maguire (2000), il ressort que les non-spécialistes pensent que les deux parents apportent une contribution égale dans la formation de l’œuf foetal (voir de l’enfant). Ces non-spécialistes de la génétique n’ont cependant pas une conception ou représentation précise de ce à quoi renvoie réellement la substance génétique. Ils n’ont pas une conception précise sur la manière dont les caractères passent d’une génération à une autre. Dans ces travaux, il met en évidence le fait que les individus semblent ne pas avoir conscience de l’existence d’une entité matérielle, réelle, qui est transmise d’une génération à une autre. Très souvent les dispositifs d’enseignement utilisés en classe de génétique, bien qu’existants, n’aident pas à faire évoluer ces conceptions.

2.1.6. Conclusion sur les travaux liés à la complexité des dispositifs d’enseignement rendant la partie génétique difficile

Ces différentes recherches ont permis de mettre en relief les multiples difficultés des élèves dans le domaine de la génétique en général et concernant l’information génétique et la transmission des caractères héréditaires en particulier. Nous retiendrons de l’ensemble de ces études internationales que les difficultés des élèves sont en partie liées, à l’absence des dispositifs d’enseignement appropriés pour résorber les problèmes de conceptions des élèves en génétique. Elles décrivent également de la confusion entre les différents niveaux biologiques intervenant en génétique et maintenant les élèves dans leurs conceptions initiales. Ils continuent malgré des enseignements, à partir de ces dispositifs, à présenter des difficultés

à lier les différents niveaux biologiques les uns aux autres. Ces élèves peinent à établir le lien entre les entités physiques et les entités symboliques, et à comprendre leur rôle dans la synthèse des protéines. Ce problème est causé, selon ces différents chercheurs, par l'impossibilité de manipuler directement les différents objets impliqués dans le raisonnement ; ceci implique le degré d'abstraction à mettre en œuvre dans les différents dispositifs d'enseignement en vue de les visualiser. En effet, l'ADN, les chromosomes, les cellules sont des objets invisibles à l'œil nu. Ils nécessitent l'utilisation d'un outil supplémentaire dans les dispositifs d'enseignement. Les dispositifs d'enseignement en génétique doivent prendre en compte le niveau d'abstraction nécessaire pour une meilleure compréhension de ces différents objets biologiques intervenant dans la transmission de l'information génétique.

Des études, comme celles de Ducan et Reiser (2007) aux USA, de Zion et al. (2006) en Israël ou de Morimoto (2002) au Japon ont proposé un certain nombre de solutions à inclure dans les dispositifs d'enseignement en vue d'aider les apprenants lors du processus enseignement/apprentissage. Les situations proposées font principalement intervenir un certain nombre de situations de travaux pratiques dans lesquelles s'opèrent des variations du matériel biologique à expérimenter en vue de changer les expérimentations proposées de manière habituelle.

2.2. Revue des travaux sur les conceptions en génétique et sur l'hérédité

Nous présenterons finalement un certain nombre de travaux qui décrivent le résultat des modèles des connaissances précoces et des informations en provenance de l'enseignement ou des médias. En d'autres termes, nous présenterons les travaux décrivant les conceptions ou connaissances précoces des élèves en génétique et en génie génétique. Les conceptions ou connaissances précoces des adultes conditionneront leur discours. Ce discours interagira avec les modèles de ceux avec qui ils discutent des sujets de génétique et de génie génétique. Ainsi, les modèles des connaissances précoces permettent de connaître des conceptions ou connaissances précoces des élèves. Ils sont en même temps des sources d'informations qui vont à leur tour maintenir une interaction tout en contraignant l'acquisition des connaissances scientifiques des autres non-spécialistes.

2.2.1. Intérêts des travaux portant sur les conceptions erronées en génétique

Certains changements conceptuels sont spécialement importants pour l'élaboration par les plus jeunes d'une théorie autonome et cohérente de la biologie en général et de la génétique en particulier. Ils sont transmis par le biais d'un dispositif d'enseignement de la génétique (Siegal et Peterson, 1999). Nous pouvons identifier :

- ❖ la construction de la catégorie biologique *des êtres vivants* (après l'âge de 6 ans) partant des deux catégories d'abord distinctes des *animaux* et des *plantes* ;
- ❖ la précision du concept de non-vivant (distinction entre inanimé (poupée), mort biologique (chien mort), irréel (Bugs Bunny) permettant d'arriver à la construction de la catégorie des êtres vivants citée plus haut ;
- ❖ la construction d'une conception du bébé : passage de la croyance en un processus intentionnel de la part du papa et de la maman qui vont l'acheter dans un magasin ou les enfants sont fabriqués et introduit dans le ventre de la maman, à la reconnaissance que les nouveaux bébés tirent leur origine d'une relation intentionnelle, puisque ceux-ci grandissent indépendamment au travers de la reproduction des cellules (Carey, 1985) ;
- ❖ la compréhension des caractères physiques qui sont transmis par hérédité biologique contre ceux transmis par des influences culturelles (par un parent adoptif ou non-biologique par exemple).

Il est à noter que les travaux sur la compréhension de la génétique se basent très souvent sur l'étude du phénomène de la ressemblance aux parents ; rechercher chez les enfants une causalité biologique ou un mécanisme explicatif particulier en vue d'expliquer ce phénomène demeure l'idée sous-jacente.

Le premier volet de cette question s'intéresse à la connaissance par les plus jeunes du phénomène de ressemblance aux parents. En d'autres termes, l'existence de ce phénomène biologique est-il connu dès le plus jeune âge ? Certaines recherches nous ont conduits à constater d'une part, que les enfants, dès leurs plus jeunes âges, reconnaissent en effet que les chats ont tendance à avoir les bébés chats et pas les bébés chiens (variation entre différents espèces) et que les parents noirs ont tendances à donner les bébés noirs (variation à l'intérieur d'une même espèce).

Le deuxième volet de la question consiste à se demander si les plus jeunes conçoivent le phénomène de ressemblance comme spécifiquement biologique. En d'autres termes, les plus jeunes expliquent-ils le phénomène de ressemblance familiale en se référant à une causalité biologique et non psychologique, encore moins mécanique ? Il n'est pas nécessaire pour les enfants de faire appel aux mécanismes génétique en vue d'expliquer la ressemblance aux parents afin d'en déduire qu'ils expliquent le phénomène génétique par un mécanisme biologique (Solomon, Johnson, Zaitchik & Carey, 1996). Il suffit en effet, de démontrer que ces enfants font appel à un mécanisme biologique, même s'il s'avère très simple et différent de l'apprentissage et ou du mécanisme lié à l'expérience de vie. Il est

indispensable de démontrer que les plus jeunes assimilent la ressemblance à la famille et à la naissance. Et cela spécifiquement pour des caractères physiques héréditaires, mais cela ne concerne ni les caractères acquis, ni les croyances et la manière de penser. Les plus jeunes doivent ainsi reconnaître l'esprit et le corps comme des entités ontologiques bien distinctes (Inagaki & Hatano, 1999).

Certains auteurs n'hésitent pas à affirmer que les jeunes enfants possèdent une compréhension biologique précoce de l'hérédité des propriétés (Springer & Keil, 1989 ; Gelman & Wellman, 1991 ; Springer, 1992 ; Inagaki, 1997 ; Wellman, Hickling & Schult, 1997). D'autres par contre considèrent que ce n'est qu'à l'âge de 9 ans que les enfants commencent à faire la différence entre les influences culturelles et biologiques à l'intérieur d'une théorie de base de la génétique (Carey, 1985 ; Solomon, Johnson, Zaitchik & Carey, 1996), d'où l'utilisation d'un dispositif en situation de classe prenant en compte la gestion de ces différentes conceptions. Il est à souligner que les auteurs des deux principales tendances se basent très souvent sur des faits expérimentaux similaires, bien qu'ils les interprètent différemment et même de manière opposée. Le plus souvent, les auteurs épousent l'idée selon laquelle les connaissances précoces en hérédité des plus jeunes sont implicites et celles-ci ne permettent pas de mettre en évidence leurs connaissances face aux questions ouvertes demandant d'expliquer les phénomènes biologiques de la génétique. Cependant, selon ces différents auteurs, il serait injustifié de tirer des conclusions sur la non-existence des différentes connaissances en hérédité et concernant les contours de la ressemblance chez les êtres vivants et autour d'une même espèce : soulignons que les jeunes enfants auraient des connaissances, mais ne seraient pas à même de les exprimer de manière explicite. Dès ce moment, les travaux dans ce domaine de recherche utilisent très souvent un paradigme adapté afin de tenter de démontrer le fait que les jeunes enfants relient dans le cadre des traits physiques héréditaires, la ressemblance familiale à la naissance au sein de la famille, mais pas pour les croyances ou d'autres caractères acquis au cours de la vie (Springer & Keil, 1989). Ces auteurs décrivent dans leurs travaux la situation des parents qui possèdent une caractéristique anormale, en illustrant ces caractéristiques par des images, Il ressort des réponses de certains élèves qu'ils les considèrent comme des animaux. Les auteurs illustrent le fait que les parents peuvent être nés avec ces caractéristiques anormales. Dans ces travaux, il a été demandé aux jeunes âgés de 4 à 7 ans, si le bébé possèdera ce caractère physique normal ou anormal comme ses parents. C'est donc un paradigme à deux alternatives qui fut utilisés. Les caractéristiques anormales sont 1) acquises ou innées ; 2) externes ou internes ; et 3) fonctionnelles ou non-fonctionnelles. Les résultats de ces travaux montrent que dans la

dimension fonctionnelles/non-fonctionnelles les plus jeunes enfants ont tendances à juger l'attribution d'un caractère en fonction de cette dimension plutôt que de la dimension acquise/inné. La dimension acquise/inné explique mieux les jugements avec l'âge. Les adultes (groupe contrôle) jugent de l'attribution des caractères en fonction de sa dimension acquise/inné uniquement. Springer & Keil (1989) concluent en affirmant que les jeunes enfants ont déjà une théorie de la biologie, mais qu'elle est moins proche de la théorie génétique que de la théorie lamarckienne de l'hérédité (les traits hérités des ascendants sont ceux qui sont fonctionnels pour l'espèce).

Les travaux de Springer (1995) se sont focalisés sur l'utilisation des dispositifs d'enseignement susceptibles de favoriser la comparaison des réponses d'enfants qui savent que les bébés grandissent dans le ventre de leur mère avec des enfants qui ne le savent pas. Il leur a été montré l'image d'une femme avec 2 enfants : l'un qui ressemble plus visiblement à la femme, mais qui est décrit comme appartenant à une autre famille. L'autre qui lui ressemble moins, mais qui est décrit comme son enfant. Il a été demandé aux enfants si chaque enfant partage ou non avec la femme une propriété transitoire observable (éraflures) et une propriété physique non-visible stable (os gris) (=>paradigme de choix forcé à 2 alternatives). L'idée sous-jacente est que la connaissance du lieu de gestation qui est une connaissance factuelle simple est une étape importante pour la construction d'une théorie de l'hérédité. Les enfants qui savent que les bébés grandissent dans le ventre de leur mère biologique pourraient, à partir de cette information, développer une théorie de la génétique leur permettant de donner du sens à d'autres aspects de la parenté, comme l'hérédité. Les théories pourraient se former par raisonnement inductif à partir d'un certain nombre de connaissances factuelles (Prémisse 1 : les bébés grandissent dans le ventre de leur mère biologique avant la naissance ; Prémisse 2: la proximité entre 2 individus facilite le transfert de caractères stables entre eux; Conclusion: les bébés partagent plus de caractères physiques stables avec leur mère qu'avec tout autre adulte).

Les résultats montrent que les enfants informés dès 7 à 8 ans s'attendent à ce que les enfants partagent plus de caractères physiques non-visibles stables avec leur mère qu'avec les autres femmes non-apparentées. Les enfants d'âge préscolaires peuvent donc posséder au préalable une théorie de la biologie génétique, car la connaissance du lieu de gestation est nécessairement un savoir utile à la construction de cette théorie (Williams & Affleck, 1999). Dans ces travaux, ils proposent une intervention basée sur un certain nombre de critères, en vue d'amener les jeunes enfants pas encore scolarisés à construire une théorie en biologie génétique. Cette intervention concerne les enfants qui ignorent le lieu de

gestation des bébés afin de les mener à la conclusion attendue par Springer. Mais, il faudrait souligner que cette intervention ne conduit pas à l'évolution des conceptions des jeunes enfants en hérédité.

Les travaux de Johnson & Solomon (1997) prônant l'utilisation d'un dispositif adéquat dans l'enseignement de la génétique, présentent à l'enfant des images d'un père et d'une mère (parents) qui diffèrent sur un aspect (à l'instar de la couleur de la peau). On demande à l'enfant de choisir parmi un ensemble d'images de bébés (2 ou 4 bébés) celui qui appartient à ces parents (1 bébé ressemble plus au père, 1 plus à la maman et 1 est intermédiaires) (paradigme de choix forcé à 2 ou 3 alternatives). Dans l'expérience présentant 3 bébés, c'est le bébé intermédiaire qui est le plus choisi. Parmi les autres bébés choisis, c'est le bébé qui ressemble plus à la mère qui est le plus choisi par les enfants informés du lieu de gestation (mais pas par les autres). De même, dans la variante 2 bébés, le bébé ressemblant plus à la mère est choisi plus souvent par les enfants informés dès 5-6 ans que celui qui ressemble plus au père. Il y a donc un biais en faveur de la mère, qui montre le début de la construction d'une théorie de la biologie génétique (Johnson & Solomon, 1997).

Les travaux de Solomon, Carey, Johnson & Zaitchik, (1996) reposent sur la comparaison des familles adoptives et biologiques. Ces travaux consistent à raconter aux enfants dont l'âge varie entre 5 et 7ans, des histoires d'un enfant né dans une famille biologique, puis grandi dans une famille adoptive. Il est demandé aux enfants participant à l'expérience, si l'enfant aura les caractères A comme le parent Y, ou sous forme B comme le parent X. C'est l'utilisation d'une forme de paradigme de choix forcé à deux alternatives. Dans ces travaux, il est demandé aux enfants d'expliquer leur choix. Cinq types de caractères sont proposés aux enfants. 1) traits physiques ; 2) tempérament ; 3) croyance ; 4) compétence-dons ; 5) préférence. Obtenir un modèle de réponses différencié entre les croyances et les traits physique, passera par le fait de parler de compréhension biologique génétique de la ressemblance familiale, étant donné l'examen des autres types de caractères à titre plus exploratoire (Solomon, Carey, Johnson & Zaitchik, 1996). Ils utilisent par exemple comme items parmi les traits physiques : la couleur des yeux (vert/brun/bleu), la forme du nez (crochu/en trompette), la taille corporelle (grand/petit), ainsi que l'emplacement du foie (gauche/droite). Les Tempéraments introduits sont le fait d'être Timide / sociable (aimer rencontrer de nouvelles personnes), ou encore le fait de rire beaucoup/pleurer beaucoup (ou se mettre en colère). Les croyances introduites sont le fait de croire que les lions ont 32/36 dents. Les dons inclus par exemple : Être plus doué (meilleur) pour le football que pour le

handball/Être plus doué (meilleur) pour le handball que pour le football ou encore Être plus doué (meilleur) pour les langues que pour les mathématiques/ Être plus doué (meilleur) pour les mathématiques que pour les langues. En définitive, la préférence inclue les faits de : Aimer les chiens plus que les singes/Aimer les singes plus que les chiens ou encore Aimer plus la viande de bœuf que celle du poulet/Aimer plus la viande de poulet que celle du bœuf.

Les résultats obtenus dans ces travaux concluent que pour la majorité des enfants dont l'âge varie entre 5 et 6ans, les traits physiques au même titre que les croyances sont déterminées par l'environnement. C'est justement vers 7ans, que les plus jeunes commencent à associer les croyances aux parents adoptifs et les caractères physiques aux parents biologiques. Les travaux de Solomon, Carey, Johnson et Zaitchik (1996) montrent que ce n'est qu'à partir de 7ans que les plus éveillés parmi les enfants commencent déjà à faire la différence entre les influences biologiques et culturelles (Solomon, Carey, Johnson & Zaitchik, 1996). Selon ces chercheurs et en opposition aux travaux de Springer, il est judicieux pour l'enseignant en situation de classe de génétique d'utiliser des dispositifs d'enseignement susceptible de déconstruire les conceptions erronées de ces enfants. Pour eux, les enfants d'âges préscolaires compris entre 4 ans et 5ans ne possèdent pas encore une théorie cohérente de la biologie génétique. Ils ne disposent pas de mécanismes spécifiques à la biologie de manière générale et à la génétique de manière spécifique, bien que connaissant certains faits comme la naissance et le lieu de gestation. Les enfants de cet âge sans avoir une quelconque idée des mécanismes sous-jacents permettant d'expliquer l'hérédité, attendent néanmoins une ressemblance familiale. Ils ne possèdent donc pas à cet âge une théorie naïve de la biologie génétique. Ce n'est qu'à partir de 7ans pour les plus précoces, que de tels mécanismes commenceraient à être compris. Mais, il ne s'agit pas là de dire que les enfants de 7ans savent déjà quels sont les processus permettant d'expliquer la transmission héréditaire, mais ils savent néanmoins que de tels processus existent bel et bien. D'où l'intérêt pour l'enseignant d'en tenir compte dans le dispositif d'enseignement. Une véritable théorie de la biologie génétique serait ainsi construite chez les plus précoces seulement à l'âge de 10 ans (Solomon, Carey, Johnson & Zaitchik, 1996). Solomon et al., mettent également le modèle de réponses caractéristique d'un groupe d'enfant de 4 à 5 ans en évidence. Ces enfants attribuent tous les traits (traits physiques et croyances) à la famille biologique. Ces réponses laissent croire que ce groupe aurait acquis la connaissance reliant hérédité et naissance, mais en ne prenant pas en compte l'existence d'un processus proprement génétique, étant donné que les croyances sont également attribuées à la famille biologique, cela signifie qu'il y'a ainsi indifférenciation et surgénéralisation entre les deux types de transmission génétique ou

sociale. Ces enfants n'ont pas encore compris que cette ressemblance se limite juste à certains traits de caractères seulement, bien qu'ils aient déjà commencé à comprendre que la naissance joue un rôle spécifique dans la ressemblance aux parents (Solomon, Carey, Johnson & Zaitchik, 1996). Dans ces mêmes travaux, et comme dans la plupart des recherches de ce paradigme, un groupe d'individus adultes est pris comme groupe contrôle. Ces individus adultes vont traiter de manière différente les croyances et les traits caractères physiques en attribuant les croyances à la famille adoptive et les traits de caractères physiques à la famille biologique. Ils vont jusqu'à démontrer l'existence d'une différenciation entre les deux types de transmission des caractères (innées et acquises). Les individus adultes émettent des jugements identiques et similaires sur les tempéraments, les préférences, les compétences. Dons au même titre que sur les croyances. Ils attribuent ces différentes catégories de traits de caractères acquis à la famille adoptive en les considérant comme liées à une transmission non biologique, en d'autres termes, la transmission de ce type de caractères est donc jugée non-héréditaire par les adultes qui font déjà une nette différence entre ce qui est inné et ce qui est acquis.

2.2.2. Limites et intérêts des travaux issus du paradigme sur la génétique

Les travaux issus de ce paradigme sont caractérisés par un certain nombre de limites.

1er constat/limite : ces travaux se concentrent exclusivement sur les connaissances précoces jusqu'à l'âge de 7 ans, mais reste silencieux sur ce qui se passe dans l'esprit de l'individu après l'âge de 7 ans. Les auteurs de ces travaux reconnaissent que l'accès à d'autres connaissances doit par la suite permettre une avancée vers de nouveaux changements conceptuels ou procéder à enrichir la théorie de la biologie génétique d'après les chercheurs dont les travaux suscitent cette discussion. Il faut souligner qu'une minorité de chercheurs de nos jours procèdent à l'élargissement de leur spectre d'âge. On se pose de nos jours la question de savoir si les conceptions ou connaissances précoces en hérédité peuvent être considérées comme des théories. Notre intérêt manifeste pour les conceptions des élèves de Terminales D en génétique nécessite cependant d'aller plus loin. Toutefois, les différents résultats présentés jusqu'ici restent assez pertinents dans la mesure où ils nous confèrent une boussole à la lumière des connaissances pouvant exister précocement. En nous référant à ces travaux, nous arrivons à évaluer l'évolution entre les connaissances des élèves de Terminale et ceux n'ayant pas abordé la classe de troisième. Notre intérêt dans cette recherche ne se limite pas juste à démontrer l'existence ou non d'un domaine autonome de la pensée. Les résultats obtenus dans les travaux de Solomon, Carey, Johnson et Zaitchik (1996) et même ceux de Johnson & Solomon (1997) ne nous permettent pas de nous positionner sur l'existence d'une véritable théorie de la

biologie génétique, ainsi que sur les conditions de son émergence dans la recherche en didactique et plus particulièrement en ce qui concerne le développement intellectuel de l'enfant. Nous essayerons néanmoins de voir si les conceptions des différents concepts de la génétique et de l'hérédité mises en exergue contiennent une cohérence avérée. Ce qui nous guidera vers une véritable théorie de la génétique, et nous conduira à mieux gérer les conceptions des élèves en génétique ce qui nous aidera au final à les faire évoluer vers un savoir scientifique. Dans cette gestion minutieuse des conceptions en génétique, via une prise en compte didactique de celles-ci, nous serons conduits inévitablement vers l'élaboration des dispositifs d'enseignement propres à l'enseignement de la génétique. Au cas où les conceptions seraient extrêmement fragmentées et se trouveraient à des niveaux différents, l'idée de l'existence d'une théorie de la biologie génétique sera simplement rejetée, ce qui consolidera l'unification des différents concepts testés en génétique et en hérédité.

2ème constat/limite : la méthode utilisée dans les travaux de Solomon, Carey, Johnson et Zaitchik (1996) et même ceux de Johnson & Solomon (1997) semble très limitée, bien qu'elle soit extrêmement simple. Les recherches de ces travaux décrites plus haut reposent sur des tâches simples de choix forcés permettant de mettre en évidence l'évolution des modèles de réponses en fonction de l'âge, cet âge qui est proportionnel à l'accès aux connaissances en hérédité. Les interprétations faites de ces résultats vont pourtant très loin : à résultats identiques, les interprétations diffèrent en fonction des auteurs. La méthode de choix forcés, s'il s'avère qu'elle permet de tester les connaissances des plus jeunes, elle donne néanmoins une place assez considérable à l'interprétation des résultats obtenus dans ces travaux. Dans le cadre de nos travaux de recherche, notre population sera composée des élèves de Terminale D dont l'âge moyen est de 19 ans. Ces élèves contrairement aux plus jeunes utilisés dans les travaux ci-dessus, auront des connaissances explicites que nous chercherons à mettre en évidence. Nous ne reprendrons pas dans ce cas, ce type de paradigme expérimental vise à remédier les difficultés et rendre plus explicites les connaissances chez les plus jeunes.

3ème constat/limite : Les travaux de Solomon, Carey, Johnson et Zaitchik (1996) et même ceux de Johnson & Solomon (1997) considèrent toujours le caractère héréditaire comme porteur de dominance. Dans ce cas de figure, la réponse « juste », celle la plus attendue est sans doute que les caractères physiques des parents doivent toujours se retrouver chez l'enfant biologique (Solomon, Carey, Johnson & Zaitchik, 1996). Si au terme de cette recherche, il a été mis en exergue la différenciation progressive entre transmission des caractères acquis génétiquement (caractères innés) et caractères acquis socialement, elle ne va pas en profondeur pour étudier et rendre plus compréhensif les caractères héréditaires, c'est-à-

dire ceux acquis génétiquement. Dans nos travaux en cours, nous nous attarderons non seulement sur la compréhension de ces caractères génétiques, mais également sur la prise en compte des conceptions des élèves liées à ces caractères héréditaires et par la suite nous élaborons des dispositifs d'enseignement adaptés à l'enseignement de la génétique en vue de faire évoluer plus aisément les conceptions des apprenants. Il est vrai que la question du moment à partir duquel les explications sont génétiques nous intéresse davantage pour la suite de nos travaux.

2.3. Les médias : sources d'information renforçant les conceptions des élèves en génétique

Les sciences de la Vie composées des disciplines de la biologie (18%) ajoutées à l'écologie (12%), représentent le domaine technico-scientifique le plus mentionné dans la presse, les journaux télévisés et les émissions de télévision. (Dimopoulos, Koulaidis, 2003). Cette prédominance de la biologie se retrouve également lorsque l'on fait une observation de dix termes technico-scientifiques les plus utilisés ou du moins les plus fréquemment utilisés dans les journaux grecs : il faut souligner le fait que sur 1867 articles technico-scientifique, les termes les plus présents dans ces différentes revues ou presses sont : cellule (70/1867) et Gène (65/1867). Sur les 10 termes qui apparaissent le plus, cinq appartiennent au domaine des sciences de la vie ou de la biologie : Cellule et Gène, mais aussi Bactérie, Protéine et ADN (les cinq autres termes sont Ozone, Modem, Dioxyde de carbone, Comète et Puce (électronique)). La presse propose constamment plusieurs articles scientifiques en rapport avec la génétique, et qui concernent un certain nombre de problématiques sensibles et important tant pour la population que pour l'enseignement (Dimopoulos & Koulaidis, 2003).

La revue de littérature de Dimopoulos & Koulaidis (2003) met en évidence le fait que la presse serait une source très influente d'information scientifique en rapport avec le domaine de la génétique aussi bien pour les apprenants que pour le grand public. (Elliot & Rosenberg, 1987 ; Glynn, Griffin & McLeod, 1997 ; Clark, Eblacas & Stamm, 2000). Ces informations sont celles qui influencent la formation des idées et attitudes des apprenants vis-à-vis de la problématique scientifique en général et de la génétique en particulier (Lijnse et al., 1990)

Cette problématique accroît le niveau de compréhension du public et des apprenants concernant la science et la génétique (Miller, 2000). Il relève aussi le fait que l'éducation scientifique actuelle ne rend malheureusement pas les élèves capables d'évaluer de manière critique les revus de presse concernant les résultats scientifiques de la génétique.

Une certaine étude passe en revue les analyses quantitatives des médias, et plus précisément ceux des journaux (Ahlheim, Ehmig & Kepplinger, 1991 ; Kraemer, Peter, Ruhrmann & Stoeckle, 1992) concernant la compréhension que le public et les apprenants ont de la génétique (Bauer, Durant & Hansen, 1996)

Bauer, Durant & Hansen (1996) cherchent à mettre en lien les conceptions des apprenants et celles du public mises en exergue par des entretiens avec une douzaine de focus groupe, ainsi que le discours à travers les différents médias (utile pour l'analyse quantitative des contenus par le biais de revus de journaux de Grande-Bretagne) parus en 1992, et concernant le projet de décryptage du génome humain. Le référent ou modèle qui est proposé concernant les conceptions du projet de décryptage du génome humain au Royaume Unis en 1992 s'articule sur deux points essentiels : il s'agit de l'empreinte d'ADN (*DNA fingerprinting*) et des techniques de la génétique (*genetic engineering*). Le thème de l'empreinte de l'ADN est fortement associé à l'identification génétique des individus et celui des techniques génétiques et des manipulations génétique et personnelle. Les ancrages les plus intéressants de ces travaux reposent sur l'embrouille dans l'esprit des apprenants en ce qui concerne les différents désordres bien connus (syndrome de Down ou fibrose kystique). Ils assimilent ce syndrome à une empreinte génétique causés par une malédiction.

Les travaux de Cheveigné et Véron (1996) enquêtent sur la manière dont les élèves du secondaire réceptionnent les programmes de génétiques qui se trouvent dans les manuels scolaires et qui sont proposés par les chaînes de télévision française. Leur recherche s'appuie sur le fait qu'il n'existe pas une manière unique de recevoir les enseignements de génétique proposés par les enseignants et les médias. Il est donc impératif d'adapter les programmes télévisés de science en général et de génétique en particulier au public visé bien plus différentes stratégies méritent d'être adoptées en fonction du niveau des apprenants

Ainsi, il faudrait relever que les médias constitueront sans doute une source particulièrement importante et influente d'informations génétique, même s'il n'existe pas une manière particulière de recevoir des informations. L'interaction entre le média, le locuteur et le récepteur va dorénavant être le facteur modulateur, influençant le message sur les conceptions de l'apprenant/élève qui est considéré ici comme le récepteur. Nous relevons de nos jours, une question importante se pose concernant les nouveaux médias comme internet. L'urgence encore plus grande de pouvoir s'orienter et de juger de la scientificité de l'information génétique rencontrée sur internet rend le développement chez les élèves, un peu plus important. L'information sur internet rend l'élève compétent à être critique et à savoir comment juger de la fiabilité d'une information liée à la génétique. Les nouveaux médias

émergents pourront permettre aux élèves d'apprendre, de construire en fonction de leur besoin et tout au long de leur vie, des connaissances pertinentes et productives en génétique.

2.4. Résultats d'enquête sur les conceptions de génétique

Ils reposent sur les concepts et processus de la génétique, les résultats des travaux dans les conceptions en génie génétique.

2.4.1. Concepts et processus de la génétique

Les travaux de Lewis & Wood-Robinson (2000) présentent les résultats d'une enquête assez vaste, concernant le niveau de compréhension de la génétique et menée sur 482 élèves en fin de scolarisation obligatoire dont l'âge varie entre 14 et 16 ans au Royaume-Unis d'Angleterre. La principale conclusion de ces travaux de recherche stipule que les étudiants comprennent de manière limitée les processus par lesquels l'information génétique est transmise et qu'il existe un manque de connaissances de base concernant les structures impliquées (cellules, chromosomes, gènes). Certains de ces nombreux résultats mis en évidence sont repris ci-dessous.

L'hérédité peut être décrite comme l'interprétation de l'information génétique par l'enfant, telle que reflétée dans ses caractères et comme le transfert de cette information des parents aux enfants. Les processus gouvernant l'hérédité et la génétique sont très complexes et nécessitent des dispositifs d'enseignement appropriés. Or, pour Lewis & Wood-Robinson (2000), la compréhension des mécanismes de l'hérédité et de la génétique nécessite d'avoir une certaine connaissance de :

❖ La nature de l'information génétique

Elle reflète la façon dont cette information est transférée chez un même individu d'une cellule à une autre, ainsi que d'une génération à une autre (des parents aux enfants)

❖ La manière avec laquelle est interprétée l'information génétique :

Les tâches ou épreuves écrites en passations collectives sont proposées aux participants de l'enquête. Elles ciblent particulièrement les deux premiers types de connaissances. Ces connaissances sont la compréhension de la nature de l'information génétique et le transfert de l'information entre cellules et entre générations bien que l'interprétation de l'information génétique soit néanmoins abordée. Le Tableau 1 ci-dessous décrit brièvement un certain nombre d'objectifs visés par les différents types d'exercices ou de tâches proposés. A ces tâches s'ajoutent des discussions, à savoir un groupe de 35 élèves au total qui est composé de trois à quatre participants, réunis pour valider et approfondir les résultats provenant de la

collecte des questionnaires écrits. Les tâches des groupes de discussion consistent à faire une comparaison entre les différents types de cellule.

Tableau 1: compréhension de la nature et du transfert de l'information génétique

Types de tâches	Objectifs
A. Compréhension de la nature de l'information génétique	
Tâche 1 : Ordonner en fonction de la taille	Compréhension de la relation entre les structures (cellule, chromosome, gène, ADN, organisme et noyau)
Tâche 2 : Être vivants	Compréhension de la relation entre les êtres vivants et l'information génétique et entre les chromosomes et l'information génétique
Tâche 3 : Termes biologiques	Compréhension des termes gène, ADN, noyau, chromosome, Allèle et information génétique (y compris localisation et fonction)
B. Compréhension du transfert de l'information entre cellules et entre générations	
Tâche 4 : Cellules	Compréhension du transfert de l'information génétique chez un individu (différents types de cellules d'un même individu contiennent-elles la même information génétique ?)
Tâche 5 : Division cellulaire	Compréhension des processus et des buts de la division Cellulaire
Tâche 6 : Reproduction-transmission de l'information génétique	Compréhension des processus par lesquels l'information génétique est transmise à un nouvel individu.

Les principaux résultats concernant la nature de l'information génétique sont les suivants :

- 73% de participants savent que les gènes sont importants pour la détermination des caractères. les caractères comportementaux, émotionnels ou mentaux sont mentionnés par 5% des participants. Seulement 14% des participants comprennent que les gènes sont importants pour le transfert d'information.

- En ce qui concerne la localisation des gènes, il y a globalement une confusion entre chromosomes et gène et aussi un manque de conscience de la relation entre chromosomes et gène. Seul 11% des réponses à la question "Où se trouvent les gènes ?" localisent de manière explicite les gènes dans les chromosomes. Cette confusion est également mise en évidence dans la tâche d'ordonnance par la taille : 25% des participants considèrent que les gènes sont plus grands que les chromosomes.

- A la question de savoir "Qu'est-ce que l'information génétique", seulement 60%

des participants ont répondu. Les réponses obtenues dans ce questionnaire montrent une confusion importante concernant la signification du terme Information génétique. En prenant en compte $N = 474$, les réponses les plus fréquentes sont les suivantes :

- Information qui est stockée quelque part ($n=79$) : en tant que code (15), non-spécifiée (64).
- Information qui donne des instructions ($n=112$) : pour déterminer les caractères (106), pour le contrôle de la cellule (6).
- Information qui est transmise ($n=48$) : entre les gens (42), entre les cellules (6), entre les gens par le sperme (2).
- Information pouvant être utilisée (aspects sociaux) (40)

Il faudra relever également que la moitié des participants à cette enquête ne semble pas être conscient que l'information génétique se trouvant dans tous les êtres vivants. Ceci pourrait découler d'un problème d'inadéquation au niveau des dispositifs d'enseignement utilisés en situation de classe de génétique.

Les résultats principaux de l'enquête concernant la compréhension du transfert de l'information entre cellules d'une génération à une autre, sont les suivants :

- Globalement, les participants n'ont pas une idée assez claire sur la manière dont est transmise l'information génétique d'une cellule à une autre dans un organisme.

- Une minorité de participants font la différence de manière claire entre les cellules sexuelles et les cellules somatiques ; entre la méiose et la mitose. Il existe dans leur esprit une certaine confusion entre la fertilisation (processus par lequel l'information est transmise de la génération ascendante à la génération descendante) et les mécanismes permettant la fertilisation.

- Seulement un élève sur 20 montre une compréhension assez claire de la transmission de l'information génétique entre cellules à l'intérieur d'un individu, et la distinction génétique entre les cellules somatiques et les cellules sexuelles sont génétiquement différentes.

- Un nombre considérable de participants à cette enquête pensent que les cellules contiennent uniquement l'information génétique dont elles ont besoin pour leur fonctionnement.

- Un (1) participant sur 5 reconnaît que, lors de la méiose, le nombre de chromosomes se divise en deux et que l'information génétique varie. Moins de personnes encore comprennent la signification de la différence entre méiose et mitose et peuvent

localiser de manière correcte la méiose dans les cellules germinales et la mitose dans les cellules somatiques et Il y a néanmoins une certaine conscience des fonctions générales de la méiose et de la mitose.

- En effet : 15% des participants mentionnent que la mitose est importante pour la réparation, le remplacement des cellules et la croissance, alors que la méiose est une préparation au phénomène de reproduction ;

- 8% des participants soulignent que la méiose diminue le nombre de chromosomes, ce qui prépare la fertilisation ; 15% des participants par contre notent que la méiose permet l'augmentation de la variation dans la nouvelle génération.

Concernant le processus de fertilisation, Il y a une certaine connaissance. Les résultats issus de cette connaissance sont les suivants :

- 45% des participants mentionnent qu'il y a le même nombre de chromosomes dans le spermatozoïde et dans l'ovule ; 42% des participants estiment par contre que l'œuf fertilisé contient le double des chromosomes du spermatozoïde ; 12% des participants reconnaissent que la reproduction sexuelle permet d'augmenter le mélange de gènes.

Les résultats principaux en ce qui concerne la manière dont l'information est interprétée font apparaître que les participants n'ont aucune idée de la source de la variation, bien que conscients de celle-ci (génétique ou environnementale). 3% des répondants seulement reconnaissent qu'il existe des formes différentes d'un même gène. La plupart des participants semblent également ignorants de la manière dont les gènes déterminent les caractères et aussi du processus par lequel les gènes s'expriment dans le phénotype. Lewis et Wood-Robinson (2000) dans leurs travaux de recherche concluent que les connaissances et la compréhension des élèves sont peu sûres, instables, et très souvent influencées par le contexte et les dispositifs d'enseignement utilisés en situation de classe de génétique par l'enseignant. C'est ce qui expliquerait en partie les réponses parfois contradictoires rendant les explications plus fragmentées, *ad-hoc*, que cohérentes.

2.4.2. Les résultats de la mise en évidence de modèles de conceptions en génétique

Les travaux de Lewis & Kattmann (2004) se sont basés sur l'objet de comparaison des conceptions avant et après une exposition à des informations ou à un enseignement concernant la génétique. Lewis et Kattmann dans leurs travaux de recherche évaluent les conceptions ou représentations d'une dizaine d'étudiants allemands concernant la génétique, par le biais d'entretiens très approfondis, face à face, d'une durée individuelle de 90 minutes et orienté par un problème (*problem-oriented interview*). Sur les dix étudiants interviewés, la

première moitié dont l'âge varie entre 18 et 19 ans et a reçu des enseignements formels de génétique sur l'introduction à la génétique moléculaire et à la génétique mendélienne par le biais d'un dispositif d'enseignement correspondant. La seconde moitié par contre dont l'âge oscille entre 15 et 17 ans n'a pas reçu d'enseignement formel de génétique.

Les entretiens dans ces travaux avaient pour objectif de mettre en évidence les conceptions des élèves sur les différents concepts génétiques tels que chromosomes, cellules, noyau cellulaire, gène, génome, caractère, génotype, phénotype, maladie héréditaire, anomalie chromosomique, l'eugénisme et le poids génétique (*genetic load*), par le biais d'une analyse de contenu qualitative (Lewis & Kattmann, 2004). Lewis et Kattmann s'appuient sur le principe selon lequel les conceptions des élèves sont organisées de manière théorique comme des fragments. Ils tentent dans leurs travaux de mettre en évidence un certain nombre de modèles mentaux sous-jacents aux différentes conceptions retrouvées en hérédité et en génétique. Les différents résultats de ces chercheurs identifient plusieurs conceptions partagées.

Ces conceptions mises en évidence sur un échantillon de dix étudiants allemands de biologie sont mises en relation à l'aide des résultats d'une enquête conduite en Grande-Bretagne (Lewis & Kattmann, 2004). Selon ces auteurs chercheurs, il y'a cohérence entre ces deux principaux ensembles de résultats au niveau de :

- La croyance selon laquelle les gènes sont des particules très petites qui contiennent une caractéristique ou un trait de caractère physique en miniature. Cette croyance est identifiée dans les différents entretiens de Kattmann ;
- La croyance selon laquelle l'hérédité serait le transfert de particules depositaires des traits des deux parents. Dans cette croyance environ 10% des élèves croient au fait que l'information génétique ne serait pas copiée, mais plutôt partagée.

Le modèle de compréhension des élèves interrogés dans le cadre de ces travaux pourrait avoir pour origine l'inadéquation entre le dispositif d'enseignement et le savoir en génétique. Une autre origine serait aussi l'héritage de biens : il y'aurait ainsi convergence entre hérédité et héritage de biens. Il faudrait que cette compréhension sur l'hérédité soit absolument dépassée par le biais des dispositifs d'enseignement adapté à son type de savoir de manière à ce que les apprenants accèdent aisément à une compréhension scientifique. Il est vrai ce n'est pas évident que ceci arrive ainsi automatiquement, même lorsqu'il y'a eu enseignement de la génétique, surtout quand cet enseignement s'est fait par le biais d'un dispositif d'enseignement inapproprié. Les apprenants tentent chaque fois de faire sens de l'enseignement reçu dans le cadre de la compréhension de sens commun. Ceci explique, dans

un contexte particulier, que les réponses émises se situent dans un modèle cohérent et logique, bien que dans d'autres contextes, on assiste à des conflits entre les conceptions scientifiques et de sens commun, bien que cela soit scientifiquement incorrect, ce qui a pour conséquence un certain nombre d'incohérence et de confusions.

Dans les travaux de Lewis & Kattman (2004), on peut noter que le principal problème de compréhension de sens commun, est l'inadéquation des dispositifs d'enseignement qui conduit à l'idée que le gène est une particule très infime portant une caractéristique ou un trait de caractère physique. Cette conception pourrait constituer au fond un grand obstacle à l'acquisition du savoir scientifique. Cette idée a pour Lewis & Kattmann des conséquences négatives à savoir :

- Elle valorise l'idée selon laquelle génotype et phénotype agissent au même niveau, favorisant la confusion entre les différentes structures et rendant assez difficile la localisation des gènes ;

- Elle renforce l'inclinaison des apprenants à se focaliser non pas sur le génotype qui est abstrait, mais sur le phénotype, qui peut facilement être visualisé. Cet état de chose peut conduire à la vision naïve selon laquelle génotype et phénotype sont le miroir l'un de l'autre. Ces conceptions semblent très implicites lorsque les élèves font savoir que l'information génétique d'une cellule est étroitement liée à ses fonctions de manière très spécifique ;

- En définitive, cette idée renforce l'absence de précision dans l'utilisation d'un vocabulaire approprié en génétique (chromosome, information génétique, gène, génome, génotype sont souvent utilisés de manière interchangeable). Cette idée a des implications sur la compréhension de l'utilisation courante de la métaphore dans le vocabulaire génétique.

Les résultats de ces travaux renforcent l'idée de l'inadéquation des dispositifs d'enseignement en situation de classe de génétique.

Les travaux de Venville & Tregust (1998) se focalisent sur l'examen de la compréhension que les élèves de 14 à 15 ans ont du concept de gène avant et après un cours de génétique à partir d'un dispositif d'enseignement classique. Dans leurs travaux, ils proposent une revue de littérature qui montre qu'avant l'enseignement du cours de génétique, les élèves ont un certain nombre de conceptions sur l'hérédité, car ils le considèrent comme un processus de transmission des traits de caractère phénotypiques d'une génération à l'autre en l'absence d'une compréhension plus approfondie (Deadman & Kelly, 1978). Erickson, Hobbs & Kargbo (1980) ainsi que Clough & Wood-Robinson (1985) dans leurs différents travaux faits séparément, démontrent qu'un nombre assez important d'élèves du premier cycle

secondaire estiment que des caractéristiques acquises à l'instar de la perte d'un doigt, une tache de brûlure sur la peau, la perte d'un membre ou organe peuvent dans certaines circonstances, être transmises aux enfants.

Les travaux de Hackling & Treagust (1984) quant à eux montrent qu'après un cours de génétique à partir d'un dispositif d'enseignement classique, environ 13% seulement des élèves croient à l'hérédité de caractéristiques acquises. Les travaux de Venville et Treagust (1998) par contre montrent qu'après un cours de génétique à partir d'un dispositif d'enseignement spécifique, les conceptions ontologiques des gènes évoluent de l'idée selon laquelle un gène est une particule passive transmises des parents aux enfants à l'idée selon laquelle un gène est une particule plus active qui contrôle une séquence d'instructions, associée au processus de synthèse des protéines ainsi que les traits de caractère phénotypiques. Dans ces travaux, certains élèves furent interrogés par écrit sur ce qu'ils connaissent de l'ADN, des chromosomes et des gènes avant et après avoir suivi le cours de génétique. De ce questionnaire, il ressort que les élèves apprennent des informations et faits grâce à un enseignement de génétique à partir d'un dispositif d'enseignement adéquat. Nous pouvons mentionner à cet effet, la fréquence de l'apparition de l'idée selon laquelle les chromosomes sont les localisations des gènes. Cette fréquence passe de 5 à 75% après l'enseignement du cours de génétique. Il faut relever que l'idée la plus fréquente chez les élèves avant l'enseignement du cours de génétique est que : les gènes se transmettent d'une génération à l'autre, et par conséquent ils sont considérés comme des particules passives. Cette idée stipule que ce que font les gènes (leurs rôles), est moins important que ce qui leur arrive. Sur le plan ontologique, le gène est initialement considéré comme une particule, plutôt que comme une instruction, un événement ou une caractéristique. Après l'enseignement du cours de génétique à partir d'un dispositif d'enseignement approprié, l'idée que les gènes contrôlent les caractéristiques augmentent au détriment de celle de la transmission des gènes. Ainsi, le gène demeure conçu non pas comme une particule passive, mais plutôt comme une particule plus active, qui agit : c'est le premier changement ontologique.

Un deuxième changement ontologique fait aussi l'objet d'observation. Il conçoit le gène comme une séquence d'instruction et non plus comme une particule : l'idée que les chromosomes ou l'ADN forment le code qui détermine les caractéristiques ou stockent l'information croît considérablement chez les élèves après des cours de génétique via un dispositif d'enseignement adéquat de génétique.

Un troisième changement ontologique apparaît par contre lors des entretiens supplémentaires menés par les chercheurs avec certains élèves dans le cadre de leurs travaux

de recherche. Ici, le gène est alors considéré comme une séquence provoquant une chaîne d'instructions. Ce qui signifie que le lien entre la synthèse des protéines et les gènes et celui entre la synthèse des protéines et le phénotype d'un organisme est assimilé. Dans ce changement ontologique, les élèves comprennent que la production de protéines est le phénomène qui relie le phénotype au code génétique. Sur les 29 élèves enquêtés dans le cadre des travaux de Venville et Treagust en 1998, seuls 2 élèves qui appartiennent au modèle du gène comme séquence productrice d'instructions. Le tableau suivant présente les statistiques des fréquences des modèles du gène dans un ensemble de 29 élèves interviewés par Treagust et Venville après le cours de génétique. L'idée d'information, de code progresse ainsi, bien que la majorité des élèves ont une compréhension limitée sur l'effet de la séquence d'instruction sur le processus de construction des caractéristiques attachées au phénotype.

Tableau 2: Fréquence des différents modèles du Gène dans les travaux de Venville & Treagust (1998)

Types de modèles	Nombre de participants
Aucune conception définie	0
Modèle de Particule passive	2
Modèle de Particule active	20
Modèle de Séquence d'instructions	5
Modèle de Séquence productive d'instructions	2
Total	De 29

Les auteurs Venville et Treagust (1998) considèrent que les modèles initiaux sont cohérents avec les modèles suivants : il n'y aurait donc pas de dissonance entre les modèles, pas d'incohérence, et donc pas de rupture nécessaire pour l'accession à un modèle plus scientifique. Les modèles ayant un plus grand pouvoir explicatif sont les plus évolués et les plus proches des modèles scientifiques. Il faut souligner que plusieurs modèles sont susceptibles de coexister chez un même individu. En fonction du contexte, un même élève pourra utiliser un modèle du gène comme une séquence productive d'instruction et le dans un contexte différent, considérer le gène comme une particule passive.

3. Théories explicatives relatives au sujet

Les théories renvoient aux informations qui nous aident à expliquer convenablement notre travail. Elles font référence à une série ou à un ensemble de concepts constitué de propositions et de définitions présentant une systématisation d'un phénomène quelconque.

Chaque théorie explicative spécifie en effet la corrélation existante entre les différentes explications avec l'intention de prédiction et d'explication du phénomène étudié. Une théorie est une information englobant dans sa définition, une construction abstraite d'intelligence visant à expliquer un ou plusieurs phénomènes rattachés à un sujet spécifique, elle est aussi un « ensemble organisé d'idées, de concepts abstraits prenant pour objet un domaine particulier qu'il décrit et explique » (dictionnaire Robert, 1986, p1064).

Dans cette sous partie de notre travail, il sera question de préciser les théories pédagogiques en vigueur ayant traits à notre thème de recherche et nécessaire pour réaliser les tâches utiles destinées à pallier les difficultés auxquelles font face les élèves et les enseignants dans le processus d'enseignement/apprentissage.

Soulignons qu'enseignement dérive du mot latin « *insignare* » qui signifie « faire connaître ». Il peut se définir comme un ensemble d'influence et d'événement sélectionnés et planifiés en vue de soutenir, activer et initier l'apprentissage chez les tiers (Gagne in Tsafack, 2004). Dans le but de mener à bien un enseignement, la psychologie, par le biais des théories pédagogiques, oriente les enseignants dans l'accomplissement des apprenants (Barnier, 2002). Les théories de l'intervention éducative et du socioconstructivisme nous a permis dans le cadre de ces travaux d'avoir les résultats escomptés. Elles ont aussi contribué au renouvellement des pratiques d'apprentissage et des méthodes d'enseignement utilisées dans le cadre de nos travaux. Rappelons qu'une panoplie des théories pédagogiques a déjà été développée, mais dans le cadre de ce travail, Cependant, nous mettrons un accent particulier sur la théorie de l'intervention éducative et sur la théorie des situations didactiques.

3.1. Théorie de l'intervention éducative

Cette théorie a été utilisée dans le cadre de nos travaux, pour illustrer l'effet maître et la reconnaissance de l'importance de l'action enseignante (gouvernement du Québec, 1998 ; Yves Lenoir et Vanhulle, 2006, Bressoux, 2001).

Cette théorie stipule que l'enseignement renvoie à une application directe des modèles préconstruits théoriquement et dont l'existence tient sur les liens exclusifs, directs et immédiats entre les apprentissages chez les élèves et l'enseignement en situation de classe. En rapport avec nos travaux de recherche, la théorie de l'intervention éducative met en évidence le fait que plusieurs facteurs internes et externes aux élèves, à l'enseignant, à l'école, à la salle de classe et à l'environnement familial ont une très grande influence sur les pratiques enseignantes. Il en est de même des apprentissages réalisés par les élèves à l'intérieur ou hors de la salle de classe (Bru, 2006 ; Lenoir, 2007). Pour les auteurs de cette théorie, « comment

enseigner » renvoie dès lors au fait à focaliser non seulement sur le degré d'application des méthodes et techniques d'enseignement par l'enseignant en situation de classe, mais plus encore sur le rapport social entre l'enseignant et les élèves en situation de classe. Il s'établit ainsi un rapport social d'objectivation entre les élèves, leur enseignant. Ce rapport s'établit à propos des objets d'apprentissages identifiés, qu'il est nécessaire de faire acquérir. Il s'agit de l'ensemble des paroles et des gestes instaurant les interactions au sein du groupe classe, de manière à cerner au premier chef leur principale configuration.

Cerner de près la pratique d'enseignement liée à la prise en compte des conceptions des élèves (enseignement qui tient de rapport social et d'objectivation), nous avons eu recours à la théorie de l'intervention éducative (Lenoir, 1991) plutôt qu'à celle de la relation éducative (Postic, 1986) qui a néanmoins attiré notre attention dans le cadre de nos travaux. Le choix porté sur cette théorie a été inspiré originellement par les travaux de Not (1979, 1984, 1987), découlant d'une grande motivation, en lien direct avec la dimension professionnalisante et sociale de la fonction enseignante.

En rapport avec notre travail sur les conceptions des élèves et l'élaboration de dispositifs d'enseignement, nous avons choisi la théorie d'intervention éducative, premièrement, parce qu'elle a l'avantage d'être centrée sur l'action de l'enseignant, action orientée dans un rapport interactif entre lui et un ou plusieurs sujets apprenants (couturier, 2001, 2005). Deuxièmement, cette théorie a été choisie parce qu'elle souligne un certain nombre de tensions dialectiques tissées entre les différentes composantes du rapport qui impose le recours à des processus médiateurs. Troisièmement, notre choix sur cette théorie repose sur le fait qu'elle prend en compte un certain nombre de composantes créant les interactions entre l'enseignant, les sujets apprenants et le savoir, sans oublier la médiation qui les lient tous, dans un contexte socioculturel et socioéducatif particulier, en les considérant toutes (ces composantes) sans préférence aucune.

Quatrièmement, notre choix s'est porté sur cette théorie, parce qu'elle considère la nécessité d'exprimer de manière systématique la complexité de l'activité d'enseignement, la « multiréférentialité » et la « multidimensionnalité » de l'action de l'enseignant en situation de classe dans ses interactions avec les élèves. Cinquièmement, parce que cette théorie s'inscrit naturellement au sein du travail qu'implique la réalité de la prise en compte du rapport qui s'établit entre les principaux sujets du système éducatif (élèves, enseignants, institutions, parents etc...), entre les interactions et actions (gestes et paroles) dans un

contexte et à l'intérieur des dimensions dites symboliques (dimension relationnelle, affective, sociale, etc...) dans lesquelles elles trouvent leur existence.

La théorie éducative que nous traitons ici est retenue comme paramètre de base en abordant les modèles d'intervention éducative (MIE) (Lenoir, 1991, 2005 ; Spallanzani, Biron, Larosse, Lebrun, Lenoir, Masslter et Roy, 2001). Les conceptions des processus éducationnels adoptés et des finalités, ainsi que leur modalité d'opérationnalisation montrent comment s'actualisent et se conçoivent les principales interactions entre les différentes composantes (enseignant, élèves, institution, parents et savoirs etc...)

Interroger les rapports entre apprenants-savoirs-enseignant d'une part et la place de la modélisation dans la construction d'un raisonnement en génétique d'autre part nécessite qu'on mobilise des théories fondées sur les actions didactiques. Étant donné que cette étude est fondée sur la construction des savoirs en biologie en général et en génétique en particulier et dans le cadre d'un rapport doublement médié faisant appel à la métacognition de l'apprenant immergé dans un environnement numérique et non-numérique de modélisation construit par l'enseignant qui favorise l'apprentissage selon une démarche expérientielle. Nous avons mobilisé la théorie de l'intervention éducative d'Yves Lenoir pour questionner et comprendre le processus de construction du savoir scientifique en génétique à partir d'un dispositif d'enseignement. Ainsi qu'est-ce que l'intervention éducative et quelles sont ses dimensions ?

Quels sont les types de médiation d'une intervention éducative et quels sont les modèles qui en découlent ? Les réponses à ces questions constitueront les principales parties de cette section.

3.1.1. Définition de l'intervention éducative

Les problématiques sur les modalités d'enseignement et d'apprentissage sont au cœur de l'intervention éducative. Pour Lenoir (2009, p.11) « L'intervention éducative est un construit théorique pour analyser les pratiques d'enseignement ». Il rappelle par la suite que le choix de l'expression « intervention éducative » repose sur différents attributs selon les perspectives empiriques, opérationnelles et pragmatiques qui la caractérisent ainsi que le processus de médiation qui y est lié. Dans cette partie, il sera question de proposer une définition de l'intervention éducative (IE) et de présenter ses dimensions ainsi que ses attributs.

➤ **Concept d'intervention éducative : définition, dimensions et attributs**

La définition de l'IE intègre la perspective empirique, opérationnelle et pragmatique liée aux caractéristiques de tout métier relationnel (Lenoir, Larose, Deaudelin, Kalubi et Roy, 2002)

ainsi que la perspective conceptuelle basée sur l'identification des rapports éducatifs comme rapports sociaux (Goldmann, 1966). De ce fait, l'intervention éducative est définie par Lenoir (Lenoir, 2004 ; p. 20) comme étant l'agir d'une activité réfléchie, réflexive et bienveillante dont le but est la mise en place par l'enseignant des conditions adéquates pour favoriser l'apprentissage dans un environnement social précis. Elle « intègre dialectiquement anticipation, pratique et réflexion critique » (Lenoir, 2004, p. 21). En outre, l'IE est constitué d'une phase de planification ou phase créative pour l'identification de la situation problème et la structuration du dispositif, d'une phase d'actualisation en classe ou phase interactive marquée par l'agir en situation, et une phase d'évaluation (phase postactive) Nkeck Bidias (2015). Autour de ces trois phases se greffent dix dimensions à savoir les dimensions historiques, contextuelles, épistémologique, curriculaires, didactiques, psychopédagogiques, médiatrices, organisationnelles, éthiques et morales, et socioaffectives comme l'illustre le tableau suivant

Tableau 3: Les dix dimensions de l'intervention éducative

Perspectives de l'IE	Les dimensions de l'IE	Rapports
Perspective socioéducative liée à l'évolution du système scolaire et aux réalités sociales	Dimensions historiques	Rapport à évolution et aux transformations qui ont marqué la fonction et la pratique enseignante
Dimension contextuelle	Rapport au milieu social, culturel, économique, politique, aux attentes sociales, etc...	
Perspective socioéducative liée au cadre de référence de l'enseignant, un cadre externe	Dimension curriculaire	Rapport aux finalités éducatives Rapport aux finalités institutionnelles
Dimension épistémologique	Rapport au savoir : représentation du statut et la place du savoir ainsi que les modalités d'accès au savoir	
Dimension éthique et morale	Rapport aux principes, aux normes et aux règles qui guident la conduite sociale, à la réflexion critique sur les valeurs sociales qui nuancent les pratiques, à la responsabilité sociale de l'enseignant face aux finalités et à ses élèves.	
Perspective opératoire liée à l'actualisation de ce cadre de référence au sein des pratiques d'enseignement	Dimension didactique	Rapport aux savoirs à enseigner à propos de l'apprentissage, aux processus d'enseignement spécifiques aux différentes matières scolaires
Dimension psychopédagogique	Rapport aux élèves d'ordre relationnel : caractéristiques psychologiques, formules pédagogiques, etc.	
Dimension socioaffective	Rapport à l'identité professionnelle, à la formation antérieure, à la motivation, aux options et visées personnelles	
Dimension organisationnelle	Rapport à la gestion du temps, de l'espace, de la discipline, des routines, des facteurs externes et interne	
Dimension médiatrice	Médiation interne, et externe (situations problèmes, dispositifs de formation, démarches, modalités interactives, évaluation).	

Source : Lenoir et Vanhulle (2006)

Ce tableau démontre clairement que l'intervention éducative est un concept multidimensionnel qui démontrant ainsi la complexité de la fonction enseignante.

➤ Comprendre l'intervention éducative par ses attributs

Dans sa perspective empirique, opérationnelle et pragmatique l'intervention éducative est associée à plusieurs attributs qui permettent de comprendre le processus d'enseignement apprentissage. Nous pouvons avoir entre autres :

- l'IE multidimensionnel : (dimension curriculaire, épistémologique, didactique, psychopédagogique, organisationnelle) et une praxis s'articulant autour d'une

anticipation (des activités précatives), d'une actualisation en classe (activités interactives) et une évaluation de l'actualisation (activités postactives) ;

- l'IE fédérateur de plusieurs approches (épistémologique, sociologique, psychologique, anthropologique, politique économique, axiologique, etc...) ;
- l'IE intégrant les paradigmes de la complexité, du décloisonnement, d'approches interdisciplinaires et circumdisciplinaires ;
- l'IE intégrant de façon cohérente et conjointe l'acte d'enseignement et l'acte d'apprentissage ;
- l'IE intégrant une fonction de médiation pédagogique-didactique ou externe de l'enseignant et une médiation cognitive interne ;
- l'IE comportant un espace transitionnel de médiation pédagogique-didactique dans lequel se rencontrent, à travers des situations et des dispositifs d'enseignement, le processus de prise en compte des conceptions des élèves, et un espace transactionnel de négociation ;
- l'IE intégrant des modèles, des conceptions des finalités et des processus éducationnels adoptés et leurs modalités d'opérationnalisation à travers des modèles d'intervention éducative ;
- l'IE fondé sur un rapport au savoir doublement médié ;
- l'IE comme un travail réfléchi et réflexif de rationalisation et « une action de régulation finalisée menée par un acteur (l'enseignant) dans un cadre socialement normé » (Lenoir, 2009 ; p.16) ;
- l'IE fondé sur l'approche par les compétences en intégrant des savoirs (savoirs disciplinaires, contenus ; connaissances factuelles), des savoirs faire et des savoirs-être.

Ainsi, l'intervention éducative est un concept qui résume l'acte d'enseignement et d'apprentissage dans sa complexité et sa globalité. Il met en relief les dimensions et les paramètres qui sont mobilisés dans la transmission et l'acquisition des savoirs. Lebrun et Lenoir (2005, p.575) considèrent que le processus d'enseignement-apprentissage se résume à « une médiation pédagogique-didactique (relevant de l'intervenant). Celui-ci prend en compte les aspects organisationnels et les perspectives sociales, qui portent sur la médiation cognitive mise en œuvre par des sujets-apprenants dans leur rapport d'objectivation au savoir ». Nous allons donc présenter les médiations comme le moteur de l'apprentissage dans le cadre de l'intervention éducative.

3.1.2. L'intervention éducative : un rapport dialectique entre médiation cognitive et pédagogique-didactique

La construction du savoir est fondée sur un processus d'interactions entre le sujet (apprenant) et le savoir et s'insère dans le cadre d'une médiation où l'enseignant met en place des conditions idéales pour l'apprentissage. Il s'agit d'un rapport doublement médié intégrant une médiation cognitive et une médiation pédagogique-didactique. Mais tout d'abord, que faut-il entendre par « médiation » ? Et quels sont les types de médiation dans le cadre d'une intervention éducative ?

➤ La médiation : une action de régulation conjointe entre les apprenants, des objets de savoir et un enseignant

La construction du savoir est un processus basé sur la mise en place du rapport avec un savoir par un apprenant. Il s'agit d'un processus d'objectivation qui fait appel à un système de médiation entre l'apprenant, l'objet de savoir et l'enseignant (Lenoir, 2009). À cet effet, La médiation implique donc une « interactivité pratique et régulatrice entre des sujets-apprenants, des objets de savoirs prescrits et normés par le curriculum et un intervenant socialement mandaté (l'enseignant), le tout inscrit dans un contexte social spatiotemporellement situé » (Lenoir,2009 ;p.18). Cette vision s'inscrit dans le cadre des travaux de Sensevy et Mercier (2007) qui considèrent l'activité de médiation comme une action didactique conjointe impliquant l'apprenant et l'enseignant dans un contexte de jeu didactique. Pour Sensevy et Mercier (2007,p.14).),

L'action didactique c'est tout d'abord le fait qu'une action didactique est nécessairement conjointe. Il existe certes des moments où quelqu'un enseigne sans que personne n'apprenne rien ; on peut d'autre part clairement apprendre certaines choses sans être enseigné. Mais ce qui caractérise une institution didactique, c'est qu'on y enseigne à des censées apprendre.

De plus, ce concept établit un lien direct entre l'enseignement et l'apprentissage en mettant en place un environnement médiateur propice pour l'apprentissage. Dans cette perspective, la médiation implique une action conjointe de l'enseignant et l'apprenant pris dans un jeu didactique. Le jeu didactique étant une activité « paradoxale où le professeur connaît les stratégies à produire, mais il ne peut pas les livrer telles quelles à l'élève sous peine de perdre le jeu, car ce dernier ne les produirait pas proprio motu » (Ben Jamaa, 2017 ; p.26). En outre, Ce jeu se déroule dans une situation adidactique où l'enseignant (joueur 1) ne présente pas

clairement la volonté d'apprendre à l'élève (joueur 2) à travers la fonction de réticence didactique qui doit permettre la mise en place d'un processus de dévolution. Il s'agit d'une action qui regroupe selon Santini (2012) deux types de jeux : les jeux d'apprentissage et les jeux épistémiques. Le jeu d'apprentissage se définit comme un jeu du professeur sur le jeu de l'élève, le jeu épistémique est une modélisation du savoir conçu, dans une perspective actionnelle, comme un système de capacités. Le jeu épistémique source est selon notre vocabulaire de description théorique, celui qui existe en dehors de la situation didactique. (Ben Jamaa, 2017 ; pp26)

Ainsi, la médiation est une activité qui regroupe un enseignant, un apprenant et un objet de savoir et qui fait appel à une médiation cognitive liée au rapport qu'établit l'apprenant avec le savoir et à une médiation pédagogique-didactique liée au soutien qu'apporte l'enseignant pour faciliter l'accès au savoir par l'apprenant. La figure suivante résume la médiation telle que conçue en intervention éducative.

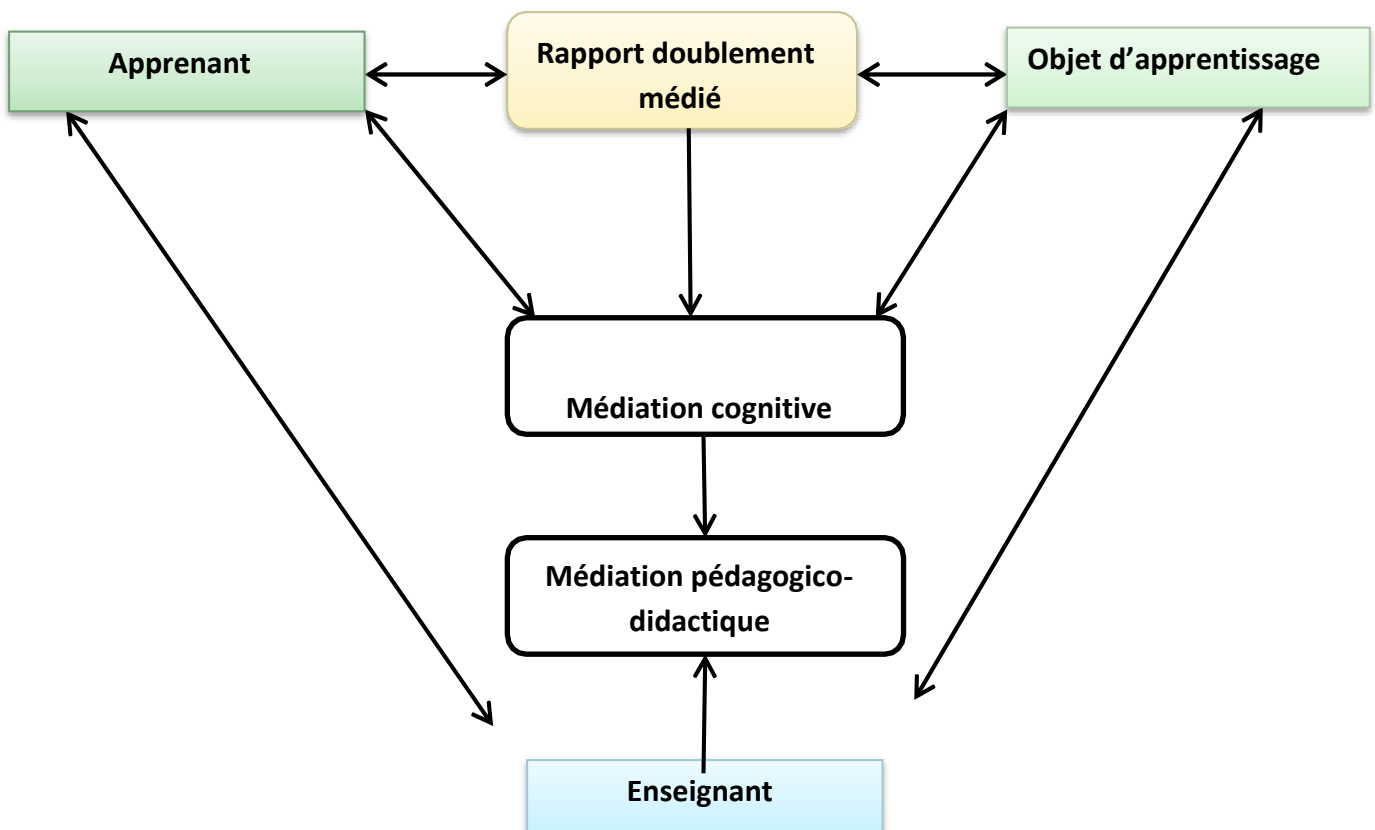


Figure 4: Les deux médiations de l'intervention éducative

La double dimension médiatrice est l'une des principales composantes de l'intervention éducative. Elle comporte une médiation interne liée au rapport de l'apprenant, au savoir externe relative à la conception des situations-problèmes, des dispositifs didactiques et des démarches d'apprentissage par l'enseignant afin de mettre sur pied des conditions propices.

➤ **La médiation cognitive : une action de l'élaboration des dispositifs d'enseignement virtuel numérique en vue de faire évoluer les conceptions des élèves.**

La médiation cognitive est un type de médiation qui se rapporte à une « action de construction de la réalité par le sujet dans un cadre culturel, numérique et temporel. Il s'agit d'une action qui passe par le détour nécessaire d'un système objectif de régulation, lui-même étant objet d'une construction. » (Lenoir, 2009 ; p.20).

Encore appelée médiation interne ou intrinsèque, la médiation cognitive est fondée sur les travaux de Freitag (1986) portant sur le rapport d'objectivation ou rapport sujet-objet. Il s'agit d'une action qui relie le sujet-apprenant à un objet d'apprentissage par le biais des démarches d'apprentissage. Par conséquent,

L'intégration des savoirs comme résultat d'un apprentissage (...) requiert également une intégration des processus d'apprentissage (...), c'est-à-dire le recours à des processus cognitifs médiateurs, lesquels incluent les démarches d'apprentissage requises (communicationnelle, de conceptualisation, expérimentale, de résolution de problème, esthétique, etc.) (Lenoir et al ; 2002 ; 15)

En bref, la médiation cognitive permet de concevoir le processus d'apprentissage comme un rapport à l'objet de savoir établi par l'apprenant. À cet effet, dans le processus d'objectivisation, l'apprenant met en place des démarches d'apprentissage pour appréhender les objets d'apprentissage à travers une construction médiatisée de l'objet d'apprentissage. Ce processus intègre trois composantes de base selon Lenoir (2009, pp.21-22) à savoir « le sujet humain, sujet producteur de la connaissance du réel et transformé en retour du procès cognitif qu'il réalise », « l'objet de connaissance construit, circonscrit et déni comme objet d'étude désiré », « le rapport cognitif (la médiation), constitutif de l'un et de l'autre le sujet formant le terme actif du rapport ». Cependant, le rôle de l'enseignant dans le processus de médiation entre l'apprenant et le savoir reste indispensable et se présente sous le nom de médiation pédagogique-didactique.

➤ **La médiation pédagogique-didactique : Une action faisant appel aux dimensions psychopédagogiques et aux dimensions didactiques**

Dans le processus d'enseignement-apprentissage, l'enseignant est considéré comme un médiateur et un concepteur des situations d'enseignement-apprentissage et des dispositifs afin de mettre en place des conditions favorables pour l'apprentissage. Pour Lenoir (2009, p. 22), l'action de l'enseignant fait « appel à la fois aux dimensions psychopédagogiques (le rapport aux élèves) et aux dimensions didactiques (le rapport au savoir/aux savoirs/de savoirs), afin de mettre en œuvre les conditions jugées les plus propices à l'activation par l'élève du processus de médiation cognitive ». De ce fait, la médiation pédagogique-didactique repose sur quatre principales actions didactiques à savoir :

- la définition des conditions propices pour l'apprentissage à travers la création d'une situation didactique ou a-didactique propice pour la construction des savoirs ;

- la dévolution des apprenants : Il s'agit de l'ensemble des comportements et les stratégies produits par l'enseignant afin que les élèves prennent leur responsabilité dans l'activité d'apprentissage ;

- la régulation : c'est l'ensemble des attitudes et les stratégies du professeur pour amener les élèves à produire des démarches d'apprentissage efficaces ;

-l'institutionnalisation ; il s'agit d'un processus par lequel le professeur montre aux élèves les connaissances à acquérir d'une part et leur utilisation future d'autre part. Nous pouvons donc conclure avec Lenoir (2009), Sensevy et Mercier (2007) que l'intervention éducative est une action didactique conjointe faisant appel à des processus médiateurs intrinsèques (médiation cognitive) liés à l'apprenant et à des processus médiateurs extrinsèques (médiation pédagogique-didactiques) liés à l'enseignant en tant qu'acteur de l'intervention. Ces deux médiations sont mobilisées dans l'intervention éducative de façon complémentaire et contribuent à la construction du savoir dans une vision socioconstructiviste où « l'enseignant n'est plus considéré « comme un décideur rationnel, mais plutôt comme un constructeur de sens. Il s'agit bien d'un médiateur extrinsèque dont le rôle est capital dans le processus d'enseignement-apprentissage » (Lenoir, 2009 ; p.22). L'une des actions de médiation de l'enseignant est liée à la transposition didactique.

3.1.3. Structuration du savoir, de l'activité des apprenants et des tâches proposées par l'enseignant : les modèles de l'intervention éducationnelle (MIE)

La structuration du savoir, l'activité des apprenants et les tâches qui lui sont assignées par l'enseignant sont trois éléments qui caractérisaient une situation d'enseignement/apprentissage. S'inspirant des travaux de Not (1979), Lenoir (1991) propose quatre modèles d'intervention éducationnelle retenant comme paramètres de base les conceptions des finalités et des processus éducationnels adoptés, les modalités d'opérationnalisation et les démarches d'apprentissage. Il faudrait de prime abord reconnaître que l'intervention éducationnelle a lieu dans un « espace temporel, transitionnel et transactionnel au sein duquel les deux médiations (interne, d'ordre cognitif, propre au sujet et externe, relevant de l'enseignant) interagissent à partir de dispositifs de formation. » (Lenoir, 2009 ; pp.17). Ces espaces sont considérés dans la Théorie de la situation didactique de Guy Brousseau comme une situation didactique qui est le contexte, construit par le professeur d'un point de vue matériel, symbolique et humain, avec lequel l'élève interagit. Cette approche est en congruence avec l'hypothèse piagétienne qui postule que l'élève apprend en s'adaptant à un milieu. Elle est également congruente au paradigme de l'interaction car elle permet de souligner l'importance du contexte dans lequel se déroulent les interactions et donc des conditions à mettre en place par le professeur pour que des transformations du sujet opèrent (Sanchez,2008 ; pp.61). C'est aussi l'environnement construit par l'enseignant dans lequel prend acte le processus d'apprentissage. Dans le cadre de la construction du savoir, les situations présentent des différences au niveau de leur structure, de leur règle, leur fonctionnement et les formes de connaissances produites. Par conséquent, l'apprenant crée des interactions avec le savoir sous l'action médiatrice d'un enseignant. De ce fait, les modèles d'intervention éducationnelle résument la structuration du savoir, les activités des apprenants et les tâches proposées par l'enseignant dans une situation didactique. Lenoir (2009) propose donc quatre modèles structurés permettant de déterminer l'importance accordée à l'activité de l'enseignant (magistrocentrée) ou de l'apprenant (pérocentrée) d'une part et la place accordée à la transmission simple d'un savoir par un enseignant ou la production par l'élève (figure 5)

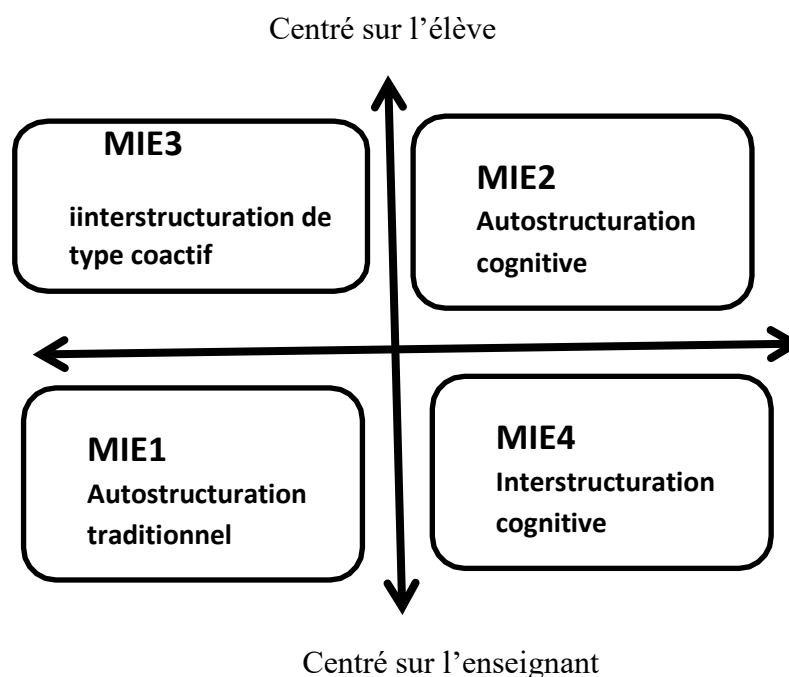


Figure 5: Les modèles d'intervention éducative

Selon cette figure, il existe 4 MIE à savoir le modèle d'autostructuration traditionnel (MIE 1), le modèle d'autostructuration de type cognitif (MIE 2), le modèle d'hétérostructuration de type coactif (MIE3) et le modèle d'interstructuration cognitive (MIE4). Ces quatre modèles sont structurés à partir de la modalité d'opérationnalisation ; de la conception des finalités éducatives et des démarches d'apprentissage.

3.1.3.1. MIE 1 : autostructuration cognitive traditionnelle

Le MIE 1 modèle d'autostructuration cognitive traditionnelle est conçu sur la base d'un enseignement de type transmission-réception (Lebrun, 2002 ; pp.66). La modalité d'opérationnalisation (i) de ce modèle repose sur le magistrat-centrisme intégral avec une prédominance de l'enseignant qui est le seul détenteur du savoir dans le processus d'enseignement-apprentissage. Par conséquent, le savoir est présenté de façon magistrale. En ce qui concerne la conception des finalités éducatives (ii), elle est centrée sur la pédagogie des cours magistraux et la révélation, où le savoir unique et dogmatique est « révélé » à l'élève. Les démarches d'apprentissages (iii) quant à elles se déclinent en structuration autonome du savoir contrôlée par l'enseignant (Nkeck Bidias, 2015) dans laquelle les activités de l'élève reposent sur l'écoute passive, la réception et l'enregistrement des savoirs.

1.3.2. MIE2 : l'autostructuration cognitive

Ce modèle est axé sur des pédagogies actives, non directives, du tâtonnement et du hasard. Ainsi, « l'intervention éducative n'est plus guidée par le savoir à enseigner, mais par le

sujet qui apprend » (Lenoir, 1991, p. 60). Les modalités d'opérationnalisation (i) de ce modèle sont fondées sur le puéro-centrisme (ou constructiviste) où le but est de construire et organiser des conditions d'apprentissage favorisant la découverte et l'épanouissement de l'élève. La conception des finalités éducatives (ii) vise la transformation de l'apprenant par la transmission d'une réalité préexistante. Tandis que les démarches d'apprentissage ici s'articulent autour du passage d'une investigation spontanée à une structuration aléatoire. Il s'agit selon Nkeck Bidias (Ibid) d'une investigation sensorielle et émotionnelle de l'environnement afin d'ouvrir les portes à une structuration de la part de l'apprenant.

1.3.3. MIE3 : l'interstructuration cognitive coactive.

Le MIE3 est une prolongation de la MEI1. Elle est fondée sur la pédagogie de la découverte ou du dévoilement. La différence avec le MIE1 est la reconnaissance de la place accrue et la responsabilité de l'élève dans l'apprentissage. Ce modèle repose sur une restructuration d'un savoir prédéterminé par l'enseignant. Ici, l'apprenant exécute fidèlement la tâche planifiée par l'enseignant et le savoir préconstruit est dévoilé de façon séquencée à l'élève. Par conséquent, les modalités d'opérationnalisation (i) reposent sur l'application stricte et rigoureuse du savoir avec une interaction dans la dynamique apprenant/savoir/enseignant. En

outre, la conception des finalités et des processus éducationnels est centrée sur les interactions constitutives de la réalité éducative ainsi que la transmission d'une réalité existante. La démarche d'apprentissage afférente repose sur une évolution d'une structuration autonome contrôlée vers une investigation contrôlée.

3.1.3.2. MIE4 : l'interstructuration cognitive

Le dernier MIE se rapporte à l'interstructuration cognitive et se caractérise par une pédagogie interactive de la recherche. Les modalités d'opérationnalisation (i) sont principalement l'interaction dynamique apprenant/savoir/enseignant. La conception des finalités (ii) repose sur les interactions constructives de la relation éducative. Enfin la démarche d'apprentissage (iii) comporte trois phases à savoir l'investigation spontanée (centrée sur l'assimilation ou faisant appel aux schèmes assimilateurs), la structuration

régulée (ou structuration contrôlée de l'extérieur par rapport à l'apprenant s'appuyant sur l'accommodation) et l'investigation structurée. Le tableau 4 résume les différentes phases du MIE4

Tableau 4 : Les phases du MIE 6

ETAPES DU MIE N°4	OBJECTIFS	PHASES	CHEMINEMENT	DEMARCHE POTENTIELLE
Investigation spontanée ↓	Poser et construire la situation problème	Phase de mise en situation	<ul style="list-style-type: none"> • Déclencheur • Questionnement • Observation 	Démarches
		Phase d'exploration	<ul style="list-style-type: none"> • Perceptions initiales • Inventaire des acquis • Débat, lectures, observations, recherches empiriques, etc. • Situation(s) problème(s) 	Conceptualisation ↓ Communication ↓
Investigation structurée ↓	Résoudre la situation problème	Phase de planification	<ul style="list-style-type: none"> • Sélection d'une ou de plusieurs questions de recherche, ou d'une ou de plusieurs hypothèses, ou d'un ou de plusieurs plans de réalisation • Procédures <ul style="list-style-type: none"> - d'échantillonnage - de recueil des données - de traitement de données 	Expérimentation
		Phase de collecte de données	<ul style="list-style-type: none"> • Recueil de données ou réalisation 	↓
Phase de traitement de données		<ul style="list-style-type: none"> • Analyse des données ou de la réalisation 	Résolution des problèmes	
Phase de synthèse		<ul style="list-style-type: none"> • Activité de synthèse • Perspective métacognitive <ul style="list-style-type: none"> - Objectivation du cheminement - Objectivation de la ou des démarches utilisées - Confrontation des nouveaux acquis avec les perceptions initiales • Bilan des apprentissages 	↓	
Structuration régulée ↓				

Source : Nkeck Bidias (2015)

Ce modèle s'inscrit dans le champ théorique de l'apprentissage expérientiel qui considère l'expérience du milieu comme source d'apprentissage et de développement. Pour Kolb (1984 ; p.37). L'apprentissage expérientiel est le « processus par lequel le savoir est créé à travers la transformation de l'expérience » Elle se présente coKolb (1984 ; p. 37). Elle se présente comme une approche pédagogique qui place les apprenants dans une situation d'apprentissage qui reflète le plus fidèlement possible la réalité afin qu'ils puissent acquérir des savoirs en interagissant avec le milieu didactique.

Tableau 5 : Les quatre modèles d'intervention éducative (MIE) Lenoir (2004 :

Types	Définition	Modalités d'opérationnalisation	Conceptions des finalités et du processus éducationnels		Démarches d'apprentissage
			Transformer l'apprenant par la transmission d'une réalité préexistante	Aider l'apprenant à se transformer par la production d'une réalité	
MIE 1	Modèle d'autostructuration de type traditionnel (Pédagogie de la transmission)	<ul style="list-style-type: none"> • Magistrocentrisme intégral : action prépondérante de l'enseignant • Contraintes sur les finalités éducatives et sur l'enseignement (prévalent accordés aux objets d'enseignement) 	X		Structuration autonome contrôlée
MIE 2	Modèle d'autostructuration cognitive (Pédagogies dites actives non-directives, dit librement empirique et de basage)	<ul style="list-style-type: none"> • Purocentrisme intégral : action relevant du sujet qui apprend • Contraintes sur les visées actuelles, personnelles ou collectives de l'apprenant et sur l'apprentissage (prévalent accordés aux projets de l'apprenant) 		X	Investigation spontanée ↓ Structuration aléatoire
MIE 3	Modèle d'interstructuration cognitive de type coactif (Pédagogie de la libération ou de développement)	<ul style="list-style-type: none"> • Interaction dans la dynamique apprenant / Savoir / Enseignant • Contraintes sur les interactions constitutives de la relation éducative 	X		Structuration autonome contrôlée ↓ Investigation contrôlée
MIE 4	Modèle d'interstructuration cognitive (Pédagogie interactive de la recherche)	<ul style="list-style-type: none"> • Interaction dans la dynamique apprenant / Savoir / Enseignant • Contraintes sur les interactions constitutives de la relation éducative 		X	Investigation spontanée ↓ Structuration structurée ↓ Structuration régulée

3.2. La théorie des situations Didactique

Cette théorie a été utilisée dans le cadre de nos travaux premièrement pour modéliser notre situation d'enseignement en réalisant les interactions entre la transmission du savoir, les conditions de transmission du savoir et les différents acteurs en jeu (enseignants et élèves), deuxièmement pour ressortir un ensemble de paramètres (contrat didactique, les variables didactiques et le milieu) dont le regroupement a permis la description et la modélisation de notre situation didactique.

La situation dans le cadre de notre recherche a été modélisée sur la Théorie des Situations Didactiques de Brousseau (Brousseau, 1982), ce qui nous a permis d'adopter l'organisation suivante :

- Analyse théorique à priori et construction d'une situation en vue de diagnostiquer les conceptions après avoir effectué un état des lieux de la notion y afférente, ainsi que les difficultés évoquées par l'étude de la littérature.
- Analyse en amont de la situation en vue d'anticiper sur les réponses possibles des élèves.
- Phase expérimentale de cette situation de classe
- Analyse en aval ou à postériori de la situation à partir d'une grille d'analyse conçue en référence à la modélisation, à la notion en étude et en la confrontant avec la première analyse.

Au début des années 80, Guy Brousseau établit la Théorie des Situations Didactiques en prenant la peine de définir l'ensemble des différents concepts. Cette théorie a pour origine l'idée de la possibilité de modéliser une situation d'enseignement : les interactions entre la transmission du savoir, les conditions de transmission du savoir et les différents acteurs en jeu... soulignons que la théorie des Situations Didactique renferme un ensemble de paramètres dont le regroupement permet la description et la modélisation d'une situation didactique à savoir : le contrat didactique, les variables didactiques et le milieu. Ces différents paramètres dont le rôle sera décrit ci-dessous, interviennent dans notre situation (Gwenda-Ella CHAPEL, 2006)

Une situation didactique est une situation que l'enseignant ou le chercheur prend la peine d'établir, bien que n'intervenant pas en tant qu'acteur. L'élève construit lui-même son savoir en se servant de la mise en œuvre d'une action spécifique répondant au problème (Brousseau, 1998)

Ceci pourrait être considéré comme une situation de changement conceptuel ou d'apprentissage en se référant aux conceptions. Dans ces travaux de recherche, l'enjeu est de diagnostiquer les conceptions des élèves sur les anomalies chromosomiques et les maladies génétiques d'une part et sur l'information génétique d'autre part. Il n'existe pas ici d'enjeu d'apprentissage direct. C'est pour cette raison que le milieu de la situation est l'élément primordial de la théorie des Situations Didactiques.

Soulignons que le milieu joue un rôle capital étant donné qu'il constitue la situation et lui donne la possibilité d'avoir un cadre et des limites. De plus, il fournit à l'élève une certaine adaptation par le biais des interactions qu'il octroie à l'élève en réponse à une ou plusieurs actions (Gwenda-Ella CHAPEL, 2006)

Le milieu est générateur de déséquilibres, de difficultés et de contradictions pour l'élève. Les rétroactions que génère le milieu sont des informations négatives ou positives renvoyées à l'apprenant en réponse à son action. L'action de l'élève évolue grâce aux rétroactions. Le milieu n'émet pas uniquement les rétroactions, mais il permet aussi aux élèves d'obtenir un retour sur leur production en permettant en même temps de valider la procédure utilisée, indépendamment de l'intervention de l'enseignant en situation de classe. Le milieu peut donc transiter de milieu d'évolution à milieu de validation dans la mesure où qu'il n'est plus uniquement générateur d'évolution.

Qu'importe la situation, les exigences du milieu permettent à l'élève de répondre au problème bien qu'elles correspondent aux choix de l'enseignant. En conclusion, la création, la mise en place et l'analyse d'une situation et de son milieu dépendent de l'influence existant entre l'élève et l'enseignant dans le contrat didactique. Dans le partage des responsabilités que propose Guy Brousseau dans le contrat didactique, il circonscrit aussi les limites des responsabilités des uns et des autres (Guy Brousseau, 1978).

Le contrat didactique est considéré comme l'ensemble des obligations réciproques et des « sanctions » que chaque partie de la situation didactique

- Impose ou croit imposer soit de manière implicite soit de manière explicite aux autres, ainsi que
- Celles qu'on lui impose ou qu'il croit qu'on lui impose et qui sont liés à la connaissance en cause.

Le contrat didactique est le résultat d'une négociation (qui s'avère très souvent implicite) des modalités d'établissement des rapports entre l'élève ou les élèves avec le milieu d'apprentissage et le système éducatif (Brousseau, 2002).

Le contrat didactique se forme de manière progressive et dépend de la répétition pour le même savoir. À cet effet on peut citer :

- Des questions posées par l'enseignant ;
- Des informations données par l'enseignant ;
- Des contraintes imposées par l'enseignant ;
- La manière avec laquelle l'élève interprète les situations successives mises en place par l'enseignant.

Le contrat didactique, permanemment en évolution, est la conséquence des engagements pris de manière explicite ou implicite entre l'élève et l'enseignant, et variant en fonction des personnes impliquées, des situations et du contexte. En dépit de cette évolution, le contrat didactique est tout de même dépendant de deux règles dont l'élève et l'enseignant ont connaissance et sont responsables l'un et l'autre. Ces deux règles sont :

- L'enseignant joue le rôle d'aide. Il laisse l'élève produire de lui-même la réponse attendue. Il l'aide juste dans cette production.
- En cas de rupture, le contrat didactique doit être revu et devenir plus explicite (Brousseau, 1998).

En vue de faire fonctionner dans notre situation ces différents éléments de la Théorie des Situations à savoir le contrat didactique et le milieu, il est indispensable de définir en particulier le problème auquel les élèves doivent répondre. À cet effet, l'enseignant doit expliciter et justifier des choix qu'on qualifie en didactique de variable didactique.

Les variables didactiques sont des choix décidés ou non par le chercheur. Ces variables peuvent chacune prendre différentes valeurs, permettant de générer plusieurs problèmes pour une même situation. Il peut y avoir changement de la nature de chaque variable. Ce changement peut survenir par le biais de l'association du savoir aux connaissances des élèves et à l'organisation de la situation. En didactique en particulier, seules les modifications affectants la hiérarchie des stratégies sont à considérer comme des variables pertinentes. De ces variables pertinentes, existent des variables didactiques (Brousseau, 1982, cité par Bessot, 2003).

En principe, le choix d'une valeur de variable spécifique entrainera des modifications liées au problème, c'est-à-dire à l'adaptation, aux régulations de la stratégie de résolution prise par l'apprenant. Pour résoudre son problème, les différentes valeurs d'une variable donnent à l'enseignant de nombreuses possibilités. Néanmoins, il est nécessaire de justifier et d'expliquer la valeur de chaque variable après avoir pris la peine de définir de manière

satisfaisante les variables. Il est nécessaire d'apporter des précisions sur les principales stratégies favorisées par les différents changements de valeur de variables.

Pour une production par les apprenants des stratégies différentes et acceptables par rapport à notre problème et faisant l'objet d'un recueil d'un ensemble de conception, le choix de ces variables dans notre situation est d'une importance capitale.

En définitive, le système didactique décrit par Brousseau dans le cadre de la Théorie des Situations Didactique est donc constitué d'une entité de plus que le triangle didactique (enseignant-savoir-élève) qui n'est rien d'autre que le milieu d'enseignement/apprentissage.

L'apprenant finira par devenir acteur de la situation grâce à ses interactions avec le milieu et en respectant le contrat didactique. Le milieu organisé par l'enseignant est donc l'un des maillons importants de la situation didactique, comme nous le verrons très bien dans le cadre de notre situation de diagnostic dont l'analyse didactique à priori fera l'objet d'une présentation ultérieure.

3.3. Théorie adossée sur la conception dialogique du langage

Cette théorie a été utilisée dans le cadre de nos travaux pour clarifier le langage utilisé dans la deconstruction des conceptions des élèves, langage qui nous a permis de rendre compte du versant langagier de l'activité d'apprentissage scientifique aux élèves pendant les effectuations en classe de génétique humaine de Terminale D. En considérant que l'utilisation du langage est nécessairement ancrée dans une communauté discursive, il faut que la conception du langage à laquelle nous souscrivons puisse rendre compte pleinement de la fonction constructive du langage. Certains linguistes peuvent sous-évaluer cette fonction, ce qui les conduit à analyser le langage uniquement « du point de vue du locuteur comme si celui-ci était seul, hors du rapport nécessaire aux autres partenaires de l'échange verbal » (Bakhtine, 1984, p. 273). Cette critique conduit Bakhtine à développer une conception dialogique du langage où « ce qui importe ce n'est plus le mot ou quelque forme que ce soit, mais la circulation discursive dans laquelle la différence d'accentuation fonctionne comme ce qui fait sens » (François, 1989, p. 43). Bakhtine décrit le caractère dialogique du langage de la façon suivante :

Les frontières de l'énoncé concret, compris comme une unité de l'échange verbal, sont déterminées par l'alternance des sujets parlants, c'est-à-dire par l'alternance des locuteurs. Tout énoncé – depuis la réplique brève jusqu'au roman ou au traité scientifique – comporte un commencement absolu et une fin absolue : avant son début, il y a les énoncés des autres, après sa fin, il y a les énoncés-réponse des autres (quand bien même ce ne serait que sous la forme d'une compréhension responsive active muette ou d'une action-réponse fondée sur une telle compréhension). (Bakhtine, 1984, p. 277).

Le dialogisme, caractéristique des productions langagières, est double et concerne aussi bien la modalité orale qu'écrite. Aussi, Bakhtine introduit-il un *dialogisme synchrone* et un *dialogisme diachrone*.

Le *dialogisme synchrone*, assez évident dans le dialogue oral, correspond à l'influence provoquée par l'activité langagière de A dans le discours tenu par B. Ainsi, et pour généraliser, les productions langagières des interlocuteurs entrent en résonance avec les discours qui sont tenus par les autres participants de l'échange (Bakhtine, 1984, p. 274) :

En fait l'auditeur qui reçoit et comprend la signification (linguistique) d'un discours adopte simultanément, par rapport à ce discours, une attitude responsive active : il est en accord ou en désaccord (totalement ou partiellement), il complète, il adapte, il s'apprête à exécuter, etc., et cette attitude de l'auditeur est, dès le tout début du discours, parfois dès le premier mot émis par le locuteur, en élaboration constante durant tout le processus de l'audition et de la compréhension.

Le dialogisme synchrone remet radicalement en cause une conception classique de la communication : encodage d'un message, transmission des bits d'information, décodage du message. Pour reprendre une métaphore de Grize, la communication a davantage à voir avec la résonance au sens physique du terme (1992, p. 43). Le concept de schématisation, développé par Grize, associé aux opérations logico-discursives qui permettent la construction des objets du discours (1982, 1990, 1996), donne des outils d'analyse de la dynamique des échanges langagiers (qu'ils soient oraux ou écrits). De plus, Bakhtine introduit aussi le *dialogisme diachrone*. Comme l'activité langagière est inscrite dans un contexte social, elle se réfère également à tous les autres discours, réels ou potentiels qui ont/auraient pu être déjà tenus sur le même objet dans la communauté discursive en question (dans le cadre des prérequis contenus dans les discours des classes précédentes).

Le discours rencontre toujours le discours d'autrui sur tous les chemins qui mènent vers son objet, et il ne peut pas ne pas entrer avec lui en interaction vive et en tension.» (Bakhtine). Ainsi, comme le précise Todorov, « non seulement donc, les mots ont toujours déjà servi, et portent en eux-mêmes les traces de leurs usages précédents ; mais les "choses" aussi ont été touchées (1981, p. 98).

Dans la communication des scientifiques au laboratoire, nous avons montré comment les textes produits par la communauté formaient un ensemble inter-relié (les références aux autres discours se faisant généralement par le biais des citations, des renvois et références bibliographiques) qui constitue le savoir scientifique.

Les conséquences de la structure dialogique des activités langagières sont les suivantes.

— Première conséquence. Tous les discours tenus par les scientifiques enseignants s'inscrivent dans un interdiscours et « *sont fondamentalement polyphoniques* » (Jaubert, 2007, p. 59) ou encore « *hétéroglossiques* ». L'hétéroglossie et la polyphonie ont été développées par Ducrot (1984) à partir de Bakhtine (1978, 1984). En ce qui concerne la polyphonie, il y'a lieu de relever que pour Bakhtine, tout énoncé est inscrit dans un contexte social et qu'il est toujours porteur des valeurs, croyances, savoirs, pratiques

diverses constitutives de la communauté discursive au sein de laquelle cet énoncé est tenu.

En ce qui concerne l'hétéroglossie, Ducrot, en revanche, ne s'intéresse qu'à l'aspect linguistique des énoncés et à la distinction du sujet parlant, du locuteur et de l'énonciateur (dont on peut entendre la voix dans le discours, sans que, pour autant, le locuteur la prenne en charge) pour expliquer le fonctionnement de ces énoncés, en occultant l'origine sociale, contextuelle des énoncés. Dans le présent travail, le terme hétéroglossie est convoqué pour insister sur l'importance de l'ancrage contextuel de l'activité langagière. Ainsi, dans un énoncé, on peut trouver plusieurs voix qui ne peuvent pas être toutes attribuées au sujet parlant. Les paramètres de la situation d'énonciation peuvent permettre de signaler (explicitement ou non) la superposition de ces différentes voix, c'est ce processus de signalisation que nous appelons hétéroglossie.

- Seconde conséquence. Le dialogisme et la circulation discursive concernent la critique d'une distinction classique entre l'énonciation active et la réception passive d'un énoncé qui serait intrinsèquement signifiant. Comme le précise François (1989, p. 44), « l'unité concrète est celle qui est donnée par la compréhension responsive, non seulement la reformulation, mais le déplacement produit par une réponse qui n'est pas qu'une reprise ». Ainsi, la réception d'un énoncé est aussi active que sa production et nécessite de la part du récepteur, en fonction du contexte de l'énonciation, une reconstruction de la signification de cet énoncé : « tout acte de compréhension est une réponse, dans la mesure où il introduit l'objet de la compréhension dans un nouveau contexte, le contexte potentiel de la réponse » (Volochinov, 1977, p. 101). Cette reconstruction peut générer des déplacements de significations :

Une répétition n'est pas une reprise à l'identique. [...] Il n'y a pas d'abord ce que le signe veut dire et ensuite sa réutilisation ; il y a un signe qui est dans le mouvement même de sa réutilisation (François, 1998, P.78).

D'où l'intérêt qui pourrait être porté aux diverses reformulations.

En définitive, la conception dialogique du langage retenue est celle qui est compatible avec la conception problématologique du langage développé par Meyer (1982). En effet, lorsque Meyer (1979, p 240) affirme que « les expressions isolées, détachées du contexte, sont en soi apocritiques et problématologiques », cette affirmation peut être mise en relation avec la distinction proposée par Bakhtine entre proposition et énoncé :

La proposition, en tant qu'unité de langue, n'est pas apte à conditionner directement une attitude responsive active. C'est seulement en devenant un énoncé fini qu'elle acquiert une telle aptitude (1984, p. 289).

Comme le langage est un lieu de travail des significations en contexte (construction, ajustement, négociation), l'activité langagière correspond à un processus pouvant être analysé

par la mobilisation d'outils auxquels nous avons déjà commencé à faire référence au fil du texte : analyse des schématisations, des reformulations

4. Formulation des hypothèses et définition des variables

Il s'agit de formuler l'hypothèse principale et celles secondaires et définir les différentes variables

4.1. Formulation des hypothèses

Une hypothèse de façon générale est une réponse anticipée à une question, une affirmation provisoirement suggérée comme explication d'un phénomène. C'est une proposition énoncée de sorte qu'elle puisse être vérifiée. Pour notre travail, une hypothèse générale et trois hypothèses de recherche ont été émises.

4.1.1. Hypothèse générale

Une hypothèse est une proposition globale de réponse à la question principale. Notre hypothèse générale est donc :

HP L'élaboration du dispositif d'enseignement approprié et son implémentation participent à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

4.1.2. Hypothèses spécifiques

Hypothèse 1 (HS1) : La prise en compte non-numérique des conceptions des élèves réduit considérablement les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

De cette hypothèse première naît des hypothèses suivantes

HS 1.1 Le fait d'émerger les conceptions chez les élèves réduit considérablement les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

HS 1.2 La déconstruction des conceptions erronées chez les élèves réduit considérablement les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

HS 1.3 La construction du savoir scientifique chez les élèves réduit considérablement les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

Hypothèse 2 (HS2) : Le travail de modélisation de la transmission de l'information génétique participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique en Terminale D.

Hypothèse 3 (HS3) : L'élaboration et l'implémentation du dispositif numérique participent à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique en Terminale D.

4.2. Définition des variables

Une variable est un facteur qui agit ou qui peut se modifier lorsqu'il est mis en relation avec un autre facteur dans une hypothèse.

4.2.1. Variable indépendante

C'est le phénomène que le chercheur veut expliquer dans une relation de cause à effet ; c'est la conséquence de la variable indépendante. Ici, il s'agit de la difficulté d'apprentissage liée aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique.

La variable indépendante de cette étude est **la difficulté d'apprentissage liée aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique**. Elle est une variable constituée des variables polytomiques ordonnées avec les modalités suivantes selon l'échelle de Pearson-Bravais. Cette variable dépendante peut être scindée en deux (**difficulté d'apprentissage et conception des élèves**) ayant pour modalité : **négligeable – acceptable – moyenne- considérable- élevée- très élevée**

4.2.2. Variables dépendantes

C'est le facteur que le chercheur utilise pour expliquer le phénomène étudié ; c'est la variable qui correspond aux phénomènes manipulés par le chercheur ; elle est la cause dans une relation de cause à effet.

Variables dépendantes

- Variable liée à **l'élaboration et l'implémentation du dispositif d'enseignement non-numérique en génétique**
- Variable liée à la **prise en compte des conceptions** des élèves en génétique Terminale D
- Variable liée au fait d'**émerger les conceptions** des élèves en génétique Terminale D ;
- Variable liée à la **destruction des conceptions erronées** des élèves en génétique Terminale D ;
- Variable liée à la **construction du savoir scientifique** chez les élèves en génétique Terminale D ;
- Variable liée à la **modélisation de l'information génétique**
- Variable liée à **l'élaboration et l'implémentation du dispositif numérique**

4.3. Construction de la variable dépendante

La variable dépendante principale est **l'élaboration du dispositif d'enseignement non-numérique en génétique**. Elle est une variable score construite à partir du groupe de variables explicatives secondaires suivant :

La première variable dépendante secondaire est la **prise en compte des conceptions** des élèves de Terminale en génétique. Elle est une variable score construite à partir du groupe de variables explicatives suivant :

- Variables liées au fait d'**émerger les conceptions** des élèves Terminale D en génétique comportant 2 modalités (erronés et juste) possédant chacune d'elle 3 indicateurs (toujours, parfois et jamais);
- Variables liées à **la destruction des mauvaises conceptions** des élèves de Terminale D en génétique, comportant 2 modalités (bonne et mauvaise) possédant chacune d'elle 3 indicateurs (toujours, parfois et jamais) ;
- Variables liées à la **construction du savoir scientifique** chez les élèves Terminale D en génétique comportant 2 modalités (bonne et mauvaise) possédant chacune d'elle 3 indicateurs (toujours, parfois et jamais) ;

La deuxième variable dépendante secondaire est **la modélisation de l'information génétique** chez les individus drépanocytaires et ou albinos en provenance des parents sains comportant 2 modalités (bonne et mauvaise) possédant 3 indicateurs (toujours, parfois et jamais)

La troisième variable dépendante secondaire est **l'élaboration et l'implémentation du dispositif numérique** comportant 2 modalités (bonne et mauvaise) possédant 3 indicateurs (toujours, parfois et jamais)

4.4. Tableau Synoptique

TABLEAU SYNOPTIQUE

SUJET DE THÈSE : CONCEPTIONS DES ÉLÈVES DE TERMINALE D EN GÉNÉTIQUE HUMAINE : ANALYSE DES DIFFICULTÉES D'APPRENTISSAGE ET ÉLABORATION DES DISPOSITIFS D'ENSEIGNEMENT.

Tableau 6 : synoptique

Question de recherche	Objectifs de l'étude	Hypothèses de recherche	Variables de l'étude	Modalité	Indicateur	indices
QP Quel dispositif d'enseignement élaborer et implementer pour pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?	OP Evaluer l'impact du dispositif d'enseignement à élaborer sur le niveau d'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine	HP L'élaboration du dispositif d'enseignement approprié et son implémentation participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine	<u>Variable dépendante</u> Elaboration du dispositif d'enseignement. <u>Variable indépendante</u> : Difficultés d'apprentissage liées aux conceptions	-mauvaise -acceptable - considérable - élevé - très élevé	Moyenne de l'élève en SVTEEB	
QSR1 Quel schéma de prise en compte des élèves non-numérique adopter pour pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?	OS1- Démontrer l'influence du dispositif non-numérique de prise en compte des conceptions sur la remédiation des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine	HS1 La prise en compte non-numérique des conceptions des élèves réduit considérablement les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.	<u>Variable dépendante</u> Le schéma de prise en compte non numérique des conceptions des élèves	-bonne - mauvaise -erronées	-toujours il y'a prise en compte des conceptions des élèves -parfois -jamais	
QSR2 Quel impact a la modélisation de la transmission de l'information génétique sur l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D ?	OS2. Évaluer l'impact de la modélisation de la transmission de l'information génétique sur la remédiation des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D	HS2 le travail de modélisation de la transmission de l'information génétique participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D.	<u>Variables dépendante</u> -la modélisation de l' information génétique	-bonne -mauvaise -erronée	Toujours il y'a modélisation de la transmission de l'information génétique -parfois -jamais	
QSR3 Quel dispositif d'enseignement numérique est nécessaire pour pallier les difficultés d'apprentissage engendrées par les conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?	OS3 Mesurer l'impact du dispositif numérique sur la remédiation des difficultés d'apprentissage engendrées par les conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine	HS3 L'élaboration du dispositif numérique participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine	<u>Variable dépendante</u> L'élaboration et l'implémentation du dispositif numérique	-bonne -mauvaise - erronée	-toujours il y'a implémentation du dispositif numérique -parfois -jamais	

Conclusion du chapitre 3

Cette recherche porte sur l'étude de l'élaboration d'un dispositif d'enseignement en génétique en vue de pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique.

À cet effet, un cadre théorique fondé sur une riche épistémologie, une riche revue de la littérature et des théories explicatives de notre sujet. L'étude historique et épistémologique de la génétique repose sur la découverte de l'ADN (élément fondamental en génétique), ainsi que sur l'identification des obstacles associés à ces découvertes. La revue de la littérature convoquée concerne la revue sur les dispositifs dans l'enseignement de la génétique, et celle concernant les conceptions initiales des élèves en génétique

L'analyse historique du concept de la génétique est présentée ici de manière chronologique. Le cadre de référence fondée sur les théories explicatives repose sur la théorie de l'intervention éducative et la théorie des situations Didactique. De prime abord, la théorie de l'intervention éducative et la théorie des situations Didactique se présentent comme les théories principales de cette recherche. Elles sont mobilisées pour comprendre d'une part les pratiques enseignantes liées à la prise en compte des conceptions des élèves en classe de génétique, et d'autres part pour comprendre l'apport de l'élaboration des dispositifs d'enseignement adéquat pour une prise en compte efficace des conceptions en génétique et une mise en place d'un environnement médiateur permettant aux élèves de faire évoluer leurs conceptions. Si la théorie de l'intervention éducative a pour finalité la mise en place des conditions adéquates pour faire évoluer des savoirs en génétique à travers la médiation pédagogique-didactique alors, cette médiation est basée sur la mise en place d'un dispositif d'enseignement permettant de faire évoluer les conceptions initiales des élèves en génétique. L'utilisation d'un dispositif d'enseignement et son implémentation favorise l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique à travers le modèle de l'interstructuration cognitive. Celle-ci comporte trois tâches à savoir l'investigation spontanée, l'investigation structurée et la structuration régulée. Ces tâches didactiques participent à faire évoluer les conceptions des élèves en génétique au travers du dispositif d'enseignement. Elles s'intègrent parfaitement à la démarche Didactique de la biologie proposé par Brousseau (1982), et adapté par Gwenda-Ella CHAPEL (2006). En effet, il s'agit d'une démarche innovante permettant aux apprenants de construire les savoirs biologiques à partir d'une génétique raisonnée (faisant appel aux concepts et aux notions de la génétique scientifique). Par conséquent, ce cadre théorique est le fondement didactique mobilisé dans cette recherche. Il sera mis à contribution dans l'implémentation de nos dispositifs d'enseignement qui seront présentés au chapitre suivant

DEUXIEME PARTIE :
CADRE METHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE

La *méthodologie de recherche* couvre la démarche générale du processus scientifique ; elle veille à ce que le scénario de recherche et les opérations techniques devant conduire à la résolution de notre problème de recherche s'articulent de manière cohérente. Cette méthodologie nous met donc en face de choix à poser, de décisions à assumer dans la suite des phases qui participent de notre démarche de recherche. Ce cadre méthodologique se souciera « d'établir la nécessaire jonction entre la *logique de la découverte* (rapport entre les connaissances théoriques antérieures et le nouveau savoir proposé) – d'où son rôle d'agent critique –, la *logique de la preuve* (le rapport entre l'hypothèse et les faits de l'observation) et la *logique de l'erreur* (le rapport entre l'instrumentation et les données analysées) » (Lefrançois, 1992, p. 12-13). Ce cadre méthodologique vise donc à rendre notre démarche de recherche transparente, à rendre compte des opérations et décisions, à savoir des raisons qui justifient des choix opérés. En référence à la théorie de l'intervention éducative, la méthodologie que nous adoptons va préciser les démarches à entreprendre, les procédés techniques et les instruments méthodologiques employés ou produits et leurs modes d'utilisation pour permettre l'étude de l'objet de recherche. Selon Piaget cité par Lenoir (2003, p.21),

[...] la méthodologie, si elle soutient la construction théorique et l'application technique, ne porte spécifiquement, en fonction d'un cadre théorique préalable, que sur l'adéquation des moyens aux fins, c'est-à-dire sur la cohérence interne entre les opérations techniques requises (les instruments et les procédures à mettre en pratique) et le projet théorique (les fins visées). En aucun cas, la méthodologie ne permet de s'interroger tant sur les fondements du projet théorique, sur les visées du projet scientifique que sur les liens qui unissent ces derniers au social historique (entre autres les origines, la validité des objectifs poursuivis).

L'approche méthodologique globale adoptée découle de nos orientations paradigmatiques qui se situent à la jonction des approches qualitatives de type sociocritique et interprétative et des questions et objectifs de recherche. Pour ce faire, nous allons successivement décrire le processus de notre recherche, présenter son cadre épistémologique et méthodologique, caractériser le type de recherche menée, dévoiler la démarche de conception des dispositifs didactiques, et exposer sur les critères de scientificité de l'étude.

CHAPITRE IV :

TYPE DE RECHERCHE ET PRESENTATION DE L'ECHANTILLON DE L'ETUDE

La méthodologie de la recherche « regroupe l'ensemble des idées directrices orientant l'investigation empirique. Elle est ainsi perçue comme un produit qu'il convient de tester ou de valider et comme un processus dont il importe de reconstituer la genèse (Ferréol et Deubel, 1993). La méthodologie que nous utilisons ici a pour fonction de recueillir les informations et de les transformer en données pour les réduire finalement à des faits. Elle s'assure que les données "prises" sur le réel correspondent à des hypothèses théoriques précises, (Lenoir, 1995). Elle contrôle le recueil des données, s'efforce de les constater pour pouvoir les confronter à la théorie qui les a suscitées. Elle exige de la précision dans la constatation. Notre travail de recherche suit une démarche globale ethnographique qui s'inscrit dans les théories de l'intervention éducative bienveillante et des situations didactiques. Elle connaît trois perceptions paradigmatiques fondées sur deux rapports et une orientation : le rapport à l'espace qui induit une organisation centrée sur des intentions guidées par l'enseignant de classe, le rapport à l'objet complexe retenu (la génétique du vivant). Ce dernier privilégie une approche anthropocentrée en biologie et le passage d'une organisation structurelle résultant du curriculum prescrit pour la classe Terminale D à une organisation dispositive de l'action didactique qui consiste ici à intégrer les activités d'autoévaluation dans l'approche pédagogico-didactique de l'enseignant.

1. Méthodes et Les types de recherche utilisés

Pour mettre en évidence nos propositions de réponse dans les aspects particuliers de notre sujet, il nous convient de préciser le modèle utilisé dans le cadre de notre recherche et la méthode de recueil des conceptions.

1.1. Modèle utilisé dans le cadre de notre recherche

Parmi les différents modèles de recherches rencontrés en sciences sociales, nous avons choisi, le modèle expérimental et le modèle ex-post-facto ou exploratoire ou hypothético-déductif

Le modèle ex-post-facto et le modèle expérimental sont les modèles retenus dans le cadre de notre étude. Le modèle ex-post-facto nous a permis d'analyser les effets du traitement naturel qui existe déjà dans notre recherche. Le modèle expérimental par contre nous a permis de manipuler les variables de l'étude et de disposer les individus prenant part à l'expérimentation d'une manière particulière au moment où s'effectue la recherche (Lenoir, 1995)

1.2. Méthode de recherche utilisée

Dans le cadre de nos travaux, nous avons retenu la méthode mixte qui englobe les deux méthodes à savoir la méthode qualitative (quasi-expérimentale) et la méthode quantitative. Cette méthode mixte est celle dont la finalité repose tout de même sur la description de l'interaction entre les caractéristiques des sujets regroupés dans un contexte social en variables individuelles (Ibid). Dans cette méthode, nous utilisons la démarche hypothético-déductive.

En définitive, l'approche de cette recherche est à la fois expérimentale (ingénierie didactique) et mixte (approche qualitative et quantitative). Ce choix se justifie par la problématique de la recherche qui porte sur l'élaboration du dispositif d'enseignement en vue de pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en classe de génétique. La combinaison de ces approches nous permet de confronter plusieurs sources (quantitatives et qualitatives) de notre recherche afin d'en tirer une analyse pertinente pouvant conduire à des interprétations fiables.

Une approche mixte de recherche

L'approche mobilisée dans cette recherche intègre à la fois un volet quantitatif et un volet qualitatif. Le choix de cette approche se justifie par le fait qu'elle permet d'obtenir une meilleure compréhension des phénomènes en étude et une meilleure synthèse des résultats. De façon générale, l'intégration des approches mixtes dans la recherche en science de l'éducation est de plus en plus valorisée au vu de la pertinence des résultats qu'elles proposent. Ainsi, Karsenti. T (2009) soulignent que

ces méthodologies sont de plus en plus souvent abordées non pas sous l'angle de leurs différences, mais sous celui des complémentarités qu'elles peuvent apporter à la recherche. Une vision pratique de la recherche est en train de s'instaurer par laquelle le chercheur met en œuvre diverses méthodes de travail empruntées à l'une ou l'autre des méthodologies afin d'effectuer une recherche la plus utile et la plus instructive possible (Karsenti. T, 2009, p.132).

1.2.1. Volet quantitatif

Le volet quantitatif est mobilisé pour produire une base de données statistique sur les conceptions des élèves et ceux des enseignants sur les différentes notions de génétique. En outre elle fournira des informations pertinentes sur les conceptions des apprenants en génétique ainsi que les points de vue des enseignants sur les dispositifs expérimentés. Ce volet a pour but, la collecte et l'analyse d'un corpus de données quantitatif constitué des éléments suivants (Ferréol et Deubel, 1993)

- Une enquête en ligne portant sur les avis des enseignants de SVTEEHB du Cameroun sur leurs profils, anciennetés et usage des différents dispositifs d'enseignement de génétique et leurs avis sur le dispositif d'enseignement à partir d'un questionnaire sur google form ;
- Des tests d'apprentissages (pré-test et post-test) réalisés auprès des apprenants à partir d'une épreuve sous forme de questionnaire ;
- Un questionnaire pré-expérimentation et post-expérimentation auprès des apprenants pour analyser leurs conceptions initiales en génétique.

1.2.2. Volet qualitatif

Cette étude repose une analyse des pratiques d'enseignement ordinaires de génétique pour le groupe témoin et des pratiques d'enseignement de génétique à partir des dispositifs d'enseignement élaborés pour le groupe expérimental. Il est question dans ce cas précis d'une analyse des préalables faisant appel à l'analyses des enregistrements videoscopiques du discours biologique. En effet, l'analyse des séances didactiques permet d'appréhender les pratiques d'enseignement à partir des dispositifs d'enseignement élaborés. Elle fait appel à des observations et analyses des séances didactiques en salle de classe.

1.3. Une recherche expérimentale fondée sur un travail d'ingénierie didactique

Le but de cette étude est de mettre en œuvre un scénario pédagogique pour une étude expérimentale du dispositif didactique et pédagogique d'enseignement de la génétique en classe de Terminale D. Par conséquent, elle repose sur une approche expérimentale fondée sur l'ingénierie didactique.

1.3.1. Définition et étapes de l'ingénierie didactique

L'ingénierie didactique est une méthodologie de recherche découlant de la didactique des mathématiques et qui s'est progressivement généralisée comme méthode de recherche

dans toutes les didactiques disciplinaires en sciences de l'éducation. Ainsi, elle repose sur deux questionnements à savoir :

- Comment prendre en compte la complexité de la classe dans les méthodologies de recherche ?
- Que penser des relations entre recherche et action sur le système d'enseignement ?

Ces deux questionnements vont amener Artigue (1990) à définir l'ingénierie didactique comme une méthodologie de recherche qui se caractérise par un schéma expérimental basé sur des « réalisations didactiques en classe, c'est-à-dire sur la conception, la réalisation, l'observation et l'analyse de séquences d'enseignement ». (Ben Jemaa, 2017 ; pp.20). Les éléments théoriques aident à la construction de situations visant à renforcer une utilisation « raisonnée » des TICE.

Les observations de classe permettent de comprendre le comportement des élèves et de faire évoluer la situation d'apprentissage construite initialement. Ces processus d'allers-retours entre théorie et pratique permettent de réviser, d'améliorer les situations en vue d'une diffusion hors contexte expérimental. Par ailleurs, les résultats du développement peuvent avoir en retour des effets sur la recherche, en éclairant, par exemple, les conceptions de nouveaux environnements d'apprentissage ou les choix pour des acteurs du système éducatif. Des cycles itératifs permettent d'approfondir l'analyse et d'améliorer les expérimentations, en allant des hypothèses théoriques aux situations vécues par les enseignants et par les élèves, et réciproquement (Genevois, 2008 ; pp.204)

Selon Artigue (ibid), l'ingénierie didactique regroupe quatre phases notamment : les analyses préalables ; la conception/analyse à priori des situations didactiques de l'ingénierie ; l'expérimentation et en fin l'analyse à posteriori/validation.

➤ **Les analyses préalables**

C'est la première phase de l'ingénierie didactique, car tout travail d'ingénierie didactique débute par des analyses préliminaires qui regroupent l'analyse épistémologique des contenus visés par l'enseignement, l'analyse de l'enseignement usuel et de ses effets, l'analyse des conceptions des élèves et leurs difficultés d'apprentissage.

➤ **La conception et analyse à priori**

La deuxième phase a pour objectif d'analyser un certain nombre de variables de commande par rapport au problème étudié. Il s'agit des variables de commande qui se rapportent à l'organisation globale de l'ingénierie et les variables de commande qui concernent l'organisation locale de l'ingénierie (organisation d'une séance et d'une leçon). Cette phase permet de déterminer l'influence des choix effectués sur le contrôle des comportements des élèves et leur sens.

➤ **L'expérimentation, analyse à postériori et validation**

Après la conception du dispositif, il est question de l'expérimenter dans une situation de classe. Cette phase est suivie par une analyse à postériori qui prend en compte des données recueillies lors de l'expérimentation (observation des séances d'enseignement et aussi les productions des élèves en classe ou hors de la classe. À ces données s'ajoutent d'autres issues des questionnaires, des entretiens qui permettent de valider le dispositif didactique (validation interne du dispositif didactique).

Cette recherche propose une ingénierie didactique pour l'élaboration des dispositifs non-numériques de prise en compte des conceptions des apprenants, des dispositifs de modélisation, des dispositifs numériques de prise en compte des conceptions des apprenants. Le choix de ces dispositifs se justifie par le fait que cette méthode nous permet d'organiser une confrontation de la construction théorique à la contingence de classe. Elle nous permet aussi d'organiser une méthode de recherche qui se distingue par son paradigme de validation interne.

1.3.2. Travail d'ingénierie didactique sur l'élaboration du dispositif d'enseignement de la génétique.

Envisager un travail d'ingénierie en didactique de la biologie consiste à prendre la classe de biologie/génétique comme un terrain d'expérimentation des situations et des dispositifs d'enseignement. En effet, la classe de biologie/génétique comme domaine d'expérimentation trouve ses fondements dans l'ingénierie didactique qui cherche à répondre aux problématiques liées aux processus d'enseignement-apprentissage (Artigue, 2011). Dans le cadre de la recherche en didactique de la biologie, la classe de biologie sert de cadre d'expérimentation aux dispositifs d'enseignement conçus par les chercheurs pour améliorer le processus enseignement- apprentissage. La mise en place de ces expérimentations comporte plusieurs étapes (Hugonie, 2007).

➤ **Formulation de la problématique et des hypothèses de recherche**

Toute recherche expérimentale en didactique de la biologie débute par la formulation d'une problématique didactique et biologique. La première problématique est biologique et consiste à présenter la notion, l'idée ou la démarche scientifique à acquérir. Il s'agit de la génétique, une notion biologique du programme ou d'une démarche biologique qui présente un potentiel didactique. Dans cette recherche, la notion abordée est la génétique et la démarche biologique est l'approche à visée objective. La deuxième problématique est

didactique et se rapporte à une méthode didactique pour faciliter les enseignements/apprentissages. Il s'agit de l'élaboration des dispositifs d'enseignement en génétique pour pallier les difficultés d'apprentissage des élèves liées à leurs conceptions initiales. Après la formulation de la problématique, le chercheur présente des hypothèses qui reposent sur l'élaboration et l'utilisation des dispositifs d'enseignement adaptés à l'enseignement de la génétique. Dans cette recherche, la démarche vise à proposer l'enseignement de la biologie à travers des dispositifs d'enseignement adaptés à la biologie en général et à la génétique en particulier. La formulation des hypothèses permet au chercheur de concevoir des dispositifs d'enseignement de la situation d'enseignement-apprentissage qui vont faire évoluer les conceptions initiales des élèves, et favoriser une meilleure acquisition des savoirs par l'apprenant en génétique.

➤ **La conception des protocoles d'expérimentation**

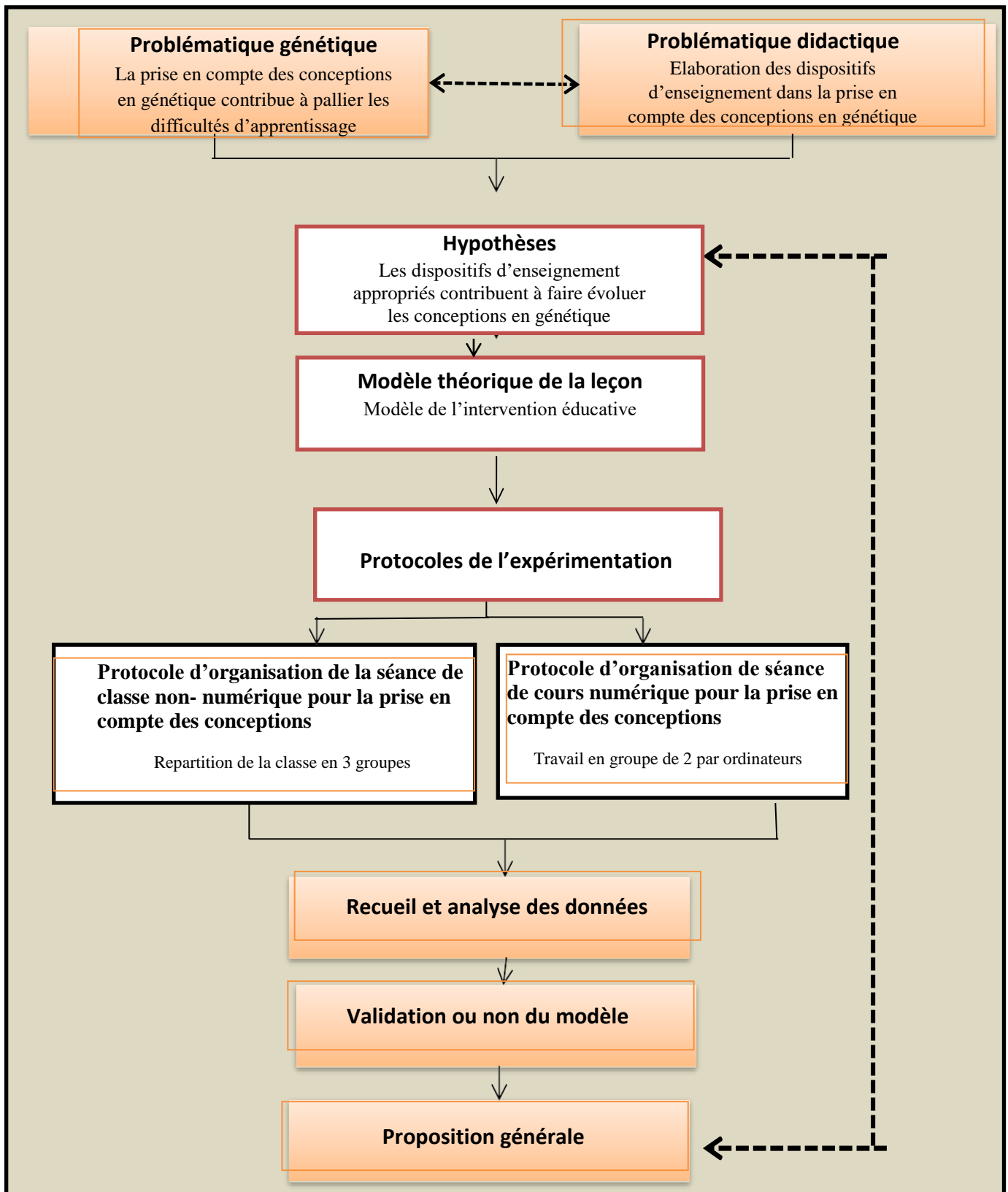
Ici, le chercheur en didactique de la biologie bâtit le protocole d'expérimentation qui regroupe le protocole d'enseignement de la leçon en situation de classe de génétique et le protocole d'organisation de cette leçon. Ces protocoles constituent le modèle didactique théorique. Le protocole d'enseignement de la leçon est mobilisé par le chercheur pour élaborer, analyser et décrire les pratiques didactiques liées à l'enseignement de la génétique. Le protocole d'organisation de la leçon permet simultanément de saisir les étapes de la leçon au travers du dispositif d'enseignement élaboré, ainsi que les démarches pédagogiques mobilisées par l'enseignant.

➤ **Recueil, analyse des données et validation du modèle didactique**

À partir du dispositif d'enseignement préalablement conçu, on recueille un ensemble de données portant sur l'observation des séquences didactiques ; sur le travail de l'enseignant, le travail des élèves, leur représentation initiale, les interactions des élèves dans la co-construction du savoir ainsi que sur les performances des élèves. Dans cette recherche, il est question de collecter des données sur les conceptions initiales des élèves en génétique, sur le déroulement de l'expérimentation en salle de classe de génétique, sur les activités liées à la prise en compte des conceptions des élèves et leur apport dans la construction des savoirs en génétique.

Ces données sont analysées à partir d'un certain nombre d'outil et de méthode de la statistique ou de la recherche qualitative. L'analyse de ces données permettra de valider ou non le modèle didactique (figure 6)

Figure 6 : Synopsis de l'expérimentation en classe de génétique de Terminale D



Proposé par Mongo Onobiono

La classe de génétique est donc considérée comme le principal terrain d'expérimentation des dispositifs d'enseignement et des situations didactiques conçus dans le cadre d'une recherche en didactique de la biologie. Envisager une ingénierie en didactique de la biologie fait appel à la posture du praticien-chercheur qui permet de mener une recherche sur sa propre pratique.

1.4. Construire la posture du « praticien-chercheur » comme fondement méthodologique

Étant donné que cette recherche est menée par un enseignant des SVTEEHB et un doctorant en didactique des SVTEEHB, la posture de recherche choisie est celle d'un « Praticien-chercheur ». C'est une posture de recherche de plus en plus intégrée dans les études en didactique de la biologie (Lhoste, Y. et Orange, C. 2015). Ici, la classe de génétique de Terminale D permet d'analyser et questionner les problématiques liées aux pratiques didactiques en rapport à un savoir en biologie. Cet espace bien délimité comporte une série d'éléments didactiques et pédagogiques indispensables pour la description et l'analyse d'une situation d'enseignement-apprentissage.

À cet effet, intégrer la posture de « praticien-chercheur » dans le cadre d'une recherche en classe de génétique consiste pour l'enseignant de SVTEEHB et doctorant en didactique des SVTEEHB à expérimenter avec d'autres enseignants et les élèves, de nouveaux dispositifs d'enseignement. L'objectif de cette partie est d'apporter des éclaircissements théoriques à cette posture de recherche, d'essayer de la caractériser, et enfin de montrer l'investissement de cette approche dans le cadre de cette étude.

1.4.1. Définition et caractéristiques

La didactique de la biologie comme les autres didactiques disciplinaires s'est progressivement enrichi des postures épistémologiques et méthodologiques formalisées en sciences de l'éducation. Sur le plan méthodologique, la posture de « praticien-chercheur » se présente aujourd'hui comme la posture méthodologique recommandée dans la cadre des recherches où la pratique professionnelle d'un enseignant est considérée comme une problématique de recherche.

Étant donné que cette recherche porte sur une ingénierie didactique, cette recherche se présente comme une méthodologie pertinente et idéale dans la mesure où elle intègre les pratiques professionnelles d'un enseignant de SVTEEHB et les pratiques de recherche d'un apprenti-chercheur en didactique de SVTEEHB. C'est une méthodologie singulière différente

des méthodologies classiques. Dans cette section, il sera question dans un premier temps d'apporter des clarifications au concept de « praticien-chercheur ». Dans un deuxième temps, elle présentera la singularité de cette posture de recherche.

Définition du praticien-chercheur

Parler d'une posture de « praticien-chercheur » dans la recherche en didactique de la biologie/des SVT/EEHB est la résultante de l'intégration d'une multitude de strates dans le processus d'enseignement-apprentissage, dans la compréhension et l'analyse d'une problématique de recherche liées au savoir biologique. Pour de Lacoste, Y. (1977), endosser la casquette de « praticien-chercheur » revient à mener une recherche sur un terrain professionnel ou sur un terrain proche du monde professionnel présentant des similitudes ou des liens avec son environnement ou son domaine d'activité. Le praticien-chercheur est aussi celui-là qui en plus des activités pédagogiques, assure des activités de recherche dans le domaine de la didactique à travers l'accueil de chercheurs dans ses classes, le recueil et le traitement de données, travaux et comptes rendus d'enquêtes, expérimentation de séquences innovantes. À cet effet, Gaujal (2016) va le considérer comme

Celui qui mène une recherche sur le champ de sa pratique, qui est aussi son domaine d'activité principal considère : D'une part la recherche comme un moyen d'intervention sur sa pratique, pour rendre visibles certains problèmes qu'il y rencontre, ou pour les résoudre (ou les deux). D'autre part, la recherche comme un moyen de se former, et d'obtenir un diplôme, qui paradoxalement, pourra le conduire à abandonner son champ de pratique pour devenir enseignant-chercheur, rejoignant alors les autres chercheurs avec lequel il partage le même champ de recherche, en didactique ou en science de l'éducation, ou au contraire, le diplôme obtenu, à abandonner la recherche (Gaujal, 2016 ; pp.256)

Le praticien-chercheur est donc à cheval entre deux dimensions de la recherche qui font sa singularité. La première dimension est fondée sur une approche pratique qui intègre la pratique professionnelle. L'objectif de cette dimension est d'intégrer la pratique professionnelle du chercheur dans le processus de recherche. La seconde dimension se rapporte à la pratique de recherche en sciences de l'éducation dont l'objectif est de concevoir et d'analyser les situations d'enseignement/apprentissage.

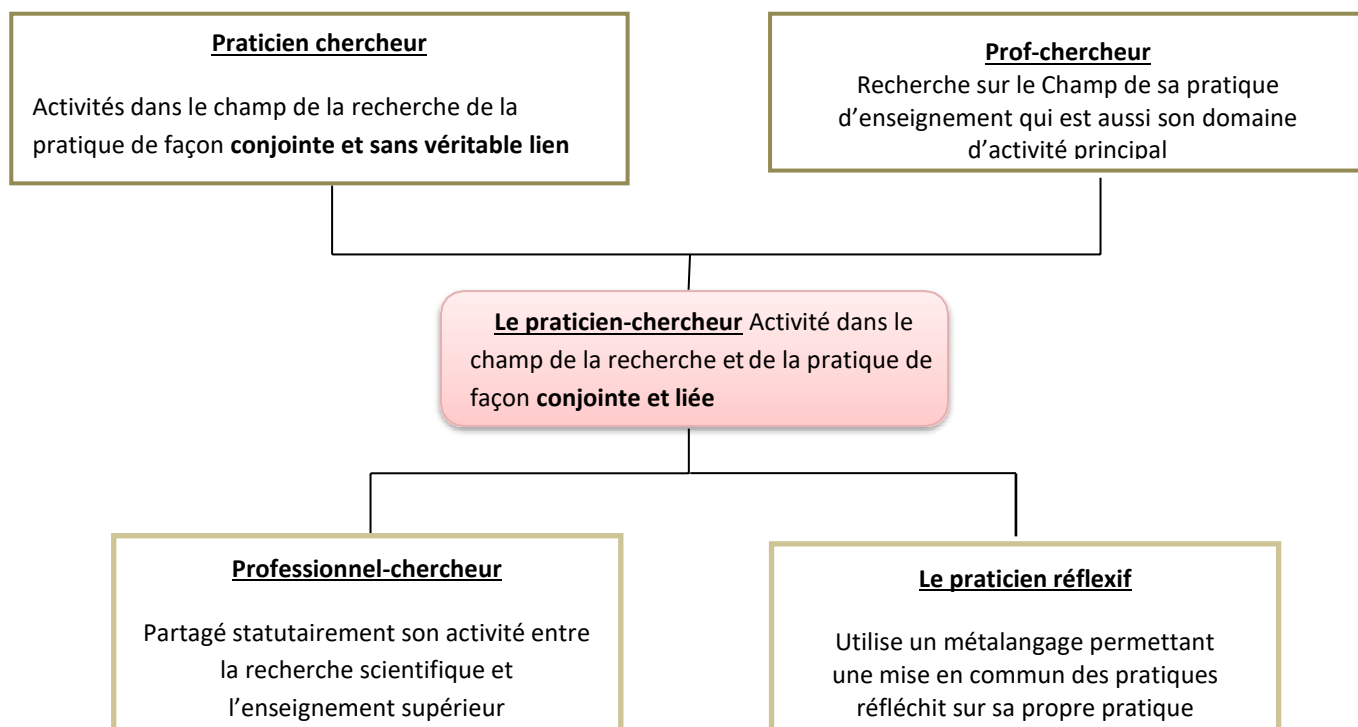
1.4.2. Quelques Terminologies liées au praticien-chercheur

Le « praticien-chercheur » est un concept assez flou, polysémique et lié à plusieurs terminologies. Parmi les terminologies les plus proches et qui ne sont pas des synonymes, nous avons « le praticien chercheur », « le professionnel -chercheur » et « praticien réflexif ». Ainsi, le « praticien chercheur » contrairement au « praticien-chercheur » est une personne « qui mène conjointement deux activités différentes, dans le champ de la recherche et dans le champ de la pratique, sans que l'un ait un lien avec l'autre » (Gaujal, 2016 ; p.236) alors que le «

praticien-chercheur » mène une activité conjointe et liée dans le champ de la pratique d’enseignement et de la recherche en didactique. Le deuxième concept est le « professionnel-chercheur » ou « formateur-chercheur ». Formalisé par Allenbach (2012), il s’agit d’un enseignant titulaire qui partage statutairement son activité entre la recherche scientifique et l’enseignement supérieur. Son enseignement porte, en partie, sur les résultats de ses recherches. Par contre, le « praticien-chercheur » s’appuie sur sa pratique pour mener des recherches, dont ses élèves ignorent tout. La plupart du temps, on peut parler de « prof-chercheur », l’abréviation visant à éviter toute confusion avec les enseignants du supérieur (Gaujal, 2016 ; pp.236).

Le troisième terme a été formalisé par Schön (1983) dans son livre « the reflective practitioner : how professionals think in action » traduit en français en 1994 sous le titre « le praticien réflexif. À la recherche du savoir caché dans l’agir professionnel ». Le « praticien réflexif » est donc celui-là qui utilise un métalangage permettant une mise en commun des pratiques. Pour Albarello. (2004), « praticien réflexif » et « praticien-chercheur » ne sont pas de même nature : alors que l’un réfléchit sur sa propre pratique, l’autre réfléchit sur son champ de pratique. La figure ci-dessous présente les différentes terminologies proches du concept de « praticien-chercheur » afin de mieux saisir les différences.

Figure 6 : le concept de praticien « chercheur » et les terminologies liées



Proposée par Mongo Onobiono (2022)

La classe de génétique est donc considérée comme le principal terrain d'expérimentation des dispositifs d'enseignement conçus dans le cadre d'une recherche en didactique de la biologie. Envisager une ingénierie en didactique de la biologie fait donc appel à la posture de praticien-chercheur qui permet de mener une recherche sur sa propre pratique.

1.5. Méthode de recueil des conceptions des élèves

En vue de recenser les conceptions initiales des élèves concernant l'information génétique, en passant par le phénomène de mitose et la transmission des maladies génétiques et des anomalies chromosomiques, nous avons proposé un pré-test à 36 élèves du lycée de Mouko. Les élèves concernés par notre étude sont des élèves de la classe de Terminale D du dit lycée. Une enquête a été faite auprès des élèves de Terminale D du lycée de Mouko, ainsi que ceux des six Terminales D du lycée de Biyem-Assi en vue d'obtenir un échantillon plus considérable. Un questionnaire a été remis à chaque élève avec des consignes claires de remplissage. Pendant la phase test, une autre phase de conceptions a été faite uniquement avec les élèves du lycée de Mouko.

2. Définition de la population d'étude

A titre de rappel, le présent travail vise à élaborer et à évaluer l'impact (l'effet) du dispositif d'enseignement sur le niveau d'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en SVTEEHB en rapport avec le thème de la génétique humaine dans les six terminales D du lycée de Biyem-Assi (Arrondissement de Yaoundé 3) et la Terminale D du lycée de Mouko (Arrondissement de Kiiki dans le Mbam et Inoubou)

D'après Touza R (1988), la population est « *L'univers d'enquête. Cet univers est composé d'un certain nombre de personnes détentrices d'informations.* »

2.1. Population cible

La population cible comprend la population que nous désirons étudier à savoir :

- Les élèves de Terminale D du sous-système francophone camerounais. Ces élèves étant ceux des Lycée ou des collèges.
- Les enseignants de SVTEEHB formés dans les écoles normales supérieures et ceux non formés.

2.2. Population d'étude de notre recherche

Notre recherche est une étude de cas portant sur les élèves de Terminale D des Lycées de de Biyem-Assi et Mouko. Le premier lycée étant situé dans l'arrondissement de Yaoundé 3e dans le département du Mfoundi, région du centre. Le second lycée étant situé dans l'arrondissement de Kiiki dans le département du Mbam et Inoubou, région du centre.

La population d'étude dans le présent travail, est constituée de tous les élèves de Terminale D de deux établissements scolaires de la région du centre à savoir 345 élèves de Terminale D du lycée de Biyem-Assi (57 : TD1, 56 : TD2, 58 : TD3, 58 : TD4, 57 :TD5, 59 :TD6) et 36 élèves du Lycée de Mouko, des enseignants de SVTEEHB du Lycée de Biyem-Assi et ceux de SVTEEHB du Lycée de Mouko.

2.3. Critère d'inclusion et de non-inclusion

Ces critères nécessitent une considération minutieuse.

2.3.1. Critère d'inclusion

- Salles de classes de Terminale D du Lycée de Mouko et des Lycées de Biyem Assi
- Être un élève en classe de Terminale D d'un établissement public ou privé ;
- Être un enseignant de SVTEEHB formé ou non formé dans une école normale supérieure ;
- Être un enseignant de SVTEEHB tenant une classe de Terminale D en cours d'année scolaire ;

2.3.2. Critère de non-inclusion

- Tous les élèves absents pendant la période de l'expérimentation et d'enquête en salle de classe ;
- Tout enseignant de SVTEEHB des Lycées de Biyem-Assi et du Lycée de Mouko, ayant refusé de participer à l'enquête et ceux n'ayant pas fait objet d'expérimentation.

3. Définition de l'échantillonnage

Elle passe par le choix de l'échantillon, le tri des groupes expérimentaux et de contrôle, Échantillon de cette étude, détermination de la taille de l'échantillon/population

3.1. Choix sur l'échantillon, et tri des groupes expérimental et de contrôle

À la suite des analyses d'une première enquête conduite auprès des élèves des six Terminales D du lycée de Biyem-Assi, et de la Terminale D du lycée de Mouko, soulignons que notre critère de sélection a penché en faveur des élèves de la Terminale D1 du lycée de

Biyem-Assi pour l'expérimentation de prise en compte non-numérique des conceptions des élèves. Elle a aussi penché en faveur des élèves des Terminale D2 et D4 du même Lycée et ceux de Terminale D du Lycée de Mouko pour l'expérimentation du travail de modélisation par le biais du dispositif numérique. Ces classes ont été retenues en raison de leurs grandes diversités tribale et culturelle du pays. Elles contiennent par ailleurs des élèves qui ont évolué chacun avec des différents enseignants de SVTEEHB depuis le début de leur cursus scolaire. Ainsi, les 52 élèves de Terminale D1 du lycée de Biyem-Assi ont été soumis successivement aux phases du pré-test et post-test pour l'obtention des résultats de la prise en compte non-numérique des conceptions. Les 54, 52, et 34 élèves respectives de Terminale D2, Terminale D4 du Lycée de Biyem-Assi et de Terminale D du lycée de Mouko pour l'obtention des résultats de la modélisation via le dispositif numérique.

Le pré-test constitue ici la phase préliminaire. Dans cette phase, il est question de répartir le groupe classe en deux groupes à savoir le groupe expérimental (groupe soumis à l'expérimentation soit de prise en compte non-numérique des conceptions des élèves en génétique, soit de modélisation de transmission de l'information génétique via la plateforme numérique) et le groupe témoin (groupe non-soumis à l'expérimentation). Ce deuxième groupe à savoir le groupe témoin sera soumis à des leçons ordinaires de génétique suivant le modèle APC sans prise en compte des conceptions, ni modélisation de la transmission de l'information génétique via le dispositif numérique. Les résultats du pré-test vont permettre de scinder le groupe classe en deux groupes (expérimental et contrôle) de manière à obtenir deux groupes homogènes. Le pré-test a consisté en deux évaluations en tout début de séances dans la partie génétique du programme. La moyenne de ces deux évaluations nous a permis d'obtenir un groupe expérimental et un groupe témoin. Cette répartition du groupe classe en deux groupes s'est faite sur les bases des moyennes des notes des élèves lors des deux évaluations du pré-test.

Touzar (1988) définit l'échantillon comme : « Un ensemble de personnes choisies au sein de la population mère pour la représenter afin de recueillir les informations » (Ibid, p.23). Il s'agit là d'une sélection d'individus opérée sur une population et où se font des observations et des mesures, dans le but d'en dégager des règles plus générales. Nous utilisons dans le cas de ces travaux, l'échantillonnage qui apparaît comme la technique utilisée pour construire un échantillon. Cette technique consiste à considérer une portion de la population et à travailler avec cette portion à cause du grand effectif et de l'étendue de la population.

Tableau 7 : Répartition des élèves par classe de terminale D et par lycées

Lycée de Biyem-Assi	Nombre d'élèves par classe
Terminale D1	52
Terminale D2	54
Terminale D3	53
Terminale D4	52
Terminale D5	51
Terminale D6	55
Lycée de Mouko	Nombre d'élèves de la classe
Terminale D	34

3.2. Échantillon de cette étude

L'échantillon de cette étude prend en compte trois catégories d'unités statistiques qui sont issues de chacune des populations d'étude. Concrètement, il est composé :

- Des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko et ceux du lycée de Biyem-Assi ;
- Des enseignants ayant faits l'objet de l'expérimentation en situation de classe ;
- Des enseignants de SVTEEHB des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko.

3.3. Taille de l'échantillon/population (N)

La taille de l'échantillon est : 317 élèves dans les 3 salles de classe de Terminale D au Lycée de Biyem Assi éclatées en 6 salles de classes à cause des mesures barrières liées au Covid et de 34 élèves en Terminale D au Lycée de Mouko. Donc pour un effectif global de 351 élèves en salle de classe.

Pour l'appréciation de la qualité des dispositifs d'enseignement en vue d'une prise en compte efficace des conceptions des élèves de Terminale D en génétique et la remédiation des difficultés d'apprentissage, le calcul des scores a été effectué par pondération simple de chaque indicateur (Saizonou et *al.* 2014).

Sur le plan descriptif, nous avons en clair considéré que tous les indicateurs ont le même poids, c'est-à-dire qu'ils contribuent de manière identique à la qualité de l'élaboration des dispositifs d'enseignement adéquats pour une prise en compte efficace des conceptions des élèves de Terminale D en génétique.

Sur le plan analytique, l'appréciation de chaque variable explicative a été induite par un total de score. Premièrement, le rapport entre le nombre de « oui » des critères observés sur le nombre total de « oui » des critères attendus en vue d'apprécier le score de chaque variable prise individuellement. Deuxièmement, le total des scores est calculé pour toutes les variables de la composante et troisièmement, le total de toutes les composantes en vue de définir le niveau de difficulté d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique en

Terminale D qui est résolu *haut ou élevé*. Si le score est compris entre 0 à 50%, *acceptable* si le score est entre 50% et 90% et *faible ou bas* si le score est entre 90% et 100% (Saizonou et al. Op. cit.).

Par ailleurs, la capacité pratique pour les enseignants de SVTEEHB à élaborer les dispositifs d'enseignement adéquats a été appréciée. Comme la variable dépendante, chacune de ces variables scores est construite à partir du groupe des différentes variables explicatives liées à la capacité des enseignants de SVTEEHB à l'élaborer des dispositifs d'enseignement adéquats dans leur pratique, en vue de remédier aux difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique.

❖ **Schémas de prise en compte non-numérique des conceptions des élèves en génétiques, comportant 9 indicateurs :**

- Émergence des conceptions des élèves en génétique, comportant 3 indicateurs ;
- La destruction des conceptions erronées des élèves en génétique humaine, comportant 3 indicateurs ;
- La construction du savoir scientifique en génétique par les élèves, comportant 3 indicateurs ;

❖ **Impact de la modélisation comme dispositif d'enseignement de la génétique comportant 12 indicateurs**

- Les actions des expériences élaborés et analysés avec le modèle cK ϕ pour mener les conceptions des élèves en génétique comportant 3 indicateurs ;
- La justification des choix réalisés et des éléments de connaissances mobilisés et analysés en vue de faire évoluer les conceptions en génétique : 3 indicateurs ;
- Les formes de production (protocole, schémas, texte) dans la réalisation de l'expérience dans la prise en compte des conceptions en génétique : 3 indicateurs ;
- La réalisation des trois productions à différents niveaux dans l'apport des informations complémentaires en génétique et utiles dans la modélisation des conceptions des élèves en génétique : 3 indicateurs ;
- Les dispositifs numériques d'enseignement de la génétique comportant 5 indicateurs.
- Le même processus a permis de calculer, d'apprécier le degré des connaissances et pratiques enseignantes en biologie et la capacité de pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique en classe de Terminale D. Ainsi l'utilisation d'un dispositif d'enseignement adéquat n'a *jamais* lieu si le score est 0%, a *souvent* lieu, si le score

est compris entre 10% et 90% et a *toujours* lieu si le score est compris entre 90% et 100%.

4. Choix des méthodes et des instruments de collectes des données.

En sciences sociales, nous disposons d'une gamme variée d'instruments de collecte de données sur le terrain parmi lesquels : l'interview, le guide d'observation, le questionnaire ... Pour notre travail, nous avons utilisé le questionnaire, l'interview et le guide d'observation pour la collecte des données.

4.1. Description de l'outil de collecte de données : les pratiques de classe

La phase de recueil des conceptions des élèves en génétique s'est réalisée grâce à trois principaux outils à savoir : le questionnement écrit, la verbalisation et le dessin. Il a été important de choisir le dispositif en fonction du concept abordé et du niveau de la classe. Cette phase, on l'a appelée « phase de recueil des conceptions » ou « pré-test ».

❖ Le questionnement écrit

Il existe un certain nombre de questions ouvertes qui semblent mieux convenir à répondre de manière adéquate et plus précise aux interrogations.

En faisant le choix de travailler sur deux populations différentes à savoir (345 élèves du lycée urbain : Lycée de Biyem-Assi et 36 élèves du Lycée rural à savoir : Lycée de Mouko), nous avons cherché d'éventuelles similitudes entre les conceptions initiales de ces élèves concernant la transmission de l'albinisme, la transmission de la drépanocytose et la transmission du mongolisme par des parents sains premièrement. Deuxièmement, nous avons cherché d'éventuelles similitudes entre les conceptions initiales de ces élèves sur la modification de l'information génétique dans une situation d'élaboration d'expérience. Et troisièmement, sur les conceptions des élèves concernant principalement les derniers niveaux étudiés : Chromosome, Gène, allèle et ADN quatrièmement, sur l'analyse du savoir centrée sur la localisation de l'information génétique cinquièmement, sur sa structure et ses modes de modifications, réalisée sous forme de cartes conceptuelles sixièmement.

❖ La verbalisation

L'objectif de cet outil est d'amener les élèves à parler de la notion de génétique, de l'origine de l'albinisme, de la drépanocytose et du mongolisme dans le cas des parents sains, la modification de l'information génétique dans une situation d'élaboration d'expérience, des notions concernant principalement les derniers niveaux étudiés : Chromosome, Gène, allèles et ADN. L'analyse du savoir centrée sur la localisation de l'information génétique, sa structure et ses modes de modifications. Ces niveaux étudiés sont réalisés sous forme de

cartes conceptuelles, afin de dégager sous forme verbale les conceptions des élèves y afférentes. Cette phase s'est inscrite après une séance de recueil des conceptions au travers du dessin.

Il faut souligner que cette phase de verbalisation a cependant lieu dans les situations différentes de classe.

- **Individuellement** : en vue de permettre aux élèves de rendre plus explicite leurs dessins, schémas et ou leurs réponses. Cette phase se déroule avec la circulation dans la salle de classe au cours de la production du recueil des données des élèves.

- **En petits groupe** : cette situation nous a permis de travailler auprès d'un nombre réduit d'élèves dans des conditions idéales de recueil et d'évolution des conceptions

- **En groupe** : elle a permis un entretien de classe riche suivi d'un conflit cognitif lié aux confrontations des différentes réponses des élèves.

❖ **Le dessin**

Il a semblé être un outil abordable et complet, bien qu'il siée parfaitement aux élèves du primaire. Bien que le dessin soit cependant un outil efficace dans la phase de recueil des conceptions, il serait préférable pour nous de compléter cet outil par un autre mode d'expression, écrit et/ou oral, étant donné que cela se soit avéré possible. De plus, certains élèves éprouvent des difficultés à exprimer précisément par le dessin leurs conceptions du fait d'une faible maîtrise des techniques de dessin. Il s'avère donc que les difficultés d'interprétation apparaissent ainsi que des obstacles au discernement sur certains détails pour l'obtention des résultats escomptés. D'où une limite dans le fait de faire émerger les conceptions des élèves en génétique en vue de l'élaboration des dispositifs adéquats de prise en compte des conceptions des élèves pour pallier les difficultés d'apprentissage.

4.2. Concernant l'utilisation des questionnaires

1- Un questionnaire à l'endroit des enseignants de SVTEEHB du Lycée de Biyem-Assi et du Lycée de Mouko comportant 21 questions regroupées en deux sections.

- La 1ère section porte sur les caractéristiques professionnelles de l'enquêté(e) et comporte 07 questions ;

- La 2ème section porte sur les pratiques enseignantes et comporte 14 questions ;

Ce questionnaire avait pour but d'apprécier l'importance de l'élaboration d'un dispositif d'enseignement en vue de pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique afin de sélectionner le ou les enseignants pouvant nous

aider pour la phase expérimentale.

2- Un questionnaire à l'adresse des élèves et comportant 68 questions regroupées en trois sections.

- La 1ère section porte sur le profil académique des élèves et comporte 06 questions
- La 2ème section porte sur les difficultés rencontrées en SVTEEHB de façon générale et comporte 11 questions ;
- La 3ème section porte sur les difficultés en génétique humaines et comporte 17 questions ;
- La 4ème section porte sur une évaluation diagnostique afin de détecter certaines conceptions erronées chez les élèves et comporte 34 questions.

Ce questionnaire avait pour but de déceler et d'apprécier les conceptions des élèves en génétique.

5. La validation de l'instrument de collecte des données

Le pré-test dans nos travaux est un test préalable qui sert d'outil d'investigation ; destiné à mettre à l'essai et à faire des corrections s'il y'a lieu. Nous l'avons utilisé en vue de vérifier sur le terrain si l'instrument construit était suffisant et correct dans le recueil des données indispensables dans nos travaux.

Notre prétest s'est déroulé les lundi 14 et mardi 15 Décembre 2020 au lycée de Mouko dans les environs de Bafia dans le Mbam et Inoubou. Il nous a permis de rendre compte du niveau de compréhension des questions posées et permis de réajuster notre questionnaire.

5.1. Durée de l'étude

L'étude s'est déroulée d'octobre 2019 à mars 2021, soit durant 16 mois.

5.1.1. Durée de l'enquête

L'enquête sera réalisée dans deux établissements scolaires à savoir le Lycée de Mouko dans l'arrondissement de Kiiki dans le Mbam et Inoubou et le Lycée de Biyem-Assi dans l'arrondissement de Yaoundé 3, dans le Mfoundi. Ces deux établissements se trouvent dans la Région du Centre-Cameroun. Cette enquête s'est déroulée du 18 Janvier au 12 Février 2021. Soit pendant 26 jours.

6. La procédure de collecte des données

L'enquête d'après Tsala Tsala (1991, p.111) est : « Une investigation sur le terrain qui a pour but de comprendre un phénomène provoqué ou non. »

Notre étude est quantitative et quasi-expérimentale. Elle dispose d'un dispositif à savoir : un pré-test, une expérience de classe (test), et un post-test faisant intervenir deux groupes à savoir un groupe expérimental et un groupe témoin.

6.1. Déroulement de l'enquête

Après l'obtention des autorisations nécessaires, le choix et la formation des enquêteurs se sont faits de manière méticuleuse

6.2. Du choix et de la formation des enquêteurs

Afin de mener à bien cette enquête, le choix des enquêteurs s'est avéré nécessaire. Ainsi, quatre personnes essentiellement constituées des enseignants de SVTEEHB ont été retenues. Le choix et l'attention ont été portés sur ces personnes pour plusieurs raisons. Premièrement, pour la manifestation de leur volonté à nous accompagner dans l'enquête. Deuxièmement, pour leur aptitude à la compréhension de l'outil de collecte ; leurs différentes connaissances du milieu d'enquête. Troisièmement, pour leur acceptation aux clauses financières relatives à l'enquête. La formation de ces enquêteurs a été faite après leur sélection. Cette formation a consisté à expliquer l'intérêt de l'étude ; les objectifs de l'étude ainsi que la technique de remplissage des fiches d'enquête. Elle a surtout consisté à expliquer les notions d'éthique de la recherche en science de l'éducation. Les enquêteurs sont recrutés dans les différents établissements sélectionnés à savoir : un enseignant de SVTEEHB du Lycée de Mouko pour l'enquête au Lycée de Mouko. Trois enseignants de SVTEEHB du Lycée de Biyem-Assi pour l'enquête dans cet établissement. Pour ce qui est de l'enquête dans les différentes inspections pédagogiques de SVT, elle a été menée par le praticien chercheur.

6.3. Enquête proprement dite dans le cadre de nos travaux

Muni de l'autorisation des proviseurs des Lycées de Mouko et de Biyem-Assi et de celle du Doyen de la faculté des Sciences de l'éducation de L'université de Yaoundé I, nous sommes premièrement entrés en contact d'une part avec les proviseurs des dits lycées, et d'autres part avec les censeurs en charge des classes de Terminale de ces établissements scolaires. Nous avons ensuite rencontré les censeurs en charge de la discipline SVTEEHB, ainsi que les animateurs pédagogiques de la discipline dans les lycées de Biyem-Assi et de Mouko respectivement. L'enjeu était de leur expliquer les objectifs et le but de cette étude en vue de l'obtention des autorisations écrites ou verbales. Ayant reçu lesdites autorisations, nous nous sommes dirigés vers les différentes animations pédagogiques de SVTEEHB en vue de connaître les différents emplois de temps des enseignants de SVTEEHB, plus précisément ceux des enseignants tenant les classes de Terminale D. L'enquêteur se présentait de manière

sommaire, présentait les autorisations en lisant aux concernés la notice d'information. Chaque participant se voyait administrer le questionnaire après avoir signé le formulaire de consentement éclairé et donné son accord.

6.4. Déroulement des pratiques de classe de génétique en Terminale D

Muni des autorisations des proviseurs des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko et de celle du Doyen de la faculté de Science de l'éducation de l'université de Yaoundé I, il a été indispensable pour nous de prendre attache avec les enseignants de SVTEEHB en vue de procéder à la programmation concernant des pratiques enseignantes des cours de génétique. Nous avons pris la peine de décliner notre identité de manière sommaire en qualité de chercheur en présentant les autorisations et en lisant la notice d'information aux concernés. Les pratiques enseignantes sont conduites dans les salles de classe par les enseignants de SVTEEHB de Terminale D des dits lycée et titulaires de ces classes.

7. Les méthodes d'analyse des données

Les méthodes d'analyse des données renvoient aux logiciels de traitement et d'analyse de données ; aux analyses statistiques des données dans nos travaux ; aux considérations éthiques de notre recherche et aux difficultés rencontrées dans le cadre de nos travaux.

7.1. Logiciels et traitement des données

Le traitement statistique des données de nos travaux a été faite par un statisticien. Ces statistiques sont ensuite été rendus disponibles pour faciliter l'analyse.

Le logiciel CSPro version 4.0 a été utilisé pour la saisie des données et la conception du masque. Les logiciels Stata version 11 et EXCEL nous ont permis de réaliser les analyses univariée, bivariée et multivariée, tandis que le logiciel Microsoft Word 2013 nous a permis d'effectuer la saisie et le traitement de texte.

7.2. Analyses statistiques des données dans nos travaux

Nous avons utilisé l'analyse univariée en vue de décrire l'échantillon à travers les caractéristiques de dispersion (quartiles 1 et 3 ou écart type) ; les tendances centrales (médiane ou moyenne) et la distribution de fréquence des modalités en utilisant la variable d'intérêt.

Les tableaux croisés ont permis de décrire en fonction des caractéristiques étudiées, les types et la qualité des dispositifs d'enseignement élaborés en vue de pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique.

7.3. Déontologie et considérations éthiques de notre recherche

Le cadre éthique est un élément fondamental pour la réussite de la recherche dans la

mesure où il définit les règles déontologiques et les précautions éthiques lors du recueil et de l'analyse des données. Dans cette recherche, des formulaires de consentements ont été élaborés et mis à la disposition des répondants du questionnaire et également aux participants et aux parents des apprenants participants à l'expérimentation. Ces formulaires de consentement n'avaient aucun caractère obligatoire de participation à l'enquête, à l'entrevue ou à l'expérimentation. Un formulaire de consentement a été intégré à l'entrée du questionnaire. En outre, les enseignants avaient deux options soit refuser de signer et abandonner l'enquête ou alors accepter de signer et remplir le formulaire. Nous les avons rassurés sur la confidentialité. En ce qui concerne les enregistrements vidéo-scopiques, le formulaire de consentement a été remis au préalable aux enseignants dont les séances didactiques devaient être filmées. Dans ces documents, il était mentionné que les données soient exclusivement utilisées pour les recherches et leur confidentialité sera préservée. En ce qui concerne les apprenants, des formulaires comportant les mêmes informations ont été envoyés à leur parent afin qu'ils puissent autoriser leur enfant à participer à l'expérimentation

Le protocole de cette étude sera soumis et régulé devant un jury académique de la Faculté de Sciences de l'éducation, plus précisément du département de didactique des disciplines. Après validation du protocole par ledit jury et par le coordinateur, il sera soumis au comité éthique institutionnel de la faculté de science de l'éducation et de l'école doctorale pour son approbation et la clairance.

L'autorisation d'enquête délivrée par le Doyen de la Faculté de Science de l'éducation de l'université de Yaoundé I a servi de base éthique pour mener cette étude. Les autorisations des proviseurs des Lycées de Mouko et de Biyem-Assi ont été obtenues bien avant le début de l'enquête.

La confidentialité des informations recueillies a été assurée. La notice d'information a été lue aux concernés. Le consentement éclairé de chaque participant a été obtenu avant les pratiques enseignantes dans les salles de classe, ainsi qu'avant l'enquête effective.

7.4. Difficultés rencontrées dans le cadre de nos travaux

D'une manière générale, les déroulements des leçons dans les différentes classes de Terminale D des Lycées choisis ainsi que l'enquête proprement dite s'est plus ou moins bien déroulée. Ce travail de recherche a été cependant influé par un nombre non négligeable de difficultés. Il s'agit notamment :

- Du financement de la recherche sur fond propre de l'investigateur principal ;
- De la réticence des enseignants à nous laisser observer leur pratique de classe.
- De la réticence du personnel enseignant à répondre aux questionnaires disant

que rien ne va changer après cette enquête ;

- De l'agitation des élèves qui avaient du mal à coopérer pendant les séances de recueil des conceptions.

8. Situation diagnostique des conceptions

Dans le but de construire la situation diagnostique la plus appropriée de nos travaux de recherche, il a été nécessaire pour nous de connaître les principaux outils et méthodes utilisés pour cette séance.

8.1. Types de diagnostics possibles

Le mot diagnostic signifie “ *connaître par* ” qui veut dire connaissance et discernement. Il vient du grec *diagnosi*, qui signifie à travers. Dans le domaine des EIAH, le diagnostic est défini comme un « un processus d'interférence à partir des observables (...) il va de la simple évaluation des réponses jusqu'à la reconstruction des connaissances implicitement mobilisées par l'élève » (Hibou et Py, 2006, p.98).

Ce diagnostic nous sert à établir un dispositif d'enseignement et un modèle d'apprentissage proposant des possibilités diversifiées de débouchés, plus ou moins indépendantes les uns par rapport aux autres :

- Recenser par un état de lieux les compétences et connaissances des apprenants,
- Entraîner l'élève dans des rétroactions dans ses interventions,
- Faire des prévisions comportementales des apprenants face à une situation particulière.

Nous cherchons dans notre étude à faire un état des lieux sur les conceptions des élèves de la classe de Terminale D sur la transmission des maladies héréditaires à partir des parents sains et sur la modification de l'information génétique en se basant sur les observables qu'ils produisent dans l'élaboration d'une expérience attachée à ce sujet génétique.

Dans l'élaboration des dispositifs d'enseignement, l'établissement d'un modèle de l'élève, représentant un état de connaissance à un moment précis dans une situation précise est possible grâce à une panoplie d'informations. Soulignons le fait que ces informations peuvent être de nature psychologique, comportementale et cognitive (Hibou et Py, 2006). Étant donné que nous considérons dans nos travaux, la modélisation comme un dispositif d'enseignement nécessaire pour pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique, nous dirons que

le diagnostic, considéré comme l'ensemble des processus de mise à jour du modèle de l'élève, s'effectue à plusieurs niveaux : au niveau comportemental, il s'agit de traiter le comportement de l'apprenant et ses produits, mais non l'état mental qui l'a généré ; au niveau épistémique, il s'agit de traiter l'état des connaissances de l'apprenant ; au niveau stratégique, on s'intéresse aux buts et aux intentions. (...) le diagnostic cognitif peut être considéré comme un processus visant à inférer les caractéristiques cognitives

d'un sujet à partir de son comportement : on fait l'hypothèse que les observables recueillis à l'interface manifestent un certain état de connaissances, et l'on cherche à reconstruire cet état de connaissances sur la base des observations. (Hibou et Py, 2006, p.103).

Il existe deux types de situations attachées à la réalisation d'un diagnostic, il s'agit :

- Du diagnostic manuel, qui fait l'objet d'une réalisation à la main par le chercheur ;
- Du diagnostic automatique, qui fait l'objet d'une réalisation par un système informatique. Cette automatisation des données est faite soit de manière totale, soit de manière partielle grâce à un programme d'analyse des données. La situation choisie dans le cadre de nos travaux s'est faite selon trois principaux modes différents les uns les autres en fonction du diagnostic établi. Ce diagnostic peut être passif, celui-ci est très souvent invisible pour l'apprenant et dépourvu de toute interaction avec ce dernier. Il est en mode actif au cas où, il demeure invisible pour l'élève, bien que le déroulement de la situation reste dépendant de sa présence. Ce diagnostic peut devenir enfin un mode interactif quand l'apprenant fini par s'en rendre compte ((Hibou et Py, 2006).

Dans le travail de mobilisation des connaissances fait dans nos travaux, plusieurs outils disponibles ont été indispensables pour mener correctement ce diagnostic.

8.2. Différents outils techniques utilisés

Le diagnostic que nous avons choisi fait appel à de nombreux outils en vue de sa réalisation. Il se trouve tout d'abord un certain nombre de techniques de recueil de données dont nous prenons la peine d'énumérer quelques-unes avant de les analyser à l'aide de modèles proposés ici.

Les outils de recueil de données susceptibles d'être utilisés en biologie en général et en génétique en particulier et qui ont été employés en fonction du type de diagnostic sont :

- Le questionnaire à choix multiple (Lewis et Wood-Robinson, 2000) ;
- Le questionnaire comportant les questions ouvertes avec possibilité de longues réponses (Duncan & Reiser, 2007) ;
- Des graphiques ou schémas réalisés (Marbach-Ad, Rotbain & Stavy, 2005) ;
- Des exercices à résoudre (Marbach-Ad & Stavy, 2000) ;
- Des interviews d'élèves et d'enseignants en vue de les amener à expliquer d'avantage leur réponse soit à partir des productions, soit à partir des questions orales obtenues à l'aides des outils énumérés plus haut (Donovan & Venville, 2007).

Tous ces outils ont conduit dans ces travaux à l'obtention directe des productions des élèves dans la résolution d'un problème spécifique, étant donné que ces productions concernent des informations explicites sur leurs connaissances.

Nous nous sommes aussi servis des enregistrements audios en vue d'étudier le vocabulaire des élèves lors de la réalisation d'une situation de classe. L'accessibilité des informations de nature implicite au travers des discours et des gestes des élèves nous ont permis d'étudier et d'apporter des informations complémentaires en vue du diagnostic.

Étant donné que l'utilisation des outils cités ci-dessus présente certaines limites, nous avons eu des difficultés à les utiliser simultanément de manière adéquate. La première limite tient du fait que ces outils sont très souvent utilisés un seul à la fois. Pour un même problème, on n'obtient donc qu'une seule conception de l'élève. La deuxième limite et la plus importante, vient du fait que lorsque de nombreux outils sont utilisés (bien que rare), ils portent sur des situations et des problèmes différents. La différence au niveau des problèmes proposés aux élèves a conduit inévitablement aux réponses et connaissances différentes, puisqu'il est difficile dans ce cas de faire un parallélisme entre les réponses des élèves aux différentes situations de classe. Nous effectuons une présentation des méthodes de recueil des connaissances des élèves sélectionnés, ainsi que l'utilisation que nous allons en faire, en vue de dépasser les différentes limites.

8.3. Différents modes de recueil de production d'élèves utilisés

Nous avons décidé d'utiliser de nombreux outils de recueils de productions des élèves en vue de pallier les différentes limites. Notre objectif repose sur l'obtention des différentes expressions ou représentations sémiotiques des élèves en génétique, en vue de croiser les différentes situations problèmes et obtenir une plus grande richesse de données.

Dans la perspective de développer l'environnement numérique GENEDIDACT, nous avons sélectionné les outils suivants :

❖ Une question ouverte comme point de départ et permettant l'obtention une réponse sous trois formes, différentes

- Un texte en vue de récolter des éléments des connaissances des élèves liés au problème posé par la question, question leur laissant la pleine liberté de répondre avec leurs propres mots et de donner les explications qu'ils désirent.
- Un protocole expérimental rédigé, apportant une forme évoluée de réponse et permettant l'exploration d'un ensemble assez important d'éléments de réponses illustrés dans le schéma, proposant ainsi une activité expérimentale.

- Un schéma illustrant en reprenant une des idées exprimées par les élèves dans le texte
- Un protocole expérimental construit, apportant un autre style de réponse en vue d'explorer des éléments de réponse très importants et schématisés. Ce protocole propose alors une activité expérimentale.

Les outils cités ci-dessus nous ont permis d'obtenir des informations explicites en adoptant une situation particulière dont le déroulement est étroitement dépendant des actions menées par l'élève.

Il est nécessaire d'identifier le domaine de validité de sa réponse après le problème à poser aux élèves. Une fois les différents modes de recueil de productions d'élèves choisis en vue de construire notre situation, nous déterminerons en particulier le problème à soumettre aux élèves ainsi que le domaine de validité de sa réponse. En vue d'établir ces deux paramètres, il est nécessaire de rendre modélisable la notion d'étude, ainsi que les différentes difficultés dégagées de l'étude du savoir savant et de la littérature y afférente. Ainsi, la réalisation de la modélisation des concepts passe tout d'abord par le choix du cadre théorique dans lequel sera placée notre situation.

8.4. Instrument de construction de la situation didactique et du recueil des productions des élèves

La situation dans le cadre de notre recherche a été modélisée sur la Théorie des Situations Didactiques de Brousseau (Brousseau, 1982), développée dans le chapitre précédent sur les théories explicatives

8.4.1. Instrument de diagnostic des conceptions des élèves.

Notre expérience a pour objectif de diagnostiquer les conceptions dans le cadre d'une situation expérimentale, et pour y parvenir, nous avons utilisé notre laboratoire virtuel de génétique appelé GÉNÉDIDAC. GÉNÉDIDAC est un laboratoire virtuel de génétique servant de cadre d'expérimentation et comportant un didacticiel d'enseignement et d'apprentissage de la génétique. Le site GÉNÉDIDAC est une plateforme web étayant l'élaboration d'expérience et regroupant de nombreux outils de production : outils de communication ; éditeur de tableau ; éditeur de dessin ; éditeur de texte, ELPEX (Élaboration des Protocoles Expérimentaux). ELPEX est un éditeur de protocoles expérimentaux.

◆ Impact de l'élaboration d'une expérience

En France, les travaux pratiques (TP), dans l'enseignement des sciences expérimentales, sont très importants au secondaire. Pour Millar, les travaux pratiques ont

pour objectif de faire manipuler les élèves en vue d'apprendre une notion précise. Les séances de travaux pratiques renvoient aux activités d'enseignement et apprentissage permettant aux élèves d'observer et manipuler des matériels et des objets réels (Millar, 2004)

Les travaux pratiques ont pour rôle majeur de permettre aux élèves de mener des activités pratiques tout en leur permettant de lier l'expérimental à la théorie. Ils peuvent alors assoir les connaissances acquises en théorie lors les séances de travaux Pratiques.

Il faut souligner que les Travaux pratiques sont une attraction importante pour les élèves, ils les motivent et les incitent à étudier les sciences (White, 1996). Ces travaux de White (1996) montrent que les élèves éprouvent des difficultés à faire des liens explicites entre les cours théoriques et les cours pratiques.

L'élaboration d'un protocole expérimental (expérience) permet aux apprenants de donner davantage du sens aux activités pratiques de classe. Ceci les aide à faire des liens entre le monde empirique et le monde des modèles. Les élèves ne voient pas en l'élaboration d'une expérience une tâche aisée étant donné qu'elle n'est pas une tâche habituelle. Ces derniers ont très souvent tendance à se sentir à l'aise dans la réalisation des instructions indiquées sur des protocoles plutôt que de concevoir un modèle. Le plus intéressant dans nos travaux est le passage à l'élaboration du protocole expérimental consistant à savoir, comprendre et connaître les différents processus régissant l'organisation et la réflexion nécessaire à la mise sur pied adéquate d'un travail bien fait.

◆ Principe d'élaboration d'un protocole expérimental lors d'une expérience

Le mot protocole vient du grec *kollaô* et du latin *protocollum* qui signifie coller. Ce mot fait l'objet de nombreuses utilisations en fonction du domaine où il est emprunté : social (étiquette, règle), médecine (principe organisationnel des soins), droit (acte relatif à un accord entre deux parties morales), informatique (ensemble de contraintes assurant la communication) ... En sciences,

Un protocole expérimental renvoie à un objet décrivant une expérimentation. Selon une organisation logique et/ou temporelle ; il définit la liste des tâches expérimentales à exécuter. Chacune des tâches étant caractérisée par un objectif, des paramètres (ayant des valeurs fixées) et une procédure. Le niveau de détail de description du protocole est proportionnel au niveau de connaissance de la personne qui l'exécute (d'Ham, 2009).

L'élaboration d'un protocole en situation de classe permet aux élèves de faire le rapprochement entre théorie et l'expérience. À cet effet, l'hypothèse de travail suivante

pourrait être énoncée : l'élaboration de protocole aide les élèves à mobiliser leurs connaissances en faisant le lien entre le registre expérimental et le registre empirique.

La rédaction d'un protocole expérimental nécessite au préalable une idée claire sur la manière dont on veut répondre au problème. Pour ce faire, les hypothèses doivent être déterminées. Il sera donc nécessaire de construire le principe général de l'expérience décrite dans le protocole et d'effectuer des choix une fois le principe général établi. Ces choix sont menés sur l'ordre et la succession des différentes actions et étapes. Ils reposent sur les précautions à prendre en compte ; sur le matériel à utiliser ; sur les principes expérimentaux choisis ; sur la ou les techniques à adopter pendant l'expérience ; sur le temps à consacrer à chacune des étapes etc... Tous ces choix ne relèvent pas du même niveau de réflexion. Ils entraînent la mobilisation des connaissances des apprenants en vue de pré-structurer le protocole et en vue de le rédiger par la suite (Gwenda-Ella Chapel, 2006)

Nous avons réussi à établir grâce aux études précédentes le fait qu'un protocole expérimental comprend dans son élaboration deux phases :

- Une phase **de choix** (technique, matériels etc...) et **de réflexion** qui repose sur la mobilisation des connaissances des apprenants (trouver le principe de l'expérience ainsi que le chemin de résolution)
- Une phase de **représentation** consistant à organiser et à rédiger le protocole et représenter l'expérience (sous une forme pouvant varier en fonction de l'expérience et du domaine) ...

Toutes ces phases sont indispensables à l'élaboration du protocole final, construit avec toute sa clarté possible. Toutes ces phases se produisent afin que ce protocole soit réalisé sans ambiguïté par des personnes différentes de celles par qui il a été élaboré. (d'Ham, 2009 ; Girault et al, 2010).

❖ **Évaluation du protocole d'expérimentation comme objet de conception :**

- le protocole expérimental est exécutable : l'organisation des actions définies, le protocole fait l'objet d'une structuration qui respecte les contraintes tant temporelles que matérielles des travaux pratiques.
- Le protocole expérimental est communicable : Il prend un aspect facilement lisible, car adapté au niveau de l'exécutant, étant donné qu'il contient les types d'informations adaptés.

❖ **Évaluation de l'expérimentation dans sa description par le protocole :**

- L'expérimentation est pertinente : elle aide à répondre à la question posée.
- L'expérimentation est fiable : elle conduit à la fiabilité de la réponse à la question posée par le biais du contrôle de l'exactitude des résultats obtenus (reproductibilité et justesse). (d'Ham, 2009).

Ces quatre critères évoqués par d'Ham (2009) ont été proposés par Popper (1959) dans le cadre de la théorie épistémologique.

Dans cette partie, nous sommes bel et bien intéressés par l'élaboration d'une expérience dans la mesure où les apprenants sont sensés mobiliser leurs conceptions et leurs connaissances en réalisant cette activité. Il a été démontré que la réalisation d'une expérience est grandement orientée par les conceptions qu'ont les apprenants des connaissances mises en jeu dans les travaux pratiques (Marzin & Vries, 2008).

La réalisation d'un protocole expérimental est donc un outil adéquat pour permettre aux élèves de réaliser un diagnostic de conception en les amenant à mobiliser leurs connaissances sur un sujet précis. Puisque que ceux-ci omettent de réaliser la situation par la suite, cela entraîne dans ce cas précis une inconnue dans le travail élaboré, vis-à-vis de celui réalisé précédemment.

8.4.2. Phases de production dans la réalisation d'une expérience en TP : graphique, texte, protocole

Étant donné que la réalisation du protocole d'expérience nécessite des contraintes énormes à dépasser et à prendre en compte, l'élève a pour tâche, de concevoir juste l'expérience sans toutefois procéder à une réalisation pratique. La difficulté de la réalisation pratique étant liée au respect de l'éthique, à la difficulté de la manipulation technique, à l'indisponibilité du matériel vivant, ... pour y arriver, il est nécessaire d'adapter la situation à une mise en pratique.

Ce travail se fait par l'intermédiaire de différents modes de conceptions/représentation. Soulignons tout de même qu'il nous permet tant que chercheur d'obtenir un certain nombre d'informations sur les conceptions ou connaissances de l'élève. De plus, certaines connaissances sont plus faciles à représenter graphiquement que textuellement et vis-versa. Comprendons que les élèves n'ont pas la même habileté avec le graphisme ou le texte. Leurs conceptions seront donc obtenues par rapport au problème posé en considérant l'ensemble des productions, qui se complètent les unes les autres en prenant en compte l'expression de leur réponse (Gwenda-Ella Chapel, 2006).

a. Hypothèse de réalisation de l'expérience par le biais de texte

Pour la plupart des situations qui sont proposées aux apprenants par l'enseignant, les hypothèses portent le nom d'idées et correspondent aux différentes hypothèses utilisées par les apprenants en vue de résoudre le problème qui est soumis à leur résolution. Dans le cadre de l'hypothèse réalisée par un texte, l'énoncé de ces hypothèses se fait par écrit dans une zone de texte réservée à ladite production. Dans le cadre de notre recherche, il s'agit de l'outil éditeur de texte GENEDIDACT.

L'écriture est d'une très grande importance dans l'expression des idées comme le soulignent plusieurs chercheurs. L'écriture est un outil de communication, d'expression et d'organisation des idées : "écrire pour penser, réfléchir, clarifier sa pensée, écrire pour communiquer" (Triquet, 2001, p.227)

Dans la situation qui est la nôtre, la première phase de production est la phase d'écriture. C'est elle qui permet aux apprenants de mobiliser leurs savoirs en les adaptant à l'exercice en vue de répondre au problème. « L'écriture est une activité langagière qui joue un rôle clef (...) dans la construction du savoir et la mise en forme de la pensée »(Prain, Hand & Hohenshell, 2001, p.49). La représentation écrite est une activité capitale pour la suite des productions étant donné qu'elle est la première étape de notre production. Dans cette activité, les apprenants sont amenés à exprimer leurs idées principales par le biais d'un texte écrit. Pour certains, il est question d'organiser les productions après l'activité écrite en procédant par exemple à la numérotation.

L'activité d'écriture qui est la phase principale de cette production est tout de même un instrument essentiel à l'organisation et à la formulation de la pensée de l'élève, car elle leur permet de structurer leurs idées de résolution du problème. Elle permet aussi à l'élève de s'approprier le problème en développant par la suite une de ses idées choisies parmi tant d'autres. Elle aidera par la suite à la représenter graphiquement dans la production suivante.

b. Les représentations graphiques comme hypothèse de réalisation d'une expérience

Dans le cadre de notre situation, le schéma légendé représente la deuxième production demandée aux élèves. Ce style de graphisme choisi semble le plus adéquat pour permettre aux apprenants de répondre au problème. Cette idée n'est pas choisie en dehors de celles décrites dans la première production, à savoir textuelle. « L'image ou la représentation graphique pouvant être à la fois utilisée comme outil de communication ou de vulgarisation d'un

concept » (Dahmani, 2009, p.22). Dans nos travaux, ils arborent une troisième fonction à savoir : outil de représentation, d'illustration de concept, de clarification.

L'approche abordée avec la représentation graphique est totalement différente de la connaissance. Mais elle est nécessaire pour faire le tour de la question. Il est important d'en donner une définition tout à fait claire, afin de comprendre l'intérêt de cette "expression graphique".

Une représentation graphique est composée de signes iconiques (analogie de la réalité), de signes plastiques (couleur, forme, composition...) et la plupart du temps, de signes linguistiques (légendaire, titres...). Dans ce cas l'image peut simplement servir à répéter le texte (c'est la fonction d'illustration), ou le compléter (complémentarité), ou développer également des significations différentes (relation de distanciation) (Dahmani, 2009, p.25).

Les représentations graphiques comme le texte, appartiennent à un champ disciplinaire particulier. Elles possèdent un rôle complémentaire à celui du texte.

Les élèves utilisent les conventions de la biologie dans leurs représentations graphiques à savoir par exemple : (une hélice = ADN, un cercle = une cellule). Dans leurs productions, les élèves utilisent « les propriétés de l'image visuelle pour faire apparaître les relations de ressemblance et d'ordre entre les données » (de Vries, 2006, p.71).

Après réalisation de cette seconde production (la représentation graphique), et dans le but d'être détaillée dans le protocole expérimental, la pensée développée graphiquement est reprise ultérieurement.

c. Le protocole expérimental comme hypothèse de réalisation d'une expérience

La rédaction d'un protocole expérimental est la troisième production demandée aux élèves dans notre situation. Cette production appartient à un système de représentation différent : c'est un texte dont la rédaction suit certaines conventions spécifiques de mise en page, d'ordre...

La rédaction d'un protocole est d'une importance capitale ; elle permet à l'élève d'exprimer ses idées sous une forme différente du texte et de la représentation graphique, et pouvant être transmise et utilisée par d'autres élèves. Cette situation, les contraint à organiser et à structurer leurs idées dans une succession logique de tâches en vue de décrire et rendre plus claire le principe expérimental qu'ils désirent réaliser. Cette activité est importante dans la mesure où elle aide les élèves dans la mise en exergue de leurs idées, leur pensée jetée en vrac sur le "papier texte" lors de la première production ou phase d'écriture. Ils doivent relater, lors de ce travail de rédaction et d'élaboration à toute chose nécessaire lors de la réalisation de l'expérience représentée graphiquement dans la seconde production : la succession d'actions, les mesures de sécurité, les exigences de la réalisation, ainsi que les

différentes techniques... En d'autres termes, ils la réfutent ou la valide en réalisant une expérience (Gwenda-Ella Chapel, 2006).

Cette troisième production à savoir le protocole expérimental est générateur d'une approche opposée à la conception, vu qu'elle complète l'explicitation en permettant une caractérisation plus pointue d'une succession d'actions. Celles-ci seront analysées au même titre que plusieurs opérateurs de la conception selon le modèle cK ϕ (Balacheff, 1995).

Les interactions entre les conceptions des élèves et le problème de la situation à résoudre nécessitent une évaluation de l'analyse didactique de la situation et de la tâche. Ce travail nous permettra d'obtenir des informations sur leur protocole expérimental et sur les types de représentations symboliques que les apprenants produiront (graphique et texte). Cette analyse sera présentée dans le chapitre 5

Conclusion du chapitre 4

Inscrite dans le champ de l'ingénierie didactique et visant à concevoir et à expérimenter des dispositifs d'enseignement de la génétique selon une approche méthodologique adaptée à l'enseignement des SVTEEHB, cette étude est fondée sur une posture de praticien-chercheur qui est à la fois impliqué dans sa recherche en tant que doctorant en didactique de la biologie tout en restant ancré dans le champ de la pratique en tant qu'enseignant des Lycées. Il s'agit donc d'une recherche expérimentale à visée collaborative dont l'objectif est de proposer un modèle didactique fondé sur des approches non numériques et une approche numérique d'enseignement de la génétique. Elle se fait en tenant compte des difficultés des élèves liées à leurs conceptions. En effet, cette méthodologie singulière se démarque des autres méthodologies classiques par des "va-et-vient" fréquents entre pratique et recherche, permettant de mieux articuler les expérimentations et les lectures théoriques.

Les expérimentations sont fondées sur la problématique de la prise en compte des conceptions des élèves en génétique dans un lycée rural et un lycée urbain. C'est une thématique découlant du programme de SVTEEHB de la classe de Terminale D. En outre, cette étude repose sur une approche expérimentale basée sur la passation d'un prétest et d'un post-test dans le groupe-témoin et dans le groupe expérimental. Par conséquent plusieurs méthodes de recueils et d'analyse des données ont été mobilisées. Ainsi, le dispositif de recueil et d'analyse des données sera présenté dans le chapitre suivant.

CHAPITRE V :

OUTILS, INSTRUMENTS METHODOLOGIQUES ET MODALITÉS D'ANALYSE DES DONNÉES

Les outils et instruments méthodologiques ont dans leur voisinage des modes d'investigation : particuliers, études de cas, études comparatives, expérimentations, simulations. L'interaction dialectique de ces différents pôles constitue l'ensemble de la pratique méthodologique ; cette conception introduit un modèle *topologique* et *non chronologique* de la recherche » (De Bruyne, Herman et De Schoutheete, 1974, p. 35-36). Elle précise les démarches entreprises, et les procédés techniques, les instruments méthodologiques employés ou produits et comment ils sont utilisés pour permettre l'étude de l'objet considéré. Elle détermine et contrôle ainsi les stratégies de recherche. Ces questionnements induits relèvent en particulier de l'épistémologie critique. « On peut distinguer quatre pôles méthodologiques dans le champ de la pratique scientifique : épistémologique, théorique, morphologique, technique. Ils (...) figurent des aspects particuliers d'une même réalité de production de discours et de pratiques scientifiques » (Lenoir, 1995, p. 20). Fondée sur une approche expérimentale, cette recherche a pour objectif la conception et l'expérimentation d'un modèle didactique d'enseignement de la génétique par le biais de dispositifs d'enseignement adaptés à l'évolution des conceptions des élèves en difficulté d'apprentissage. À cet effet, la population de cette étude est constituée des enseignants de SVTEEHB de la classe de Terminale D du Cameroun et des apprenants de la même classe. Afin de vérifier les différentes hypothèses formulées, nous avons constitué un corpus de données composé des questionnaires destinés aux enseignants, d'enregistrements vidéoscopiques des unités d'enseignement, des questionnaires destinés aux apprenants lors du pré-test, du test et du post-test ainsi que d'un questionnaire d'évaluation du dispositif. À la vue de la diversité du matériau récolté à la fois qualitatif et quantitatif, plusieurs méthodes d'analyse ont été mobilisées pour aboutir à des résultats significatifs tels que le traitement statistique des questionnaires des élèves et des enseignants, et la rédaction de synopsis des unités d'enseignement. Ce chapitre sera articulé autour de trois principaux points à savoir les outils de recueil des données, les démarches

d'analyses des données, le cadre éthique de la recherche, les forces et les limites de la méthodologie choisie.

1. Méthodes et instruments de collecte des données

Afin de mieux mener notre étude et de valider les hypothèses préalablement formulées, un dispositif de recueil des données a été mis en place et a permis de constituer un corpus de données composite, composé de matériaux de nature différente tels que les enregistrements vidéo-scopiques des unités d'enseignement sur la génétique et des questionnaires destinés aux apprenants et aux enseignants.

1.1. Enregistrement et observation des séances didactiques

Les enregistrements vidéo-scopiques ont « pour objectif de saisir l'action didactique des enseignants en génétique dans « un cadre temporel plus large que celui d'une séance d'enseignement isolée » (Glaudel-Serriere, 2016 ; pp.233). C'est une méthode qui consiste pour le chercheur à produire une analyse à priori des jeux épistémiques afin de concevoir des jeux d'apprentissage dans le cadre d'une ingénierie didactique (Gruson et al., 2012). Pour concevoir le modèle didactique de notre étude, cinq séances de leçons non numériques de génétique ont été enregistrées.

➤ Les activités préparatoires à l'enregistrement des leçons

Plusieurs activités préparatoires ont été mises sur pied pour la réussite de l'enregistrement des leçons telles que l'obtention des autorisations nécessaires, la programmation des jours des enregistrements et l'élaboration des séances didactiques par l'enseignant chercheur.

➤ La programmation des séances d'enregistrement des leçons

Une fois toutes les autorisations nécessaires obtenues, la deuxième étape est le choix des moments d'enregistrement. Les dates et les heures des enregistrements ont été fixées en concertation avec les enseignants. En effet, ces dates ont été choisies en fonction du projet pédagogique, de la fiche de progression et des emplois de temps de chaque enseignant, même si certaines ont été reportées à cause des imprévues liées aux réunions administratives et pédagogiques ainsi qu'à l'indisponibilité de certains enseignants.

➤ L'élaboration de la leçon par l'enseignant :

Il s'agit de la préparation d'une leçon par l'enseignant et l'enseignant-chercheur qui sera dispensée en salle de classe ordinaire et en salle numérique (salle d'informatique des dits Lycées)

1.2. Des questionnaires destinés aux enseignants de SVTEEB et aux apprenants

Dans l'optique de collecter les avis des enseignants sur l'approche didactique d'élaboration et d'utilisation du dispositif d'enseignement de génétique adapté à faire évoluer les conceptions des élèves en difficulté d'apprentissage, deux questionnaires ont été conçus pour collecter des données quantitatives qui seront utilisées pour vérifier nos hypothèses. Il s'agit d'un questionnaire en ligne conçu sur Google forms pour les enseignants et une série de questionnaires distribués aux apprenants au pré-test et au post-test.

1.2.1. Une méthodologie articulée sur la passation des questionnaires et des tests d'apprentissage

La méthodologie de cette recherche s'articule autour d'un paradigme de validation interne à partir d'une analyse des réponses des apprenants et une confrontation aux hypothèses avancées. À cet effet, le recueil des réponses des élèves au pré-test et au post-test s'est fait à partir de deux sujets d'évaluation successifs soumis aux apprenants avant et après l'exposition. Le but de ces sujets d'évaluation était de recueillir les conceptions initiales et les conceptions après l'intervention didactique dans l'optique d'évaluer l'évolution.

a. Questionnaire de prise en compte des représentations des élèves sur la génétique

Une enquête a été proposée aux élèves en guise de pré-test afin d'évaluer leurs conceptions initiales sur la génétique humaine et de cerner leur connaissance en génétique. Le questionnaire distribué aux apprenants comporte 24 items regroupés en 5 sections avec des objectifs précis (confer tableau 7).

Tableau 8: Sections et items du questionnaire de prise en compte de conceptions des apprenants

Section	Objectifs	Nombre d'items
Section 1: Peux-tu t'identifier?	Collecter les informations sociodémographiques des apprenants (sexe, âge, lieu de résidence)	04 items
Section 2 : Ta conception sur la transmission de l'information génétique	Recueillir les conceptions initiales et les représentations des apprenants sur la transmission de l'information génétique	04 items
Section 3 : Ta conception sur l'hérédité non liée aux chromosomes sexuels	Recueillir les appréciations que les apprenants ont de l'hérédité non-liée aux chromosomes sexuels	04 items
Section 5 : Les conceptions sur la notion de dominance, recessivité et codominance des genes/crossing Over	Recueillir les conceptions initiales et des apprenants sur notion de dominance, recessivité et codominance des genes/crossing Over	04 items
Section 6 : conceptions sur la notion de phenotype et genotype concernant le groupe sanguine	Recueillir les conceptions initiales des apprenants sur notion de phenotype/genotype concernant le groupe sanguin	04 items
Total		20 items.

Proposé par Mongo Onobiono (2021)

Il s'agit d'un questionnaire composé de 5 sections et 20 items qui permettent de recueillir des conceptions des apprenants en génétique. Ce travail avait pour objectif d'évaluer les conceptions initiales des apprenants.

b. La passation des sujets d'évaluation pour le pré-test et le post-test

Avant l'expérimentation, une épreuve a été distribuée aux élèves afin de prendre leur situation de départ dans le groupe-témoin et le groupe expérimental. Après chaque expérimentation, un second, troisième et ou quatrième test ont été remis aux apprenants dans le but d'évaluer l'évolution des connaissances. Il s'agit des épreuves différentes présentées au prétest. La confrontation des données du pré-test et du post-test ou des post-tests permettra une validation interne du dispositif d'enseignement. Il faudrait signaler que les épreuves du pré-test et du post-test/des post-tests ont été distribués au groupe de contrôle et au groupe expérimental. Ces épreuves comportent une série de questions ou d'items en génétique et articulées autour de l'évaluation des savoir-faire) et des compétences. (Confère Annexe)

c. Traitement et analyses des données

Au terme du recueil des données, un corpus de données qualitatives et quantitatives a été constitué. Ce corpus des données qualitatives est constitué de données audiovisuelles et textuelles issues des enregistrements des unités d'enseignement. Quant au corpus de données

quantitatives, il comporte des données statistiques issues de la passation des différents questionnaires aux apprenants et aux enseignants.

Afin d'analyser et de traiter ces corpus de données, deux méthodes d'analyse et de traitement des données ont été mobilisées en fonction de la nature des données. Il s'agit d'une part de la rédaction d'un synopsis, et l'autre part de l'analyse du discours génétique et de l'analyse statistique des données issues des questionnaires. Dans cette partie, nous présentons d'abord les modalités d'analyse descriptive des unités d'enseignement et les modalités d'analyse des données statistiques des questionnaires (tableau 8).

Tableau 9: Composition et traitement du corpus de recherche.

Types de données	Dispositif de recueil	Corpus de données	Modalités de traitement
Qualitatives	Trois « unités d'enseignement » de génétique observée et filmée sur « la transmission de l'information génétique » en classe de Terminale D (4 séances)	Corpus audiovisuel et textuel (épisodes porteurs de discours biologique)	-Observation didactique différée -Rédaction de synopsis des unités d'enseignement -Analyse des discours biologiques/génétique
Quantitatives	Questionnaire destinée aux enseignants de SVTEEHB	Corpus de données statistiques	Traitement statistique des questionnaires -Analyse statistique exploratoire
	-Evaluation au pré- test et au post test -Questionnaires d'évaluation du Dispositive	Corpus de données quantitatives	-Analyse statistique de confirmation, où nous avons utilisé le test de student et la variance

Proposé par Mongo Onobiono (2021)

d. Analyse descriptive des leçons enregistrées

Afin de concevoir notre dispositif didactique, il était important de mener une analyse préalable fondée sur une étude descriptive et compréhensive des activités didactiques au cours de l'enseignement des contenus didactiques de génétique. Cette analyse s'est faite au travers des dispositifs d'enseignement adéquats. Le but de cette analyse est de mieux comprendre l'activité didactique réelle des enseignants de SVTEEHB de la classe de Terminale D en situation de classe de génétique. De façon spécifique, cette analyse vise à questionner et analyser les pratiques didactiques des professeurs de SVTEEHB en vue d'élaborer notre dispositif d'enseignement. Elle comporte trois phases à savoir la sélection et la transcription des épisodes porteurs des

discours dans l'enseignement de la génétique, la construction du synopsis et l'analyse des discours et de l'activité langagière en génétique.

1.2.2. L'analyse de confirmation pour les données du pré-test et du post-test

L'analyse statistique de confirmation consiste dans le cadre de cette recherche à une comparaison des moyennes entre le groupe-témoin et le groupe expérimental. Plusieurs tests ont été réalisés tels que le T Student et le test de variance. Le T Student qui a pour échantillon apparié, a été mobilisé pour vérifier s'il existe une évolution entre les scores du pré-test et ceux du post- test dans le groupe expérimental et dans le groupe de contrôle. Le test de la variance grâce à l'indice statistique de Fisher permet d'évaluer la différence significative qui existe entre le groupe de contrôle et le groupe expérimental.

2. Le dispositif méthodologique

Le dispositif méthodologique repose sur ses caractéristiques, sur le développement du débat dans les espaces de contraintes et sur les outils langagiers mobilisés

2.1. Les caractéristiques du dispositif méthodologique.

Le dispositif méthodologique porte sur les 3 caractéristiques suivantes :

- Il comporte une observation participante longitudinale qui s'inscrit sur une durée de trois séquences successives et qui permet, à partir des états successifs (des situations forcées en pré-tests, en post-tests et en activités d'évaluation), de repérer des évolutions, des transformations, qui mettent au jour les dynamiques recherchées.
- Il comporte également une enquête ethnographique qui mobilise diverses prises d'informations principalement l'observation (« ouverte », c'est-à-dire non contrainte à travers une grille élaborée à priori, référant à un questionnaire).
- L'approche privilégiée greffée à la démarche globale susmentionnée. Elle est une approche qualitative, mais quasi-expérimentale. Elle accorde une grande importance à la qualité de l'information recueillie plutôt qu'à sa quantité (en termes d'occurrences par exemple). Cela n'empêche pas de mobiliser sur quelques points précis des méthodes quantitatives. Mais elles restent au service d'une approche qualitative.

À ce titre, sur la base des scores (aux pré-tests et post-tests) des apprenants répartis en groupe expérimental et en groupe de contrôle pour la classe de Terminale D. Il y'a eu recours

aux méthodes stochastiques de (Krickeberg et Ziezold, 1980). Elles permettent de réaliser des tests statistiques qui mobilisent les logiciels ANOVA et XLSTAT ainsi que la lexicométrie par le logiciel Tropes:

- Le test de Student, au niveau d'erreur de 5% ou au niveau de certitude de 95% permet de conclure si les 2 groupes (le groupe expérimental et le groupe témoin) forment un ensemble homogène. Le même test est aussi convoqué pour la comparaison des moyennes de scores issues de l'évaluation des conceptions des apprenants en vue de décider.
- Les F-tests permettent de conclure, à un niveau de certitude de 95%, s'il est acceptable. Il permet d'énoncer que : • les répétitions des activités liées aux pré-tests et aux post-tests sont statistiquement équivalentes. Ils renvoient au fait que ni le groupe expérimental ni le groupe de contrôle/témoin n'a été favorisé pendant les répétitions de l'expérience ; • les différences de scores en carrés moyens entre les pré-tests et les post-tests dans les groupes expérimentaux sont non-nuls pour décider de l'amélioration des compétences des apprenants.
- Le logiciel TROPES est un logiciel pluridisciplinaire de lexicométrie qui permet de procéder à une analyse quantitative et qualitative du discours d'apprenant. Cet outil contribue à l'analyse des discours des élèves et de leur travail langagier,

Le dispositif méthodologique comprend aussi un volet théorique et un volet expérimental qui se rapportent notamment à l'apprentissage. Il consiste en un ensemble dont les éléments constitutifs sont : les activités d'apprentissage, les stratégies, les méthodes, les approches, les outils, et les situations-problèmes d'évaluation. Ils sont le résultat d'une ingénierie didactique. Ce dispositif est mis en œuvre en deux phases : une phase de régulation et une autre phase d'expérimentation proprement dite.

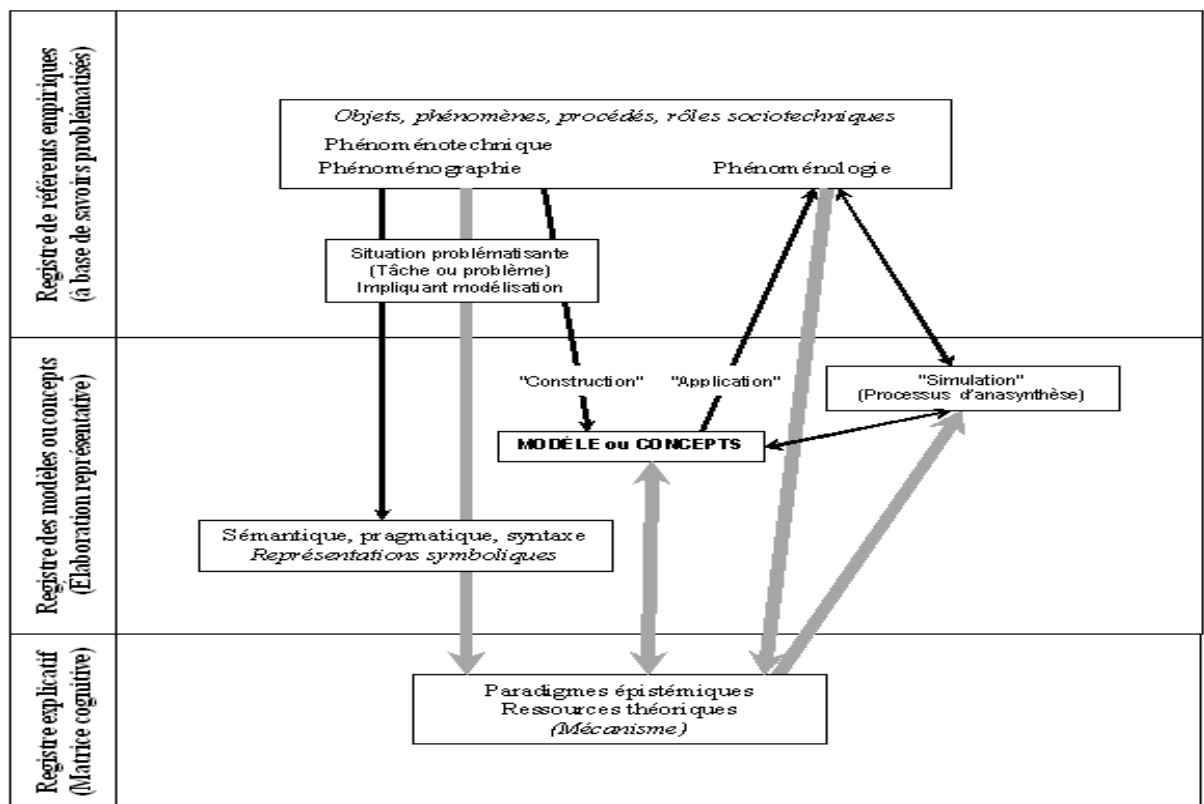
2.2. Le développement du débat dans les espaces de contraintes en préaction, interaction et post-action

En phase de préaction et de mise en situation chez l'enseignant, la conduite bienveillante instaure une situation problématisante préalable. Cette situation évoluera en situation-problème pendant la phase d'effectuation qui sert d'espace transitionnel et transactionnel au sein duquel les deux médiations (interne et externe ou intrinsèque et extrinsèque) interagissent. Cette instauration fait émerger un débat en classe qui sous-tend un

ensemble d'explications raisonnées se décrivant comme une façon de penser les relations entre situation-problème et solution.

La figure ci-après distingue une connaissance empirique problématisée initiale qui permet la construction du modèle (phénoménographie) d'une description seconde rendue possible par l'utilisation du modèle qui se projette sur le référent empirique (phénoménologie). Le schéma permet également de situer des activités de simulation qui correspondent, quant à elles, à une exploration du modèle selon un processus d'anasyntèse en plusieurs temps dans différentes classes bénéficiaires du projet pédagogique de l'enseignant. La matrice cognitive permet de décrire ce qui est disponible et mobilisable, ce qui doit être amené en conformité avec les exigences de la tâche et réciproquement ce qui restreint ou ouvre les problèmes envisageables.

Figure 7: Modélisation des espaces de contraintes lors du débat en classe



*Synthèse de Nkeck Bidias (2017ibid.) inspirée de Martinand (1996),
Orange (2007, 2002), et Lenoir (2014)*

2.3. Les outils langagiers mobilisés

Pour l'analyse du processus de problématisation dans les espaces de contraintes indiqués sur la figure 8, il faut distinguer trois types d'outils, à savoir, (i) les outils servant à analyser le travail langagier de construction d'une explication au cours des débats

scientifiques en classe, (ii) les outils préposés à analyser l'articulation des argumentations produites par les élèves et la construction des raisons et (iii) les outils permettant d'analyser les arguments produits par les élèves.

Les outils pour analyser le travail langagier de construction d'une explication au cours des débats scientifiques en classe portent un intérêt particulier à l'étude des reformulations des élèves qui sont considérées comme « des indicateurs d'une dynamique cognitive » (Nonnon, 1999, p. 118).

Les outils pour analyser l'articulation des argumentations produites par les élèves et la construction des raisons permettant l'étude de la dynamique argumentative du débat, associée à la façon dont sont construits et gérés les objets du discours et le discours lui-même dans le but pour le chercheur de rendre compte du processus de la problématisation, comme l'ont montré les travaux de Orange, Lhoste & Orange-Ravachol (2009).

Les outils pour analyser les arguments produits par les élèves ouvrent à l'examen des garanties et des fondements des arguments des apprenants qui restent souvent à des stades implicites et qui nécessitent la reconstruction. À ce titre, Grize indique que « c'est l'aspect discursif du raisonnement qui permet et même commande l'usage de non-dits. Ceci renvoie à la notion d'implicature [...], c'est-à-dire à ce qui est implicitement impliqué par les énoncés manifestes » (Grize, 1996, p. 108). Il faut alors faire l'hypothèse spécifique selon laquelle les propositions des élèves sont censées. Les inférences proposées devront permettre de rendre compte de la logique des propositions des apprenants actifs.

3. Généralité sur les Environnements Informatiques pour l'apprentissage Humain (EIAH)

L'une de nos situations est hébergée dans un milieu comprenant un environnement informatique pour l'Apprentissage Humain en construction (EIAH en construction). Un EIAH est un environnement informatique qui a la « finalité explicite de susciter et d'accompagner l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant » (Grandbastien, 2006, p.102)

Les EIAH sont des logiciels qui ont connu une émergence grâce aux travaux sur l'intelligence artificielle pendant les années 70. C'est à partir des années 90 qu'on a commencé à utiliser le terme EIAH. Il exprime la nécessité de créer un lien étroit entre l'informatique et les différentes disciplines impliquées dans les étapes de construction du savoir (Grandbastien, 2006).

La recherche sur les EIAH est toujours pluridisciplinaire, étant donné qu'il existe dans le nom EIAH, une coexistence de plusieurs domaines, décrits de manière explicites. Ces différents domaines disciplinaires sont : le domaine de l'informatique (domaine disciplinaire lié à l'apprentissage à savoir la didactique) et le domaine du savoir de référence étudiée après implémentation. En réalité, pour construire un EIAH, on a besoin de la collaboration de chercheurs informaticiens ; des chercheurs provenant des différents domaines du savoir étant donné que l'apport de chaque discipline est important lors de la conception de EIAH (Luengo, Vadcard & Balacheff, 2006). Pour ces chercheurs,

L'analyse didactique peut jouer un rôle fondamental dans la conception des différents supports informatiques. Une méthode est d'envisager la conception de l'environnement à partir de l'analyse didactique, en classe, du domaine (Luengo, Vadcard & Balacheff, 2006, p.53)

Pour que la compréhension et la cohérence soient mises en œuvre entre les différents agents des différents domaines, il est nécessaire que dans ce travail collaboratif, les différents chercheurs aient chacun une connaissance des outils, des méthodes et concepts manipulés par les autres (Grandbastien, 2006).

Le rôle d'un EIAH est de mettre en relation une plateforme informatique d'apprentissage et les différents acteurs humains (enseignants et élèves). Il se fait par l'intermédiaire des outils différents : exercices, ressources, communication, réseaux... Nous aurons à utiliser dans le cadre de nos travaux, un Environnement Informatique d'Apprentissage Humain (EIAH) en vue d'obtenir des productions des apprenants. Le but de cet EIAH est de diagnostiquer les conceptions des élèves en génétique et de les faire évoluer vers un savoir scientifique. Notre EIAH est en cours de développement par notre équipe. Il est créé pour notre situation, mais pourra aussi être utilisé dans d'autres situations.

3.1. Analyse des besoins de l'EIAH

L'analyse des besoins de l'EIAH passe par la présentation du but et la place de l'analyse d'une part et d'autres parts, par l'énumération des différentes phases de productions dans l'élaboration de la modélisation

3.1.1. But et place de l'analyse

Le modèle utilisé dans la conception de cet EIAH est le modèle ADDIE. D'après ce modèle, l'analyse est une étape essentielle de la programmation sur ordinateur. Elle consiste en la rédaction des spécifications du programme ; à la recherche des algorithmes propres et à leur résolution et en l'étude du problème à traiter. L'analyse se subdivise en deux phases à savoir :

❖ **Analyse fonctionnelle :**

Elle conduit à la définition d'une diversité des modules fonctionnels spécifiés par leur interaction entre résultats en sortie et les données en entrée et dont l'enchaînement aidera à la résolution du problème ;

❖ **Analyse organique :**

Chaque module fonctionnel se décompose en modules organiques spécifiés. Ils prennent en compte le système informatique dont l'objet est d'exécuter les programmes. L'analyse est matérialisée par un résultat représenté sous forme d'organigramme consigné dans un document appelé Document d'Analyse.

La phase d'analyse est celle qui aide à lister les résultats attendus en termes d'extensibilité, de sécurité, de maintenance, de robustesse, de performance, de fonctionnalité etc. C'est la phase au cours de laquelle les besoins du client (demandeur) sont formalisés après s'être exprimés et recueillis, comme l'ensemble des limites (contraintes). (Deschamps Patrice, 2015)

L'analyse est bien évidemment la phase du développement d'une application au cours de laquelle les attentes et les besoins des utilisateurs doivent être recensés de manière à ce qu'uniquement ceux-ci, soient effectivement pris en compte de manière exclusive. Cette analyse est bien menée grâce aux interviews, aux enquêtes, aux descentes sur le terrain, bref grâce aux échanges ou dialogue avec le demandeur. Elle permet d'éviter de nombreux manquements étant donné qu'elle crée de très bonnes attentes. La phase d'Analyse est la toute première étape du développement dans le domaine de l'ingénierie ; un mauvais développement de l'application conduit inéluctablement à l'obtention d'un mauvais résultat. Elle a donc un rôle capital, central et prédominant. Les résultats de cette phase sont consignés dans le document de spécifications fonctionnelles ou d'analyse. Soulignons que cette phase est directement suivie par la phase de conception (Ducharme Geneviève ; 2017)

3.1.2. Différentes phases de productions dans l'élaboration de la modélisation

Dans la situation, les notions biologiques visées sont mobilisées pour résoudre le problème « comment se transmet l'information génétique chez les descendants ? » La tâche de l'élève de Terminale D va consister alors en la conception de l'expérience ; bien qu'il ne la réalise pas pratiquement étant donné que la réalisation d'une expérience à ce niveau nécessite de grandes contraintes à surmonter (respect de l'éthique, manipulation technique, disponibilité du matériel vivant). C'est pourquoi la réalisation s'est faite dans un second temps en adaptant notre situation pour une mise en pratique de notre expérience. Il a été important pour nous dans la phase de modélisation, d'indiquer aux

élèves que les protocoles élaborés pourraient être proposés aux élèves de Terminale D appartenant à d'autres établissements scolaires. L'objectif étant d'amener les élèves à proposer les protocoles les plus réalistes possibles, accompagnés de plus de détails possibles.

3.2. Méthodologie de création et de mise en place de la situation

La situation faisant l'objet de ces travaux renvoie à la réalisation d'un Protocole expérimental via un certain nombre de productions et à l'élaboration d'une expérience. L'objectif visé ici est dans un premier temps de diagnostiquer les conceptions des élèves et dans un second temps de modéliser la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens à partir des parents sains. La validation de la situation et la validation des niveaux biologiques sont des étapes préliminaires de notre expérimentation qui nous conduit vers la situation finale.

La première étape de notre expérimentation s'intéresse sur l'émergence des conceptions des élèves qui sont pour la plupart liées aux difficultés pour les élèves d'identifier à quel niveau biologique se situe l'information génétique ; d'où la nécessité dans cette étape de vérifier et de valider les différents niveaux biologiques présents en génétique et de repérer les niveaux biologiques directement liés à la transmission de l'information génétique.

La deuxième étape de notre expérimentation s'applique à la validation de la situation. Elle se fait par l'élaboration des modèles de transmission de l'information génétique à partir des niveaux biologiques directement impliqués dans cette transmission chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens en provenance des parents sains. Il est question ici de créer une situation de diagnostic à partir de l'analyse du problème biologique et de la modélisation.

La troisième étape est l'expérimentation finale de la situation construite à partir du schéma de modélisation de la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens provenant des parents sains (transmission de l'information génétique d'une génération).

Les résultats issus de l'analyse de chacune de ces trois étapes permettent la construction de celle qui suit. Cette méthodologie s'apparente au « design experiments » de Brown (1992). Il est qualifié par lui de méthodologie par ajustement successif. Cette phase de modélisation a été menée avec 206 élèves.

❖ Scénarios développés dans les différentes interfaces

1^{ère} interface : Interface d'émergence des conceptions

Cette première interface est divisée en trois espaces dont les objectifs sont les suivants

Espace 1 et Espace 2 : travail individuelle des élèves : l'enseignant a la possibilité d'avoir un regard sur les travaux des élèves à ce niveau sans pouvoir intervenir

Espace 3 : Les élèves doivent visualiser le scénario de méiose pendant 3 minutes. Ils devront par la suite répondre aux questions pendant 2 minutes = **5 minutes à faire dans cet espace**

Une fois les réponses aux questions obtenus (3 questions fermées), les élèves seront renvoyés automatiquement tous à l'interface 2 dite espace **discussion** après délais de 2 minutes des réponses.

❖ Les 2 questions auxquelles les élèves devraient répondre :

Question 1 : est-il possible pour deux parents non albinos de donner naissance aux enfants non albinos

1. Oui
2. Non

Question 2 : (uniquement pour ceux qui ont donné la réponse numéro 2. Non à la question 1) : Si cela arrivait dans une maison (la naissance d'un enfant albinos d'un couple non albinos). Quelle serait la raison selon vous ?

1. Origine adultérine
2. Origine Mystique ou sorcellerie
3. Origine liée à la conception en période des menstrues

Question 3 : est-il possible pour deux parents non drépanocytaires de donner naissance aux enfants drépanocytaires

1. Oui
2. Non

Question 4 : (uniquement pour ceux qui ont répondu 2. Non à la question 3)

Si cela arrivait dans une maison (la naissance d'un enfant drépanocytaire chez un couple non drépanocytaire). Quelle serait la raison selon vous ?

1. Origine adultérine
2. Origine Mystique ou sorcellerie
3. Origine liée à l'absence des examens prénuptiaux

2^{ème} interface ou espace 2 : espace discussion

Dans cette interface les élèves se retrouvent dans une plateforme d'échange (réseau social).

➤ **Les réponses à la question 1 et à la question 2 scindent la classe en 4 groupes différents**

Groupe 1 : ceux qui ont répondu **1. Oui** à la question 1

Pour ceux qui ont répondu par 2. Non à la question 1, se retrouveront dans les groupes

Groupe 2 : ceux qui ont répondu **2. Origine adultérine** à la question 2

Groupe 3 : ceux qui ont répondu **3. Origine mystique** à la question 2

Groupe 4 : ceux qui ont répondu **4. Origine liée à la conception en pleine période sexuelle** à la question 2

➤ **Les réponses à la question 3 et 4 scindent la classe en 4 groupes différents**

Groupe 1 : ceux qui ont répondu **1. Oui** à la question 3

Pour ceux qui ont répondu **2. Non** à la question 3, se retrouveront dans les groupes

Groupe 2 : ceux qui ont répondu **2. Origine adultérine** à la question 4

Groupe 3 : ceux qui ont répondu **3. Origine mystique** à la question 4

Groupe 4 : ceux qui ont répondu **4. Origine liée à l'absence des examens pré-nuptiaux** à la question 4

Les réponses à ces deux groupes de deux/deux questions classent automatiquement les apprenants en groupes (groupe 1, groupe 2, groupe 3, groupe 4).

2^{ème} interface

Les réponses ou justificatifs dans cette plateforme (2^{ème} interface) des élèves se font à l'intérieur du groupe. Une intervention d'un individu renvoie à ce moment à l'intervention du groupe. Chaque groupe peut mandater une personne pour répondre au nom du groupe. Son nom apparaît pendant son intervention en mentionnant le nom du groupe (groupe 1, groupe 2, groupe 3, groupe 4)

Le but des discussions est sensé rapprocher les 3 derniers groupes des réponses **du groupe 1 à chaque fois (groupe qui a raison)**

L'enseignant peut réguler ou orienter le débat sans toutefois communiquer les réponses aux élèves dans cette interface ou espace.

L'enseignant régule le débat et donne la possibilité à chaque groupe de défendre ses

idées et ses conceptions. Il donne aux uns la possibilité de poser les questions et aux autres de répondre. Les interventions se font à l'intérieur d'un groupe. Chaque fois que le membre d'un groupe intervient, son nom et le nom du groupe apparaissent dans tous les ordinateurs. Chacun à partir de son ordinateur peut donc suivre la discussion.

Après un temps passé dans cette interface. L'enseignant seul a la possibilité de fermer cet espace discussion pour amener tout le monde dans l'espace **institutionnalisation**

3^{ème} interface : espace institutionnalisation

Dans cet espace, c'est uniquement l'enseignant qui a la possibilité d'intervenir. C'est l'espace où l'enseignant doit recadrer les élèves en leur donnant la bonne réponse. Un élève peut intervenir uniquement si l'enseignant le lui accorde. Il ne peut que donner la parole à une personne du groupe. Celui-ci peut répondre au nom du groupe. Mais c'est l'enseignant qui déroule ici les chromosomes et les appariements à la phase de la méiose

Dans la première interface, dans l'espace 2, il est question de demander aux élèves d'indiquer l'élément biologique où se trouvent la transmission et la modification de l'information génétique. L'élève est sensé choisir parmi les neuf niveaux biologiques, celui qui est directement impliqué dans la transmission et la modification de l'information génétique. Neuf niveaux sont proposés aux élèves, parmi lesquelles deux sont présents dans le même protocole.

Tableau 10: Différents niveaux biologiques des graphiques

Lettres	Niveau biologique
A	Organisme
B	Organe
C	Cellule
D	Membrane cellulaire
E	Noyau
F	Membrane du noyau
G	Caryotype
H	Chromosomes
I	ADN
J	Gènes

Dans l'espace 3 de la première interface, l'élève est sensé choisir le niveau biologique directement impliqué dans la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens en provenance des parents sains. Le texte illustre clairement les idées des élèves et donc les niveaux biologiques sur

lesquels ils pensent travailler étant donné que le graphique et le protocole expérimental ne font qu'allusion ou appel à un seul niveau biologique.

Les différentes consignes d'utilisation du GENEDIDACT sont données en début de séance d'expérimentation. Deux fiches papiers sont mises à la disposition de chaque élève assis devant chaque poste de travail en salle d'informatique de l'établissement. Sur les deux fiches, on retrouve respectivement l'ensemble des consignes de la situation (pour la première) et des consignes et aides pour la navigation dans GENEDIDACT (pour la deuxième)

Figure 8: Feuille de consignes

<p>Transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires ou albinos en provenance des parents sains</p> <p>Au cours de cette séance, vous allez concevoir des graphiques et protocole expérimentaux permettant de transmettre l'information génétique aux individus drépanocytaires ou albinos en provenance des parents sains</p>
<p>Organisation du travail</p>
<p>Vous travaillerez individuellement sur les ordinateurs en vous connectant au travers du site http// GÉNÉDIDACT.fr</p> <p>L'ensemble de votre travail fera l'objet de la connexion dans trois interfaces de travail. L'interface 1 conduit à trois espaces renvoyant chacune à une production. Une fois le temps imparti pour chaque espace achevé, vous serez conduit vers l'interface 2 qui est l'espace discussion à l'intérieur d'un groupe partageant les mêmes idées. Après 1h de discussion, vous serez amené dans l'interface 3 pour le recadrage fait par l'enseignant</p>
<p>Les différentes productions de l'interface 1</p>
<p>Espace 1 : Un texte présentant toutes vos idées pour résoudre le problème</p> <p>Espace 2 : Des schémas ou dessins accompagnés d'un protocole expérimental détaillant et représentant l'expérience à réaliser.</p>
<p>Organisation des Idées, schéma/ protocoles de l'expérience</p>

Vous avez **45 minutes** pour réaliser ces productions dans l'interface 1, passé ce délai, cette interface va se fermer pour vous conduire à l'interface 2 (interface discussion).

1. Donnez vos idées pour la résolution du problème et écrivez-les dans la zone de texte.
2. Réalisez des dessins ou schémas accompagnés d'un protocole expérimental pour illustrer vos idées à l'aide de l'outil dessin.
3. Enregistrer votre travail en cliquant sur sauvegarder dans le menu déroulant.

Attendez que l'interface discussion s'ouvre pour continuer l'expérience.

Organisation de la discussion (Interface 2)

4. Attendez l'ouverture de l'interface discussion et désignez une à deux personnes par groupe pour défendre leur point de vue et le choix de leurs réponses indiquées par l'enseignant.
5. L'enseignant régule le débat et donne la possibilité à chaque groupe de défendre ses idées et ses conceptions. Ils donnent aux uns la possibilité de poser les questions et aux autres de répondre. Les interventions se font à l'intérieur d'un groupe, chaque membre d'un groupe intervient, son nom et le nom du groupe apparaissent dans tous les ordinateurs. Chacun à partir de son ordinateur peut suivre la discussion

Figure 9: Feuille d'aide à la navigation dans GENEDIDACT

Aide pour la navigation dans GENEDIDACT

Espace mission :

Vous y découvrez la description de l'expérience que vous avez à réaliser et toutes les consignes pour la mener à bien.

Espace ressources :

Pour votre situation didactique, aucun document n'est disponible dans cet espace.

Espace résultats :

Pour votre situation didactique, cet espace n'est pas accessible.

Espace publication :

Dans cet espace, vous trouverez deux outils nécessaires à la réalisation de la situation :

1. Un éditeur de texte qui fonctionne comme « Word ».
2. Un éditeur de dessin.

Espace dessin et protocole expérimental :

Dans cet espace se trouvent les outils de dessins et l'éditeur de protocole. Vous allez schématiser les niveaux biologiques identifiés et organiser votre protocole de transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires ou albinos à partir des parents sains.

Il est important de structurer les grandes étapes du protocole et si nécessaire les actions.

Dans cet espace dessin et protocole expérimental, vous trouverez les outils de dessin vous utiliserez le curseur de votre souris dessus pour sélectionner l'outil de dessin que vous voulez utiliser. En pointant le curseur sur l'outil désiré, vous découvrirez également la notice d'utilisation de ce matériel qui apparaît

3.3. Méthodologie de la Modélisation proprement dite

Nous avons utilisé le modèle cKç de Balacheff (1995) en vue de formaliser les conceptions des élèves de Terminale D sur la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens (Trisomie 21) provenant des parents sains.

Nous avons ainsi construit la transmission de l'information génétique par la représentation des graphismes comportant les cinq objets biologiques inclus dans les phénomènes tels que la méiose et la fécondation. L'objet chromosome épouse plusieurs représentations (noyau à $2n$ chromosomes, noyau à n chromosome, noyau à chromatides). Nous les avons définis selon les paramètres du modèle :

- P est un ensemble de problèmes (...);
- R est un ensemble d'opérateurs ;
- L est un système de conceptions, il permet d'exprimer les éléments de P et de R ;
- Σ est une structure de contrôle » (Balacheff, 1995, p.224).

L'adaptions que nous proposons au niveau de cette modélisation intègre les éléments ci-après. Nous retrouvons donc plusieurs représentations graphiques à l'intérieur de cinq objets biologiques correspondant aux objets que les élèves peuvent considérer comme étant le support de l'information génétique.

Nous appliquons ensuite la construction de notre graphisme en partant de deux cellules sexuelles parentales représentées par la paire de chromosome 11, celle porteuse de la drépanocytose d'une part, et de l'albinisme d'autre part. Relevons le fait que les graphiques

doivent comporter les différents objets biologiques cités plus haut. Ils apparaissent tout au long des phénomènes tels que la méiose, la fécondation et la duplication. Une action sur un objet biologique est alors considérée, selon notre adaptation du modèle cKç, comme un opérateur (R) dans le registre des conceptions (L) « écrit/texte ». Ces éléments garantissent ensuite la cohérence de ces différents opérateurs qui sont des contrôles (Σ). Ce sont soit des caractéristiques de l'objet biologique (Σ^1) ou du niveau considéré, soit une conséquence de la modification (Σ^2).

Nous attendons du travail des élèves un système de représentation graphique, car nous leur avons demandé de réaliser des schémas illustrant la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires/albinos à partir de parents sains. Pour ce système-là, les opérateurs sont des représentations graphiques types comportant des objets biologiques ; elles sont décrites textuellement dans notre modélisation.

On obtient ainsi pour notre modélisation, un tableau comprenant les éléments entrant dans le graphisme.

Tableau 11: cKç appliqué à la modélisation graphique

Objet biologique	Système de représentation(L)	Opérateur (R)	Contrôle 1 (Σ^1)	Contrôle 2 (Σ^2)
Chromosomes	Représentation graphique	-représenter un chromosome ou la paire de chromosome portant son allèle ou sa paire d'allèle -Dédoublment des chromosomes lors de la Méiose ; -Appariement des chromosomes pendant la fécondation - redoublement des chromosomes après duplication de l'ADN	Le chromosome contient l'ADN qui est le support de l'information génétique de tout organisme. Il contient l'ensemble des informations nécessaires au développement et à la survie d'un organisme C'est le support de l'hérédité. Il est transférable à tous les organismes	La transmission de l'information génétique se fait par le biais des chromosomes porteur de l'ADN et des gènes qui sont des brins de l'ADN et dépositaire de l'information génétique.
Chromatides	Représentation graphique	-représenter le brin de chromatide sous forme de bâtonnet portant un allèle -représenter la paire de chromatide portant sa paire d'allèle -passage des chromatides en chromosomes après duplication de l'ADN	Le chromatide est un brin de chromosome. Il contient lui aussi l'ADN qui est le support de l'information génétique de tout organisme. Il contient l'ensemble des informations nécessaires au développement et à la survie d'un organisme C'est le support de	Les chromatides sont aussi dépositaires de l'information génétique par le biais de l'ADN et des gènes qui sont des brins de l'ADN, tous dépositaire de l'information génétique

			l'hérédité.	
Gène	Texte	-représentation des gènes sous forme d'allèle -rescription textuel du gène	Le gène est un morceau d'ADN qui correspond à une information génétique particulière qui code pour une protéine unique. Il est une très petite portion de chromosome.	La transmission des gènes d'une génération à une autre assure la transmission de l'information génétique
Allèles	Représentation graphique	-représenter l'allèle porté par le chromosome ou par le chromatide -représenter les allèles sous forme de lettre correspondant au caractère	Ce sont les différentes versions d'un même gène	La transmission des allèles lors des phénomènes de méiose et de fécondation d'une génération assurent la transmission de l'information génétique au sein d'une famille.

Dans ce tableau nous pouvons remarquer, le regroupement de deux objets biologiques entre eux qui paraissent très rapprochés (chromosome et chromatide ; Gène et allèle). Le deuxième couple désigne des objets très importants pour notre modélisation, car ils apportent des informations supplémentaires sur la modélisation des phénomènes de transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires/albinos et mongoliens à partir des parents sains sur le plan structurel.

L'élaboration de cette formalisation avec le modèle $cK\phi$, nous a permis de construire notre situation formalisant les phénomènes de transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaire/albinos. Ainsi, le matériel biologique disponible dans les protocoles préstructurés de notre logiciel ou plateforme de génétique (GENEDIDACT) correspond à l'ensemble des objets biologiques indispensables pour la modélisation de la situation. Enfin, cette modélisation nous a permis d'élaborer nos grilles d'analyse quantitative ainsi qu'un outil de diagnostic de conceptions comme nous le verrons dans les résultats

Maintenant que nous avons défini et analysé la situation et le problème posé en fonction du savoir scolaire et de notre cadre théorique, nous pouvons réaliser une analyse préalable à l'expérimentation en vue d'envisager les résultats que nous pourrions obtenir.

3.4.Échantillon dans la pratique de modélisation

La situation d'expérimentation de la plateforme GENEDIDACT a été testée en Janvier 2021. Le test a été réalisé auprès de 102 élèves qui appartenaient à deux classes différentes dirigées par deux enseignants et dans le même établissement (52 de Terminale D1 et 50 élèves de Terminale D6 du lycée de Biyem-Assi) dans l'arrondissement de Yaoundé 3. Soulignons le fait qu'il s'agit là d'un établissement d'enseignement général. Ce test apparait après que les élèves de cette classe ont reçu les enseignements sur l'information génétique (leçons dispensées au premier trimestre). Étant en début du deuxième trimestre, ces élèves ont tous, théoriquement, abordé les notions de méiose, fécondation et transmission de l'information génétique. Ce qui nous permet de dire qu'ils ont toutes les connaissances nécessaires pour répondre au problème.

Ensuite, l'expérimentation de la situation sur la plateforme de génétique s'est déroulée en Février 2021. Les élèves présents pour cette phase d'expérimentation étaient au nombre de 236. Ils font partie de 5 classes réparties sur deux lycées différents (54 élèves de TD2, 50 élèves de TD3, 51 élèves de TD4, 53 élèves de TD5 du lycée de Biyem-Assi et 34 élèves du Lycée de Mouko). Nous avons pu travailler uniquement avec ceux des élèves présents, étant donné que les effectifs initiaux de ces classes sont les suivants. Lycée de Biyem-Assi (57 : TD1, 56 : TD2, 58 : TD3, 58 : TD4, 57 :TD5, 59 :TD6) et 36 élèves du Lycée de Mouko. Nous avons eu au final 242 élèves faisant partis de l'expérience. Parmi ceux-ci 118 ont participé à l'expérimentation sur la plateforme de génétique (groupe expérimental) et 121 élèves n'ont pas participé à l'expérimentation sur la plateforme de génétique (groupe expérimental). L'évaluation diagnostique dans ces différentes classes nous a permis de scinder chaque classe en deux groupes homogènes.

3.5. Organisation pédagogique de la situation de modélisation

Pour la réalisation de la situation, les élèves des différentes classes qui faisaient partie du groupe expérimental ont été placés individuellement devant les ordinateurs dans les salles informatiques des différents établissements où a lieu notre expérimentation. L'organisation de l'expérimentation s'est faite en tenant compte des emplois de temps de SVTEEHB dans chaque salle de classe concernée par notre expérimentation. La première séance dans chaque classe a consisté à faire passer une évaluation diagnostique (pré-test) permettant de scinder chaque salle de classe en deux groupes équilibrés (groupe expérimental et groupe témoin). Le

groupe expérimental de chaque classe a travaillé dans la salle d'informatique du lycée avec l'intervenant chercheur et l'un des informaticiens qui a l'accompagné dans la réalisation de la plateforme numérique. Les élèves du groupe témoin par contre sont restés en salle de classe avec l'enseignant titulaire de la classe. Tous les élèves de la classe ont ensuite été remis ensemble dans leurs salles de classe respectives pour l'évaluation de contrôle (post-test). Les groupes classes ne sont pas passés simultanément, à l'exception de la Terminale D2 et la Terminale D5 du lycée de Biyem-Assi dont les heures de SVTEEHB coïncidaient le jour de la phase expérimentale. Les classes de Terminale D3 et Terminale D4 du lycée de Biyem-Assi et la Terminale D du Lycée de Mouko sont passées chacune à son tour. Ils sont passés des jours différents des autres. L'organisation prévue de la situation en salle d'informatique est la suivante :

Tableau 12: Organisation pédagogique de la situation expérimentale

Temps	Durée	Acteur	Action menée
0 à 5min	5 min	Enseignant	-Accueil et installation des élèves, -présentation du chercheur et de l'informaticien
5 à 15min	10 min	Chercheur	-Présentation de l'intervention (son rôle, son analyse, ce que l'on attend des élèves) -présentation de la situation de modélisation -présentation de GENEDIDACT et son fonctionnement
15 à 20 min	5 min	Élève	-Entrer dans la plateforme de génétique GENEDIDACT -Lecture des instructions et appropriation de la situation
20 à 35 min	15 min	Élève	Réalisation de la première production (protocole expérimental/modélisation de la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires/ albinos en provenance des parents sains) -Enregistrement
35 à 40 min	5 min	Élève	-Réalisation de la deuxième production (production textuelle) -Enregistrement et renvoi automatique dans l'espace discussion
40 à 45 min	5 min	Logiciel/ Chercheur	-attente des retardataires pour renvoi automatique dans l'espace discussion -capture d'écran des productions des élèves par le chercheur.
45 à 75 min	25 min	Élèves/ Chercheur	-Discussion dans les sous-groupes par affinité des conceptions des élèves -modération par le chercheur
75 à 85 min	10 min	Chercheur	-conclusion de la discussion -Analyse rapide des productions des élèves (interpréter chaque protocole en indexant la conception liée à ce protocole)
85 à 88 min	3 min	Élève	-temps de remise en cause de leurs différentes conceptions (au travers de leurs productions) après discussion et analyse par l'enseignant
88 à 90 min	2 min	Élève	Fermeture de la plateforme et arrêt de l'ordinateur

Proposé par Mongo Onobiono 2021

Cette organisation est une indicative pour les chercheurs, surtout pour ne pas dépasser le temps imparti aux explications. Ensuite, le temps prévu pour chacune des productions est adapté à chaque élève.

En vue de mener à bien notre situation, et pour que sa réalisation soit optimale, nous avons au préalable testé la situation. Le temps total était identique (à savoir 1h30), mais la durée des différentes phases de notre situation a été ajustée en fonction des difficultés que les élèves ont éprouvées pendant le test. Pendant le test, les élèves devaient imprimer chacune de leurs productions pour nous les remettre en fin d'expérimentation

4. Forces et limites de la méthodologie

Nous avons mobilisé dans cette recherche une approche mixte (quantitative et qualitative) dans le cadre de l'ingénierie didactique développée par praticien-chercheur. Cette démarche méthodologique présente des forces et des limites. En ce qui concerne les forces, la démarche méthodologique adoptée dans cette recherche se démarque des autres par son originalité. Cette originalité se matérialise par l'association de deux approches méthodologiques à savoir l'approche quantitative (questionnaires aux enseignants et aux apprenants) et qualitative (Analyse des enregistrements vidéo-scopiques). De plus, nous avons mobilisé une méthodologie de l'ingénierie didactique fondée sur une posture de praticien-chercheur. Ces deux fondements méthodologiques ont largement contribué à la formalisation d'une recherche qui questionne une problématique didactique liée à la pratique professionnelle. Enfin, cette méthodologie associe deux instruments de collecte complémentaire à savoir les enregistrements vidéo-scopiques et une multitude de questionnaires (aux enseignants et aux apprenants) permettant de cerner la problématique de recherche dans sa globalité et sa complexité.

Cependant, cette méthodologie présente un certain nombre des limites. D'une part, les recherches fondées sur l'ingénierie didactique sont généralement des études de cas dont les résultats sont difficilement généralisables. Elles sont plutôt fondées sur un principe de reproductibilité qui nécessite de faire appel à des enseignants dans une approche collaborative. D'autre part, la densité du corpus constitué d'une panoplie de données rend difficile l'analyse et nécessite une diversité d'approches complexes. Enfin un échantillon de 381 élèves de Terminale D sur l'ensemble du territoire implique des limites quant à la généralisation des résultats.

Conclusion du chapitre 5

Afin de valider les différentes hypothèses formulées, le dispositif de recueil de données choisi était fondé sur une approche qualitative (observation des séances didactiques), une approche quantitative (questionnaires au pré-test et au post-test, questionnaire aux enseignants) ainsi qu'une approche expérimentale (conception et expérimentation des dispositifs numériques et non numériques en salle de classe/ salle d'informatique des différents lycées). Ces dispositifs d'enseignement nous ont permis de constituer un corpus de données variées à partir d'un échantillon de convenance constitué de quatre enseignants et des élèves des classes de Terminales des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko. Vu le caractère composite de ce corpus de données, les modalités de traitement et d'analyse des données sont à la fois qualitatives (analyse des séances idoscopique et construction de synopsis) et quantitatives (analyse statistique descriptive et de confirmation). Les résultats de nos analyses sont présentés, interprétés et discutés dans la troisième partie de ce mémoire de thèse. Il sera question de dérouler concrètement les dispositifs d'enseignement proposés, d'analyser les apports didactiques et pédagogiques de ces dispositifs aux regards des approches didactiques présentées dans le cadre théorique.

Conclusion de la partie

À partir de notre problématique, du cadre théorique et des hypothèses de recherche, nous avons adopté une méthodologie de recherche particulière reposant sur une approche de l'ingénierie didactique et une posture de praticien-chercheur. C'est une recherche fondée sur une analyse à priori et à posteriori d'une part et qui s'articule autour d'un champ de la pratique et de la recherche d'autre part. Étant donné que l'objectif de cette recherche est de montrer le rapport qui existe entre les dispositifs classiques utilisés et les dispositifs d'enseignement numériques et non-numériques de prise en compte des conceptions des élèves en génétique en classe de Terminale D. Nous avons adopté pour un dispositif de recueil des données à la fois quantitatif et qualitatif regroupant l'enregistrement de séances didactiques, ainsi qu'une série de questionnaires adressée aux élèves et aux enseignants, en plus de la conception et l'expérimentation des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves en situation de classe de génétique de Terminale D. Enfin, deux modalités d'analyse des données ont été choisies en fonction des corpus de données à savoir l'analyse des enregistrements vidéo-scopiques des séances et l'analyse statistique des questionnaires. Cette partie illustre la démarche méthodologique qui a été adoptée dans le cadre de cette recherche. Elle présente le type de recherches choisies, la posture de recherche, les méthodes de recueils des données et les modalités d'analyse. Les différents résultats obtenus à partir de l'analyse des corpus de données seront mobilisés dans la partie suivante qui porte sur la présentation et la discussion des résultats.

TROISIÈME PARTIE :
ANALYSE, DISCUSSION ET INTERPRÉTATIONS DES
RESULTATS

Cette recherche examine la plus-value de l'élaboration et l'usage des dispositifs d'enseignement comme instrument adéquat pour pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique. Il est question de concevoir et d'expérimenter des dispositifs d'enseignement de génétique numériques et non numériques permettant de faire évoluer les conceptions des élèves et leur permettre de mieux comprendre la génétique dans son ensemble. Cette partie contribue à évaluer et commenter les résultats des observations et des analyses, en émettant des réserves méthodologiques qui s'imposent. L'analyse, la discussion et l'interprétation des résultats sont des actions qui consistent à « préciser la contribution de l'étude à l'avancement des connaissances, à identifier les failles ou les réserves méthodologiques et à suggérer la direction à suivre pour compléter la recherche ou en entreprendre d'autres » (Lefrançois, 1991, p. 54). L'objectif majeur consiste à : « décomposer systématiquement un contenu en ses éléments en vue d'en examiner les relations (...) et à attribuer un sens, une explication à des résultats d'observation ou d'analyse » (Lenoir, 1995, p. 32). Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs analyses ont été menées sur des corpus de données de nature différentes. Les dispositifs d'enseignement proposés ont été conçu à partir d'une méthodologie de l'ingénierie didactique fondée sur une analyse à priori et à postériori, un paradigme de validation interne à partir d'une comparaison statistique des performances entre le groupe expérimental et le groupe-témoin.

Cette partie permettra de comprendre les situations didactiques ordinaires sur l'enseignement de la génétique afin de proposer des dispositifs d'enseignement innovants permettant de faire évoluer les conceptions des élèves afin de mieux comprendre la génétique. En outre, il sera question d'évaluer l'impact du dispositif d'enseignement sur le niveau d'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine. Ainsi, cette dernière partie est structurée en trois chapitres. Le chapitre 6 porte sur l'analyse des préalables et la conception du dispositif d'enseignement. Le chapitre 7 sera axé sur la présentation et de l'interprétation des résultats de l'expérimentation du dispositif didactique. Et enfin, le chapitre 8 s'articulera autour de l'interprétation et la discussion des résultats de l'expérimentation.

CHAPITRE VI :

ANALYSE DES PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT EN GÉNÉTIQUE ET CONCEPTION DU DISPOSITIF D'ENSEIGNEMENT

Ce chapitre participe à l'analyse des données qualitative et à la description de l'activité réalisée dans le groupe expérimental, avec pour objectif majeur l'analyse des dispositifs d'enseignement en situation de classe de génétique en Terminale D, dispositifs élaborés dans le cadre de nos travaux. L'analyse des pratiques d'enseignement est une action qui consiste « à décomposer systématiquement chaque contenu en ses éléments en vue d'en examiner les relations » (Lenoir, 1995, p.32). Elle se présente sous la forme « de discours, de textes, de récits, de notes d'observation [...]. On a aussi des photos » (Van der Maren, 1991, p. 94). Dans l'optique de mieux comprendre les étapes de cette ingénierie, nous allons mener une description du travail didactique réalisée dans le groupe expérimental en procédant à l'analyse des pratiques d'enseignement de génétique à partir du dispositif d'enseignement non numérique d'une part, et d'autre part à l'analyse des pratiques d'enseignement de génétique à partir du dispositif d'enseignement numérique de modélisation.

1. Analyse des Pratiques d'enseignement de génétique à partir du dispositif d'enseignement non numérique

L'analyse de l'enseignement de génétique à partir du dispositif non numérique et de ses effets est l'une des phases importantes de la conception d'un dispositif didactique. Elle fournit au chercheur des informations importantes pour questionner et comprendre les pratiques d'enseignement ordinaires des enseignants sur le contenu didactique de génétique. De façon précise, le chercheur mène une étude descriptive et compréhensive de ce qui se passe pendant une situation didactique. Dans cette partie, nous mènerons une analyse globale et détaillée des quatre séances d'enseignement enregistrées. Nous insisterons sur le contexte spécifique de chaque séance ainsi que le discours biologique de prise en compte des conceptions des élèves qui en découle afin de parvenir aux pratiques d'enseignement.

Nos séances d'enseignement seront codifiées par des abréviations aux significations suivantes

- **FST** : forme sociale du travail ;
- **Techniques pédagogiques (T)** ; Co= collectif ; G (n) = groupe en précisant le nombre d'élèves ; I : individuelle ; Bs =Brainstorming ; Ad : analyse des documents ; Eq= Enquête ; Question-Réponse (Q-R) ;
- **Ressources didactiques (Rd)** : Ta = tableau ; M = manuel ; T = texte ; P = Photographie ; Cm : Cartes ; C = carte « individuelle » ; Cro=Croquis de génétique ;(Pr) =Pré requis

1.1. Analyse des résultats du test 2 : transmission de l'albinisme, mongolisme (Trisomie 21) et drépanocytose par les parents sains : classe de Terminale D.

Cette analyse repose sur l'examen des séances didactiques d'émergence des conceptions, de destructions des conceptions erronées et celle des séances d'institutionnalisation.

1.1.1. Analyse des séances didactiques d'émergence des conceptions des élèves

Le pré-test est la première évaluation proposée à laquelle les élèves ont été soumis avant l'enseignement sur la transmission des maladies génétiques et anomalies chromosomiques (cas de la drépanocytose, de l'albinisme et du mongolisme(T21)). Les élèves de Terminale D1 du Lycée de Biyem-Assi, sujets de notre expérimentation disposent des connaissances sur la transmission de l'information génétique, dont l'enseignement est antérieur à celui de la transmission des maladies génétiques et anomalies chromosomiques.

Plusieurs conceptions sur la nature et l'origine des anomalies et mongolisme, l'albinisme et la drépanocytose ont été recensées auprès des élèves de Terminale D1 du lycée de Biyem-Assi. Avant la réalisation de notre séquence expérimentale et compte tenu de notre sujet d'étude, nous avons pensé à un certain nombre de conceptions parmi lesquelles :

- Le risque de faire les enfants malades est d'autant plus grand que si les deux parents sont des porteurs sains

- la drépanocytose, le mongolisme (T21) et l'albinisme sont des maladies héréditaires véhiculées par des parents tous deux porteurs ces tares ou anomalies chromosomiques

- la drépanocytose, le mongolisme (T21) et l'albinisme ne sont pas des maladies transmises par des germes pathogènes.

Peu de recherches ont été menées sur les conceptions des élèves du secondaire sur la génétique en général et sur la transmission de l'information génétique en particulier, ainsi que sur la transmission des maladies génétiques et anomalies chromosomiques. Nous nous sommes appesantis sur ce que les élèves des classes de Terminales D sont en mesure de connaître sur la nature et l'origine des maladies génétiques et anomalies chromosomiques. Ils ont des perceptions variées de l'origine des maladies génétiques et anomalies chromosomiques. Ils possèdent aussi des expériences différentes concernant celles-ci à l'instar de la nature et de l'origine des enfants albinos, des enfants atteints du mongolisme, des enfants drépanocytaires etc... et leur présence dans des familles issues des parents sains ou ne présentant pas ces maladies et anomalies dans leur phénotype. Nous nous sommes penchés sur le fait que les notions de chromosomes et de gènes ont déjà été abordées au cours de leur cursus scolaire, depuis la classe de Troisième, d'où l'acquisition probable d'un certain nombre de connaissances.

On s'est attendu de manière particulière à ce que les élèves de Terminale D sachent « globalement » comment se transmettent les anomalies chromosomiques et les maladies génétiques. Néanmoins la majorité d'entre eux ont une idée superficielle du mode opératoire de la transmission de ces maladies et anomalies. Ces idées sont les suivantes : « la drépanocytose se transmet lorsque les examens prénuptiaux ne sont pas faits. » , « On doit faire un certain nombre d'examen avant de prendre la décision de se marier ou de faire des enfants », « le mongolisme est une maladie qui atteint les enfants issus des parents avancés en âge », « les femmes qui accouchent les enfants albinos les ont conçus pendant la période de menstruation ».

Si le programme de la classe de troisième a été traité minutieusement, les élèves peuvent se souvenir que l'albinisme et la drépanocytose sont transmis par chacun des parents qui possèdent dans au moins un de leur gène, les allèles récessifs de ces maladies et anomalies. En plus de cela, les études de terrain sur cette recherche semblent renseigner sur le fait qu'ils ne comprennent pas aisément le processus de transmission de l'information génétique en général et des maladies génétiques et anomalies chromosomiques en particulier.

En plus de la consigne formulée par écrit sur le questionnaire, il a été demandé aux élèves de Terminale D de proposer par le biais d'un schéma, une ou plusieurs hypothèse(s) sur la transmission de l'information génétique en particulier. Ensuite de faire une proposition par le biais d'un schéma sur la transmission de ces maladies et anomalies chez des enfants

provenant des parents bien portant ou du moins ne présentant pas ces maladies et anomalies au niveau de leurs phénotypes. On s'attendait plutôt à ce que les apprenants évoquent la transmission de ces anomalies et maladies se faisant différemment de la transmission des maladies virales (les hépatites, le VIH etc...) et des maladies bactériennes et microbiennes chez les enfants à la naissance. Il a été demandé aux apprenants d'expliquer les différences qui existent entre la transmission des maladies congénitales d'origine virales et bactériennes et la transmission des maladies et anomalies génétiques comme l'albinisme, la drépanocytose et le mongolisme. Nous nous sommes appesantis sur ces trois maladies et anomalies pour la simple raison qu'elles représentent les élèves font face dans leur environnement et dans leur quotidien étant donné, que la quasi-majorité des élèves savent à quoi renvoient ces maladies et anomalies chromosomiques. Au niveau Terminale, on arrive déjà à identifier dans notre société les enfants albinos. Pour ce qui sont des enfants drépanocytaires et mongols (T21), on en parle très souvent dans leur environnement, dans les médias etc... Les différentes séances de cours sur la prise en compte non-numérique des conceptions des élèves sont les suivants.

Séance 1 séance d'émergence des conceptions des élèves

Au tout début de notre descente sur le terrain il a été question pour nous de recueillir les conceptions et représentations des élèves. En commençant la séance, Nous avons dû rassurer les élèves. Nous leur avons demandé d'être le plus naturel possible dans la réponse aux questions. Il a fallu leur expliquer l'importance de cet exercice. Ayant placé les questions au tableau, nous leur avons demandé de nous donner leurs réponses sur une double feuille. Les questions sont les suivantes 1. Pouvons-nous trouver des tares telles que l'albinisme, la drépanocytose, le mongolisme (T21) ainsi que les tares du même style chez les enfants dont les parents sont sains et ne présentent pas d'anomalies phénotypiques de ces tares ? 2. Expliquez l'origine de ces tares ? Après les réponses écrites des élèves, nous avons procédé à la verbalisation, outil ayant pour objectif de faire parler les élèves sur le sujet. En confrontant les réponses écrites et verbales des élèves, voici leurs conceptions.

-Origine pathogène : certains élèves estiment que l'albinisme, la drépanocytose ainsi que le mongolisme (T21) sont des maladies non héréditaires causées par des micro-organismes pathogènes

-Origine mystique : certains élèves pensent que la présence de ces tares chez les individus dont les parents ne présentent pas ces tares au niveau du phénotype ne peuvent

qu'avoir une origine maléfique ou mystique (certains élèves pensent que l'albinisme est une malédiction ou un mauvais sort).

-Origine adultérine. Pour qu'un enfant naisse avec cette tare (albinisme), il faudrait que l'un des parents soit albinos. Au cas contraire, la mère s'est rendue coupable d'adultère.

La séance de transformation des conceptions des élèves s'est nécessairement déroulée par une phase de déséquilibre cognitif. Cette phase s'est identifiée par la présence chez les apprenants de moments de doute. Les interventions des élèves, ainsi que leur réaction ont très souvent été surprenantes et inattendues. Cette phase de dessaisie s'est faite de plusieurs façons. Elle a été faite d'une part par verbalisation en confrontant les élèves entre eux (absence d'intervention de l'enseignant et du chercheur), et d'autre part, par une phase de confrontations des différentes conceptions émises par les élèves (apport et intervention de l'enseignant et mise en place d'une recherche documentaire).

L'émergence des différences entre les conceptions présentes se déroule par le biais des échanges verbaux entre les élèves de Terminale D. Nous assistons à des prises de position divergentes ayant conduit à l'instauration d'une réflexion sur le problème posé. L'installation de la phase de déséquilibre arrive à partir du moment où les positions des élèves étaient renvoyées ("l'idée de l'autre au travers de sa réponse tient peut-être mieux que la mienne"). Cette phase s'est faite par des séquences consécutives. Les approches des élèves ont pu être réévaluées avec la confrontation d'autres conceptions de leurs paires. Et de cette séance a pu naître un véritable apprentissage.

Plusieurs points ont été analysés à ce stade de l'expérience : concernant le débat cognitif et l'attitude des élèves

- **Analyse concernant le débat cognitif** : le déséquilibre cognitif fut provoqué par deux éléments principaux à savoir, le débat instauré (pour certains élèves, "situation à laquelle je voulais tendre") et la mise sur pied de la pédagogie utilisée. Elle constitue une rupture très profonde avec les méthodes utilisées par l'enseignant titulaire (pour certains élèves, "Notre professeur nous souffle les réponses après quelques minutes !")

- **Analyse concernant l'attitude adoptée par les élèves** : les attitudes des élèves furent nombreuses. D'un côté, ils se taisent parce qu'ils croyaient ne rien connaître, ils pensaient ignorer la "vrai réponse". D'un autre côté, certains élèves qui avaient honte de commettre publiquement des erreurs et certains élèves rebelles attendaient juste la "la vraie réponse" à savoir celle de l'enseignant. Nous nous retrouvons avec des élèves qui adoptent une position

de résignation par rapport aux erreurs qu'eux même, ont l'habitude de verbaliser. Pour eux, il faudrait éviter de se faire huer par leurs paires. D'où l'intérêt d'attendre de l'enseignant la "vrai réponse"

Tableau 13: La structure de la séance d'enseignement d'émergence des conceptions

Niveaux	Repères chronologiques	FST	Description
0.	Rappel de la leçon précédente et contextualisation S1/U0 9 h 5 min-9 h 20 min		
0.1	S1/U2/1 : 9h05min-9h10min	T (Q-R) Rd (Ta)	<i>Rappel de la séance antérieure (Les caractères fondamentaux de la Méiose)</i>
0.2	S1/U2/2 : 9h10min-09h14min	T (Co) Rd (Pr)	<i>Présentation du titre de la leçon aux apprenants à travers une question de transition et justification</i>
0.3.	S1/U2/3 : 9h14min-9h20min	T (Q-R) Rd (Pr)	<i>Brainstorming</i>
1.	Recueil des conceptions sur la transmission de l'information génétique S1/U1 9h20min-09h42min		
1.1.	S1/U2/4 : 09h20-09h30min	T(Ad/I/Q-R) Rd (Ta/T)	<i>À partir d'une situation problème les élèves doivent dire si c'est possible pour un couple phénotypiquement sain de donner naissance aux individus albinos, drépanocytaires,</i>
1.2.	S1/U2/5 : 09h30-09h42min	T(G (6)) Rd (Ta/T)	<i>Collecte des réponses des élèves pour confrontation</i>
2	Regroupement des conceptions des élèves S1/U2 09h42min-10h00min		
2.1	S1/U2/6 : 09h42min-09h51min	T(G (6)) Rd (Ta/T)	<i>Regroupement des réponses des élèves par leur niveau de rapprochement</i>
2.2.	S1/U2/7 : 09h51min-10h00min	T : (co/ G (6)) Rd : (Ta)	<i>Formation des groupes de travail par affinité des réponses</i>

Proposé par Mongo Onobiono

1.1.2. Analyse de la séance didactique de déconstruction des conceptions erronées des élèves par le modèle expérimental

Séance 2 : La confrontation des élèves avec la réalité

La confrontation des élèves avec la réalité a consisté pour l'enseignant à apporter un fait ou un élément en vue de conforter une certaine position et d'amener par suite la contradiction au sein du débat. Le fait que les élèves n'arrivaient pas à surmonter l'obstacle a davantage rendu notre approche intéressante. Cet obstacle a conduit à l'introduction d'un autre élément, objet de la prolongation de la réflexion.

Séquence du cours en classe de Terminale D sur " la provenance de la drépanocytose, l'albinisme et le mongolisme chez les parents ne présentant pas d'anomalies au niveau du phénotype"

La séance de confrontation entre élèves de Terminale D s'est soldée par un consensus qui a réussi à s'établir sur le fait que la drépanocytose et l'albinisme provenaient d'un allèle récessif chez chacun des deux parents, bien que chez certains, le doute demeurait. On

pouvait entendre certains affirmer sans convictions « puisque les autres le disent ». Mais en ce qui concerne l'origine du mongolisme (T21), le consensus fut difficile à établir. Ayant à dessein refusé de m'impliquer dans le débat, l'origine véritable du mongolisme comme anomalie du nombre chromosomique n'était pas connue. La séance suivante a donc été conçue autour de l'origine du mongolisme (T21), de la drépanocytose et de l'albinisme. Cette séance de travail avec les élèves a été mise à profit pour la formation de deux (2) groupes d'élèves qui recueilleront des informations en vue de comprendre l'origine. Le groupe A avait une grande liberté d'action, car n'étant pas encadré dans sa recherche. Le groupe B par contre a reçu un encadrement (dans une certaine liberté) de la part de mon collègue enseignant titulaire de la classe à ma demande en tant que chercheur. Le travail de mon collègue a consisté à les orienter vers un certain nombre de documents de génétique susceptibles de les intéresser et de les aider.

La séance du cours sur 'la transmission de l'information génétique' a été l'occasion pour les deux groupes d'élèves de s'exprimer sur leurs différentes recherches. Le groupe A, a réussi à avoir à sa disposition un document d'un intérêt particulier lui permettant de traiter le problème, car contenant le phénomène de transmission de l'information génétique. Le groupe B, par contre a présenté à travers des schémas de croisement d'hérédité, des éléments trouvés dans le livre au programme. À partir de l'exploitation de ce livre, les élèves du groupe B de cette classe ont pu expliquer la transmission de l'information génétique, avec comme étude de cas, la transmission de la drépanocytose et de l'albinisme par des parents sains. Ces parents sains ne présentant aucune anomalie sur le plan phénotypique. Les élèves de ce groupe ont essayé de donner une explication en ce qui concernait la transmission du mongolisme par des parents sains, malgré des petites ambiguïtés. Les explications du groupe B ont été par la suite appréciées par le groupe A, ce qui a démontré l'intérêt de la recherche documentaire bien encadrée, étant donné qu'elle peut participer à l'acquisition des savoirs. Les informations apportées par les élèves découlant de ce travail sont :

- *La drépanocytose est une maladie caractérisée par la présence dans le sang de drépanocytes (hématies en forme de faucille)*
- *Albinisme est une anomalie congénitale caractérisée par une absence de pigment sur la peau*
- *-La drépanocytose et l'albinisme se transmettent par la rencontre de deux allèles récessifs des parents*

- *Le mongolisme (T21) est une anomalie d'un sujet présentant une taille courte et un visage aplati par l'atrophie de la racine du nez. Cette maladie est causée par un surplus de chromosomes.*

La séance a montré clairement l'origine de la drépanocytose et de l'albinisme, avec une petite ambiguïté sur l'origine du mongolisme (T21). Tout ceci a permis aux élèves de déconstruire les conceptions erronées des élèves sur l'origine mystique de ces anomalies génétiques.

Dans cette classe de Terminale D1 du Lycée de Biyem-Assi, nous avons décidé de faire une affiche des différentes maladies et anomalies héréditaires (drépanocytose, albinisme, mongolisme(T21)) sous forme schématisée permettant d'introduire certains schémas de croisements d'allèles et donner la possibilité aux élèves de se rapprocher de la réalité. Ceci s'est fait au travers de l'affiche. Nous avons suggéré à ces élèves de Terminale D, trois schémas de croisement où il était question pour eux d'identifier le schéma de croisement destiné à chaque maladie héréditaire ou anomalie chromosomique. Notre objectif était de leur faire prendre conscience du phénomène d'anomalie chromosomique et des maladies génétiques. À ce moment-là, nous avons très vite compris qu'à nouveau se poserait le problème de l'origine du mongolisme (T21). Car jusqu'ici il était clair dans l'esprit de ces élèves que chez l'être humain $2n=46$ chromosomes. D'où $n=23$ chromosomes. Cependant, l'ambiguïté concernant l'origine du mongolisme (T21) demeura confuse dans l'esprit des élèves. Car l'un d'eux demanda à voix haute « d'où vient le troisième chromosome sur cette paire-là, si ce n'est pas la sorcellerie ? » et deux autres de répondre simultanément « je te dis ! » et « vraiment ! ». J'envoyai l'un d'eux au tableau justifier ses « dires » il alla au tableau dessiner deux cellules $2n$ chromosomes qui après la méiose donnèrent chacune d'elle n chromosomes. Et il se tourna vers moi et me dit « monsieur ce sont ces n chromosomes qui vont s'associer pour donner $2n$ chromosomes. 'Donc trois chromosomes sur une seule paire, ce n'est pas possible' » L'échange verbalisé a ainsi été laborieux.

Pour chacune des séances, il semblait nécessaire de passer désormais à l'explication rationnelle de certains phénomènes identifiés (fonctionnement de la transmission de l'albinisme, la drépanocytose, et le mongolisme (T21) aux individus provenant des parents sains, c'est-à-dire ne présentant aucune anomalie sur le plan phénotypique).

Séance 3 séance de déconstruction des conceptions erronées

C'est l'élaboration d'une expérience à partir d'hypothèses initiées par les élèves, l'objectif étant de donner une explication au modèle physique.

Séquence sur l'hérédité humaine : transmission de l'information génétique (cas de l'origine de l'albinisme, de la drépanocytose et du mongolisme (T21) des parents sains) en classe de Terminale D

La séance précédente avait permis de mettre en relief un chaînon manquant, non identifiés par les élèves lors du recueil des conceptions : La non-disjonction des chromosomes. Nous avons demandé aux élèves de réfléchir à une expérience permettant de mettre en valeur le phénomène de disjonction des chromosomes. Certains ont dessiné le phénomène de méiose avec ses différentes phases. D'autres ont dessinés uniquement le phénomène d'anaphase. Nous leur avons donné le matériel nécessaire pour réaliser l'expérience (Nous avons fait découper à l'aide de papier carton des chromosomes en paires avec lequel nous avons réalisé 6 caryotypes différents. Dans le souci d'identifier les différentes paires et leurs équivalents chez chaque caryotype, Nous avons dû utiliser les cartons de couleurs variées, 5 couleurs de cartons, 5 paires de chromosomes de tailles variées pour chaque couleur). Nous avons constitué trois groupes d'élèves. Au groupe A, Nous avons remis les deux caryotypes du premier couple. Au groupe B les deux caryotypes du deuxième couple. Au groupe C, les deux caryotypes du troisième couple. Les élèves ont très vite compris l'intérêt de ce nouvel outil. A un emplacement bien précis d'une paire de chromosomes du premier couple, Nous avons pris la peine de dessiner les allèles A et S à cet endroit précis chez chaque parent. Pour le deuxième couple sur une paire identique chez le couple, Nous avons dessiné l'allèle petit 'a' sur un chromosome de chaque paire identique. Pour le troisième couple, Nous n'avons fait aucun dessin.

Figure 10 : Caryotype du couple A : expérience sur l'albinisme



Figure 11 : Caryotype du couple B : expérience sur la drépanocytose

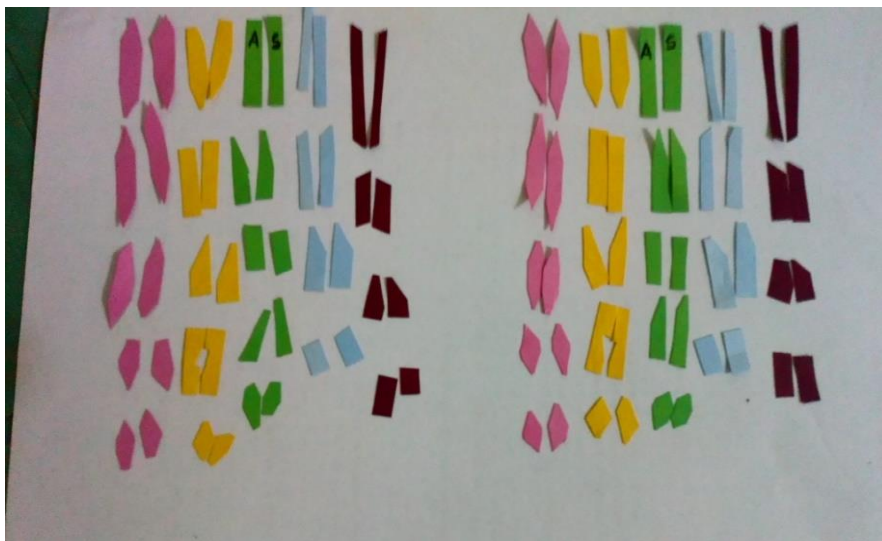
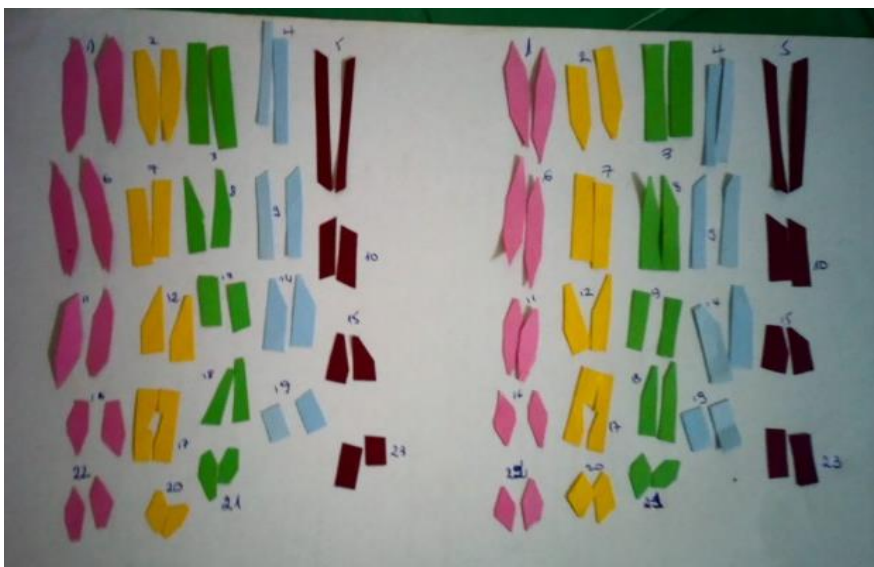


Figure 12: Caryotype du couple C : expérience sur le mongolisme (Trisomie 21)



Cela nous a permis ainsi de rappeler le phénomène adapté (méiose et fécondation) et de faire le lien avec notre recherche initiale sur l'origine de la drépanocytose, l'albinisme et le mongolisme (T21) chez les individus provenant des parents sains. Les élèves ont été captivés par le lien entre notre recherche et l'expérience. Il semble évident que, la quasi-totalité des élèves, ont fait le lien, même si cela ne paraissait pas évident au début. Les élèves ont ensuite disjoint les chromosomes homologues de chaque parent (phénomène de méiose à l'anaphase) pour les réappairier (phénomène de fécondation). Le but de ce travail était d'amener les élèves à retrouver l'origine de la drépanocytose, l'albinisme et le mongolisme (T21) à partir des parents sains. J'ai pris la peine de permuter les groupes en fonction du travail qui les avait été confié. À un moment donné le groupe A s'est retrouver avec les caryotypes du deuxième couple, ensuite celui du troisième couple. Idem pour les autres groupes.

Tableau 14: La structure des séances d'enseignement de déconstruction des conceptions erronées

Niveaux	Repères chronologiques	FST	Description
0.	Rappel de la leçon précédente et contextualisation S1/U0 09 h 35 min-09 h 54 min		
0.1	S2/U2/1 : 09h35min-09h42min	T (Q-R) Rd (Ta)	Rappel de la séance antérieure (Les caractères fondamentaux de la Méiose)
0.2	S2/U2/2 : 09h42min-09h47min	T (Co) Rd (Pr)	Présentation du titre de la leçon aux apprenants à travers une question de transition et justification
0.3.	S2/U2/3 : 09h47min-09h54min	T (Q-R) Rd (Pr)	Contextualisation de la leçon
1.	Débat et confrontation des groupes classe S2/U2 09h54min-10h30min		
1.2.	S2/U2/4 : 09h54-10h04min	T(Co/ G (6) Rd (Cro/C)	Organisation du débat par groupe de travail en fonction des groupes travaillant sur la transmission de l'information génétique au niveau de l'albinisme, drépanocytose et mongolisme (T21).
1.2.	S2/U2/5 : 10h04-10h10min	T(Co/ G (6) Rd (Ta/T)	Dévolution dans les différents groupes de travail
1.3	S2/U2/6 : 10h10-10h19min	T(Br) Rd (Cro/C)	Brainstorming dans les différents groupes de travail
1.4	S2/U2/7 : 10h19-10h30min	T(Co/ G (6) Rd (Cro/C)	Illustration par le biais Schématisation des caryotypes
2	S3/U2 11h05min-11h55min après la pause		
2.1	S3/U2/1 : 11h05min-11h10min	T (Bs) Rd (Pr)	Rappel de la séance précédente
2.2.	S3/U2/2 : 11h10min-11h25min	T(Ad/I/Q-R) Rd (Ta/T)	Phase expérimentale du processus de méiose
3	Les activités liées à la deconstruction du savoir erronée S1/U3 10h36min-10h54min		

3.1.	S3/U2/3 :11h25min-11h37min	T (Bs) Rd (Pr)	Brain storming pour amener les apprenants à énumérer les différentes possibilités de croisement aboutissant aux individus possédant des tares
3.2.	S3/U2/4 : 11h37min-11h47	T(Q-R)	Évaluation formative de la première unité didactique
4.	Conclusion de l'étape de deconstruction: les S3/U2 10h54min-10h03min		
4.1.	S3/U2/5 : 11h47-11h55min	T (Bs) Rd (Cro/C)	Brain storming pour amener les apprenants à ressortir les difficultés et les problèmes liés aux croisements

Proposé par Mongo Onobiono

1.1.3. Analyse des séances didactique d'institutionnalisation/ Construction du savoir scientifique par le modèle maquette

Séance 4 Séance d'institutionnalisation ou construction du savoir scientifique

C'est la construction à partir d'une représentation intellectuelle, le schéma de l'origine de la drépanocytose, du mongolisme (T21) et de l'albinisme chez des enfants des parents sains à partir des cartons découpés servant de chromosomes et ensuite de caryotypes. C'est un modèle réduit permettant aux élèves la manipulation.

Séquence sur l'hérédité humaine : transmission de l'information génétique (cas de l'origine de l'albinisme, de la drépanocytose et du mongolisme (T21) chez les enfants provenant des parents sains, ne présentant aucune anomalie phénotypique) en classe de Terminale D

À la fin de la séance précédente, les élèves avaient quasiment identifié l'origine des maladies et anomalies héréditaires chez les individus provenant des parents sains, c'est-à-dire ne présentant pas d'anomalie au niveau de leur phénotype. Il restait cependant à comprendre réellement leurs mécanismes de transmission et de propagations. Ceci a pu avoir lieu grâce au matériel en carton représentant les différents caryotypes

Nous leur avons demandé de chercher des expériences par groupe de 8 ou 9 élèves. Nous avons divisé le tableau en trois parties sur la verticale. Et chacune des trois parties du tableau était divisée en trois lignes. Trois (3) représentants de chaque groupe devaient venir dessiner l'expérience des cartons au tableau en considérant uniquement les paires des chromosomes de chacun des trois couples. Sachant que l'expérience avec chaque couple renvoyait à l'étude ou l'expérience d'une anomalie ou maladie génétique (couple 1 : drépanocytose. Couple 2 : albinisme. Couple 3 : mongolisme(T21)). Dans chacun des 3 groupes, chacun des 3 élèves de chaque groupe devait représenter chacun l'une des trois

maladies ou anomalies citées plus haut. Cet exercice permettait de confronter les résultats de l'expérience de chaque groupe dans le but d'asseoir le savoir scientifique. D'où la construction du savoir scientifique. Finalement, les schémas des trois groupes furent assez proches. Ils mettaient en évidence la transmission de la drépanocytose, l'albinisme et le mongolisme (T21) chez les individus des parents sains.

Les élèves ont mis en place leurs expériences au tableau. Nous avons libéré les trois premiers tables bacs de chacune des trois rangées de la salle de classe où, nous avons classé les caryotypes (avec les cartons fabriqués sous forme de chromosome) de chacun des trois couples. Première rangée, caryotypes du couple de l'expérience sur la drépanocytose. Deuxième rangée, caryotypes du couple expérimentant l'albinisme. Troisième rangée, caryotypes du couple de l'expérience sur le mongolisme (T21).

Nous leur avons fait remarquer que lors de la méiose, chaque paire de chromosome se dissociait pour donner n chromosomes. Ce sont les n chromosomes de chacun des parents qui devaient s'apparier par paires homologues lors de la fécondation pour donner des individus à $2n$ chromosomes. En effet, il suffisait pour chaque groupe d'élèves d'observer chaque couple de caryotypes et de schématiser uniquement les paires expliquant le phénomène étudiée (drépanocytose, albinisme, et mongolisme(T21)) en ressortant à partir de ces paires des couples, le phénomène de dislocation des chromosomes homologues lors de la méiose pour leur rattachement par paires homologues lors de la fécondation. Dans le cas de l'albinisme et de la drépanocytose, tous les 6 élèves des 3 groupes (Un élève de chaque groupe pour l'albinisme et un élève de chaque groupe pour la drépanocytose) réussissaient à appairer les chromosomes homologues possédant des gènes récessifs donnant dans chaque cas une paire de chromosome homozygotes possédant les deux allèles récessifs.

Certains élèves ont pensé alors se servir des caryotypes physiques (issus des chromosomes fabriqués en carton) pour schématiser leur expérience ce qui améliorerait et validait l'expérience de l'origine des anomalies et maladies génétiques en provenance des parents sains.

Figure 13: Caryotype d'un individu albinos issu des parents sains



Figure 14: Caryotype d'un individu drépanocytaire issu des parents sains

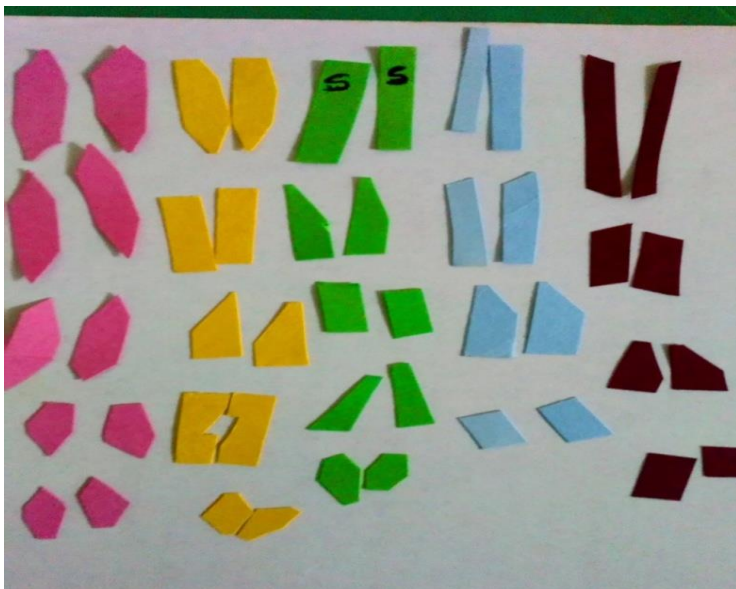


Figure 15: Caryotype d'un individu mongolien (T21) issu des parents sains



Nous avons constaté que c'est par le réel que les élèves de Terminale D ont compris l'origine des maladies et anomalies génétiques chez les individus en provenance des parents sains (ne présentant aucune anomalie au niveau de leur phénotype) étant donné que la génétique est une notion abstraite. En fin de séance, Nous avons demandé aux élèves d'apprécier les réponses schématisées par leurs camarades au tableau. Les 3 groupes étaient d'accord avec les schémas et nous avons validé les résultats.

Séance 5 : La séance de consolidation

Cette étude ne serait pas complète en l'absence d'une séance permettant de rendre compte de la transformation des conceptions des élèves de Terminale D. Dans les trois groupes classes constitués, Nous avons demandé aux élèves de schématiser ce qu'ils avaient retenu et compris de leur travail en hérédité humaine en général et sur la transmission de l'information génétique en particulier (cas de l'origine et la transmission des anomalies et maladies telles que l'albinisme, la drépanocytose et le mongolisme(T21))

Voici les résultats dans la classe de Terminale D du Lycée de Biyem-Assi (26 élèves dans le groupe expérimental) à la question « Pouvez-vous me dessiner comment se transmet l'albinisme, drépanocytose et le mongolisme chez les individus de parents sains ? » :

Cas de la drépanocytose :

- 25 élèves ont dessiné les paires de chromosomes en fixant un allèle A et un allèle S chez les parents en F et en F1 dessinant une paire de chromosomes ayant deux allèle homologue "S".
- 01 élève a dessiné les paires de chromosomes en fixant un allèle petit "a" au niveau d'un seule chromosome chez les parents en F1 dessinant une paire de chromosomes ayant deux allèles homologues "a".

Cas de l'albinisme :

- 25 élèves ont dessiné les paires de chromosomes en fixant un allèle "a" à un endroit précis chez les parents en F et en F1 dessinant une paire de chromosomes ayant deux allèle homologue "a"
- 01 élève a dessiné les paires de chromosomes en F en fixant l'allèle "a" chez l'un des parents en haut et chez l'autre en bas. Et en F1 dessinant une paire de chromosomes ayant deux allèles homologues à des endroits différents.

Cas du mongolisme :

- 25 élèves ont dessiné la 21^e paire de chromosomes en F et puis en F1 dessinant la 21^e paire de chromosomes avec 3 chromosomes. 02 des 26 ont précisés que les deux chromosomes non disjoints provenaient de la mère. Les 20 autres n'ont rien précisé.

Nous avons des difficultés à faire une analyse au niveau de l'albinisme et la drépanocytose sur le dernier cas à cause d'élèves ayant donné des réponses différentes de celles de leurs camarades, alors que pendant l'expérience, ils semblaient avoir bien compris. Pour les autres élèves (les 21), il me semble qu'ils ont transformé leurs conceptions en acquérant les savoirs construits dans la classe de sciences.

En revanche, le seul qui a dessiné au niveau de l'albinisme deux allèles homologues aux emplacements distincts, et dans le cas de la drépanocytose l'allèle responsable de la drépanocytose en petit "a" comme allèle récessif se trouvant dans le cas de l'albinisme. Nous nous posons la question de savoir s'il s'agit d'une nouvelle conception persistante ou alors une manière pour lui de faire le désordre ?

Tableau 15: La structure des séances d'institutionnalisation d'enseignement en génétique

Niveaux	Répères chronologiques	FST	Description
0.	Rappel de la leçon précédente et contextualisation S4/U0 09 h 35 min-09 h45min		
0.1	S4/U2/1 :09h35min-09h40 min	T (Q-R) Rd (Ta)	Rappel de la séance antérieure (La transmission de l'information génétique)
0.2	S4/U2/2 : 09h40 min-09h45 min	T (Ta) Rd (Pr)	Présentation des cartons représentant les chromosomes
1.	Implication de l'enseignant dans l'institutionnalisation S2/U2 09h45min-10h20min		
1.2.	S4/U2/3 : 09h45-09h55min	T(Ad) Rd (Cro/Ta)	Confrontation des 3 travaux de la transmission de l'information génétique au niveau de l'albinisme (1), drépanocytose (2) et mongolisme (3).
1.2.	S4/U2/4 : 09h55-10h05min	T(Co/ G (6) Rd (Ta/T)	Tri par les élèves des situations correspondant au savoir scientifique
1.3	S4/U2/5 : 10h05-10h10min	T(Br) Rd (Cro/Ta)	Élimination des hypothèses erronées par l'enseignant
1.4	S4/U2/6 : 10h10-10h20min	T(Co) Rd (Cro/C)	Confirmation coordonnée des hypothèses par les élèves et l'enseignant
2	Verification de l'évolution des conceptions chez les élèves S5/U2 11h05min-11h35min		
2.1	S5/U2/1 :11h05min-11h15min	T (Q-R) Rd (Cro/C)	Vérification des acquis des élèves
2.2.	S5/U2/2 :11h15min-11h20min	T(Ad/I) Rd (T)	Compte rendu de experience
3.	Conclusion de l'étape d'institutionnalisation : les S3/U2 10h54min-10h03min		
3.1.	S5/U2/3 : 11h20-11h35min	T (Ad/I) Rd (T)	Traces écrites du cours sur la transmission de l'information génétique

Proposé par Mongo Onobiono

2. Analyse des Pratiques d'enseignement de génétique à partir du dispositif d'enseignement numérique de modélisation : GENEDIDACT

Cette analyse renvoie à l'analyse à la présentation du GENEDIDACT, au Choix réalisés pour l'élaboration de la situation de modélisation de l'expérience

2.1. Analyse et présentation du GENEDIDACT

La création de notre EIAH repose sur un certain nombre de théories. Cet environnement fait appel à la démarche expérimentale, étant donné que le protocole expérimental et l'expérience en font partie tant par l'obtention des résultats que par leur élaboration et leur exécution. Le rôle du protocole expérimental ici est de faire le lien entre la pratique et la théorie. L'éditeur de protocole est conçu ici dans le but d'aider les apprenants à élaborer et structurer un protocole expérimental. Son développement étant basé sur l'analyse de la tâche (Clark et al., 2006)

Ceci nous a permis d'organiser un protocole selon un arbre des tâches. L'arbre possède un sommet correspondant au problème qui est résolu par un ensemble de tâche. Chacune d'elle pouvant se décliner en sous-tâches. Le plus bas niveau de cet arbre correspond aux différentes actions du protocole réalisés au moment de l'exécution (Wajema, 2009 ; Girault et al, 2011)

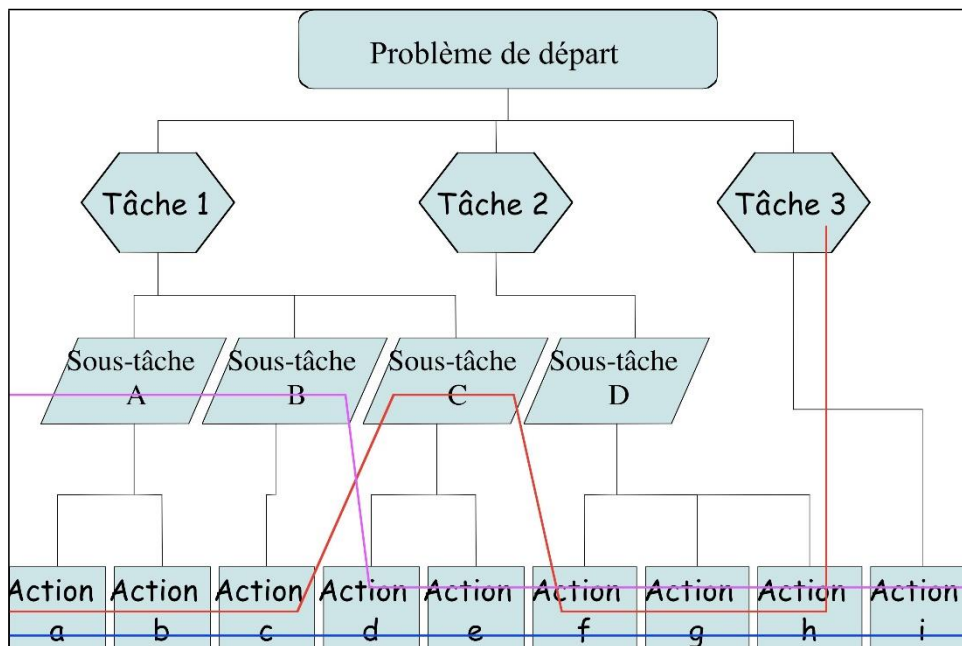


Figure 16: Schéma général du protocole d'un d'arbre des tâches

L'utilisation d'une telle structuration dite en arbre de tâches nous a aidé à la conception de la situation expérimentale. L'utilisation de cet arbre dans l'analyse du protocole expérimental ou productions des élèves a une fréquence élevée. Le choix de cette structure dépend des différents chemins possibles indiqués lors de la succession des actions dans le protocole. En effet,

La réalisation d'une expérience passe par l'ensemble des actions pour répondre au problème mais l'explicitation de la totalité de ces actions n'est pas tout le temps obligatoire. C'est dû à l'existence de connaissances communes entre la personne qui rédige le protocole et celle qui l'exécute. Ainsi, indiquer une sous-tâche suffira parfois à « l'exécutant » pour comprendre qu'il doit réaliser les actions qui en découlent. C'est là que prend toute son importance le fait d'indiquer aux élèves le destinataire du protocole : un élève de même niveau scolaire (Gwenda-Ella Chapel, 2006, p 74.).



Figure 17: Plateforme GENEDIDACT avant connexion



Figure 18: Interface de la plateforme de génétique après démarrage



Figure 19: Plateforme GENEDIDACT après connexion

2.2. Analyse à priori de la situation de modélisation de l'expérience

Concernant cette analyse à priori, il a été judicieux pour nous de reprendre les principaux éléments du cadre théorique, que nous avons pris la peine d'éclaircir à la lumière de la situation que nous avons présentée plus haut.

2.2.1. Choix réalisés pour l'élaboration de la situation de modélisation de l'expérience

Notre choix a été posé sur le travail individuel des élèves participants à l'expérimentation en vue de procéder au diagnostic et à l'émergence des conceptions chez ces élèves des classes de Terminale D. Les différentes conceptions des élèves ont été obtenues par le biais ou l'intermédiaire de la mise sur pied d'une expérience qui nous a aidé à mobiliser des connaissances des élèves. Cette expérience s'est faite pendant les phases de réflexion comme présenté dans le cadre théorique de nos travaux. Le diagnostic et l'émergence de ces conceptions sont passés par la réalisation des trois productions à savoir : la production textuelle, la production graphique et du protocole expérimental. En plus de ces productions, il y'a eu la production des questions fermées en vue de scinder les conceptions des élèves par groupe d'affinité liés aux conceptions initiales.

Nous avons préféré faire travailler les élèves via une plate-forme informatisée (GENEDIDACT), à cause de la disponibilité de plusieurs ordinateurs de la salle informatique de l'établissement. Cette salle d'informatique nous a aidé grandement à l'élaboration d'une expérience portant sur la modélisation de la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens en provenance des parents sains. L'un des avantages de cette plate-forme informatisée de travail est qu'elle nous permet d'obtenir des traces informatiques et standardisées des activités des élèves.

La formulation de la question posée de départ fait l'objet d'un choix important. On la retrouve dans les fiches de consignes remises aux élèves avant l'expérience

Comment se transmet l'information génétique chez des individus drépanocytaires, albinos et mongoliens à partir des parents sains et quel est le niveau biologique directement concerné par cette transmission ?

Nous avons élaboré une consigne adaptée au niveau du langage Terminale, pour permettre une compréhension facile et aisée. Nous avons utilisé des termes neutres et accessibles à la compréhension des élèves de la classe de Terminale

Le terme « information génétique » a été choisi, parce qu'il est rencontré dans les programmes scolaires de la classe de Terminale D. Il fait allusion à la transmission des maladies génétiques et héréditaires. L'exercice utilisé pour diagnostiquer les conceptions des élèves, nous a offert la possibilité de tester les niveaux biologiques, et nous a permis de tester la compréhension des élèves concernant le phénomène de méiose (formation des gamètes) et le phénomène de fécondation (brassage chromosomique en provenance des patrimoines paternels et maternels). Pour résoudre

le problème énoncé dans la question posée aux élèves, ils se sont représentés le support et l'organisation de l'information génétique et ont mobilisé ensuite leurs connaissances sur le sujet en question. Pour résoudre le problème soulevé par la première étape de notre travail, nous avons utilisé le modèle cK ζ dont les opérateurs sont équivalents aux différentes actions présentées par les élèves dans le cadre de leur travail. La première étape du travail de modélisation s'est faite par la réalisation de trois productions : une production textuelle (celle qui rassemble leurs différentes idées en vue de répondre à la question posée), un protocole graphique et un protocole expérimental (qui regroupent le phénomène de méiose jumelé à celui de fécondation et qui développent une des idées comme évoqué dans la présentation de la situation).

Dans la situation de modélisation de la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires et albinos en provenance des parents sains, deux autres choix ont été également nécessaires. Étant donné que les enseignements concernant l'ADN (structure et fonction) avaient déjà été suivis par les élèves de Terminales D dans les niveaux scolaires inférieures (niveau troisième et en Première D), nous avons souhaité par ce travail de modélisation que les élèves aient une base commune de savoir en parvenant à des connaissances scientifiques en génétique.

Une autre raison du choix de notre situation a été liée au fait que bien que ces élèves utilisent GENEDIDACT pour la première fois, cette plate-forme ne nécessite pas tout de même un apprentissage d'utilisation fastidieux, étant donné que les explications fournies aux élèves liées au mode d'emploi, sont suffisantes pour la maîtrise des outils dont ils auront besoin pour la réalisation de la situation. Par ailleurs le temps imparti pour la réalisation de cette situation est assez long pour que les élèves réalisent l'ensemble de la situation sans difficulté informatique.

L'ensemble de ces choix nous permet de proposer une situation que nous pouvons maintenant analyser du point de vue de la Théorie des Situations Didactiques (confère chapitre 3.)

❖ *Transmission de l'information génétique*

L'enseignement de la génétique est plus approfondi en classe de Terminale D. Cette partie du programme comprend 4 paragraphes qui précisent les notions à construire :

- Chaque individu présente les caractères de l'espèce avec des variations qui lui sont propres. C'est le résultat de l'expression de son programme génétique et de l'influence des

conditions de vie.

- Les cellules de l'organisme, à l'exception des gamètes, possèdent les mêmes chromosomes que la cellule-œuf dont elles dérivent par divisions successives. Les gamètes par contre possèdent la moitié des chromosomes de la cellule-œuf.
- Les chromosomes portent les gènes, unités d'information génétique qui déterminent les caractères héréditaires.
- Chaque individu issu de la reproduction sexuée possède un programme génétique qui contribue à le rendre unique.

La tâche qui a été proposée aux élèves s'inscrit dans ces trois derniers points

La tâche que l'enseignant a proposée aux élèves s'inscrit dans le deuxième point du programme qui précise :

“ La division d'une cellule : est préparée par la duplication de chacun de ses 46 chromosomes, se caractérise par la séparation des chromosomes homologues pour l'obtention des cellules contenant la moitié du patrimoine génétique d'une cellule-œuf, chacune de ces cellules sexuelles contient 23 chromosomes issus de la cellule initiale” (France : MEN, 1998, p. 116-117).

Il s'agit de faire construire aux élèves une première signification du concept de méiose et de fécondation (fusion des gamètes mâles et femelles) qui correspond à

“des étapes bien particulières du cycle de vie des cellules sexuelles, dit "cycle cellulaire", qui est l'étape de séparation des chromosomes homologues d'une cellule mère à 2n chromosomes pour l'obtention des cellules à n chromosomes” (Wikipédia, consulté le 12 décembre 2006).

Ainsi chaque cellule sexuelle ou gamète possède un ensemble incomplet et haploïde de chromosomes.

Une première lecture des instructions, orientée par la grille d'analyse proposée plus haut nous a amené à faire remarquer les points suivants : les différentes conceptions de l'information génétique/ du gène citées plus haut dans la revue de la littérature se retrouvent dans l'intitulé du programme de Terminale D. La phrase : « *les chromosomes sont le support de l'information génétique* » renvoie inéluctablement à une conception matérielle de l'information génétique, bien que le mot « support » permet aux auteurs des programmes scolaires par le biais de la transposition didactique d'indiquer que l'on ne saurait réduire l'information génétique aux seuls chromosomes. La formulation du paragraphe suivant : « *Les chromosomes portent les gènes, unités d'information génétique qui déterminent les caractères héréditaires* » renvoie à la conception mécaniste du gène, telle que formulée par l'équipe de Morgan. En définitive, le terme de « programme génétique » est présent dans les

modules et fait partir des notions à construire. Cette notion est également reprise dans les programmes et les manuels de SVTEEHB. L'utilisation de ce concept renvoie explicitement à une conception fonctionnelle de l'information génétique, bien qu'on ignore comment se fait la mise en évidence de sa dimension fonctionnelle. Ainsi, il nous semble que la mise en œuvre du programme de Terminale D court le risque de réduire la notion d'information génétique/gène, soit à une conception mécaniste, soit à une conception matérielle, étant donné qu'elles peuvent toutes deux constituer des obstacles pour la construction d'une conception fonctionnelle. Il nous a paru intéressant de suivre comment les élèves de Terminales D « bricolent » avec ces différentes conceptions de l'information génétique lorsqu'ils sont confrontés à une activité de modélisation de la transmission de l'information génétique chez les individus présentant des tares génétiques en l'instar de la drépanocytose, de l'albinisme en provenance des parents exempts de ces tares. À ce stade de scolarisation, la méiose et la fécondation servent à expliquer la transmission de l'information génétique chez les individus d'une génération à une autre. Elle se fait par la formation d'une cellule œuf comportant la totalité du patrimoine génétique d'un individu. L'information génétique étant localisée sur les chromosomes de cette cellule œuf.

Cette étude se prête particulièrement à des activités de manipulations, grâce à l'utilisation de maquettes de chromosomes, nous avons mis sous observation une activité de modélisation de la méiose et de fécondation. Nous procéderons par la description des tâches proposée aux élèves.

2.2.2. Analyse des tâches proposée aux élèves dans la plateforme numérique

En tenant compte du fait que les notions de chromosomes, de gène et d'allèle ont déjà été construites tout au long des niveaux inférieurs à savoir les classes de Troisième et de Seconde C, et qu'il a été conclu que les cellules d'un organisme possèdent l'information génétique portée par les chromosomes, information génétique qui est transmise d'une génération à une autre par le biais du phénomène de méiose et du phénomène de fécondation. Tout ceci a permis à l'enseignant de poser la question suivante « expliquer comment on passe d'une cellule diploïde à une cellule haploïde et ensuite à une cellule œuf ». On a proposé aux élèves de faire une modélisation, réduite au cas prototype de la division d'une cellule diploïde en quatre cellules haploïdes (cellules sexuelles) et ensuite à une cellule œuf.

Pour produire l'explication demandée par l'enseignant, les élèves de Terminale D disposaient de deux cellules, une cellule du père et une cellule de la mère dans laquelle

ils devaient représenter la paire de chromosome n° 11. Les chromosomes ont été représentés avec deux chromatides. Il a été demandé aux élèves de symboliser un allèle responsable ou non de l'albinisme sur chacune des paires de chromosomes afin d'éviter d'en rester dans une conception matérielle de l'information génétique. Ils ont également représenté la paire de chromosome n° 11 avec deux chromatides où ils ont schématisé cette fois-ci les allèles responsables ou non de la drépanocytose sur chacune des paires. Les élèves ont modélisé individuellement une cellule paternelle porteuse, sur les chromosomes 11 des deux versions du gène de la drépanocytose. Sur un allèle, ils ont placé le gène de la drépanocytose (S) et sur l'autre allèle, le gène non responsable de la drépanocytose (A). Il a été de même avec la cellule maternelle porteuse sur un des allèles du chromosome 11, du gène de la drépanocytose (S) et sur l'autre allèle, le gène non responsable de la drépanocytose (A). Les élèves individuellement devraient aussi modéliser une cellule paternelle porteuse, sur les chromosomes 11, des deux versions du gène responsable ou non de l'albinisme. Ils ont donc placé sur un allèle, le gène de l'albinisme (a) et sur l'autre allèle, le gène non responsable de l'albinisme (A). Il a été de même avec la cellule maternelle porteuse sur un des allèles du chromosome 11, du gène de l'albinisme (a) et sur l'autre allèle, le gène non responsable de l'albinisme (A). L'enseignant s'est assuré à la fin que les élèves ont modélisé correctement le graphique et le protocole expérimental des deux cellules paternelle et maternelle. Ces derniers doivent ensuite expliquer, d'autant de façons qu'ils le souhaitent, comment vont se comporter les chromosomes premièrement au cours du phénomène de la méiose et ensuite au cours du phénomène de fécondation.

2.2.3. Les variables didactiques dans la situation de modélisation

Cette situation de modélisation comprend un paramètre très important découlant de la théorie des situations didactiques décrites dans le cadre de nos travaux comme des variables didactiques. Ces différents éléments sont susceptibles de donner du sens à la stratégie de résolution du problème chez les élèves. Les principales variables de notre situation sont présentées et explicitées dans le tableau et les paragraphes ci-dessous.

Tableau 16: Récapitulatif des variables avec choix possibles, et choix réalisés.

Variable	Choix réalisables	Choix réalisés
Élément graphique dans l'éditeur graphique et dans le protocole	Présence d'éléments classique (carré, cercle, bâtonnet, traits)	Choix porté sur les éléments classiques
	Présence d'éléments graphique de forme biologique (croix, hélice, ovale ...)	
	Absence d'éléments graphiques	
Différents niveaux biologiques du protocole	Imposé	Libre sans aucune indication sur l'ensemble des niveaux
	Libre sans aucune indication sur l'ensemble des niveaux	
	Libre avec précision des niveaux disponibles	
Pré-structuration du protocole	Pas de pré-structuration	Pas de pré-structuration
	Pré-structuration avec des étapes définies	
Objets biologiques	Aucun objet biologique spécifié	Objet biologique spécifique d'un à trois niveau
	Tous les niveaux confondus	
	Objet biologique spécifique d'un à trois niveau	
	Objet biologique spécifique d'un niveau	
Présentation du matériel technique	Sous forme de liste	Pas de présentation du matériel schématique. Au libre choix de l'élève
	Pas de présentation du matériel schématique. Au libre choix de l'élève	
	Sous forme schématique	
Information sur chaque objet biologique dans la liste du matériel	Indication du nom du support uniquement	Indication du support et d'une caractéristique
	Indication du support et d'une illustration de l'objet	
	Indication du support et d'une caractéristique	

La variable “**Élément graphique dans l'éditeur graphique et dans le protocole**” se trouve dans l'éditeur de dessin. Nous avons trouvé nécessaire de faciliter la tâche aux élèves en leur donnant des éléments classiques de dessin comme les traits, carré, cercles, flèches, rectangle, etc... Ces éléments ont pour but la réalisation de leurs dessins. Le fait de rendre disponible ces objets a pour objectif d'aider l'élève à ne pas réaliser entièrement le graphique et le protocole à main levée. Certes cette aide constitue juste une base, elle est néanmoins limitée, car donner aux élèves les éléments graphiques (croix pour le chromosome et hélice

pour ADN par exemple) aurait été une aide plus grande, cependant qu'elle n'aurait pas permis de diagnostiquer toutes leurs conceptions.

La variable “ **Différents niveaux biologiques du protocole**” représente dans notre dispositif numérique le niveau d'échelle biologique auquel l'élève se situe lors de l'élaboration de son protocole. Ici ce sont les différents niveaux d'échelles qui ressortent dans les différents graphiques et protocoles. Cette variable permet d'identifier les différents niveaux biologiques pris en compte dans l'élaboration du graphique et du protocole. Cette variable conditionne alors de nombreux paramètres pris en compte dans la suite par le chercheur. La réalisation du graphique et du protocole par les élèves souligne le niveau biologique où se situent les conceptions des élèves. Une fois le niveau biologique où se situent les conceptions identifiées, les représentations des élèves dans l'éditeur de texte et dans l'éditeur de protocole ont permis de regrouper les illustrations des élèves par groupe d'affinité suivant leurs différentes conceptions. À partir des affinités de leurs conceptions ressortis dans l'éditeur de texte et dans l'éditeur de graphique et de protocole. Ils sont dans l'interface réseau sociaux dans un groupe classe.

Concernant la troisième variable, tout d'abord, “**le protocole n'est pas pré-structuré**”. On ne nomme pas les étapes dans lesquelles l'élève inclut des actions comme on aurait pensé dès le départ. Étant donné que nous avons à faire aux élèves de la classe de Terminale D, qui ne sont ni à leur première ou deuxième année de génétique. Ils ont déjà abordé le phénomène de méiose en classe de seconde C, et le phénomène de fécondation en classe de première D. Nous n'avons pas trouvé nécessaire de proposer chacune des étapes et d'aider les élèves dans la structuration de leur protocole. Le fait de proposer une structuration nous aurait permis d'orienter les élèves vers une certaine organisation des protocoles et des expériences que nous souhaitons qu'ils développent afin d'obtenir des productions standardisées. Ensuite les élèves incluent des actions dans chacune des étapes de la transmission de l'information génétique chez des individus drépanocytaires, albinos, mongoliens en provenance des parents sains.

Le premier choix que nous avons fait a été de proposer aux élèves les neuf niveaux biologiques parmi lesquels ils devaient opter pour le ou les niveaux biologiques directement touchés ou concernés par la transmission de l'information génétique d'une génération à une autre.

Dans le second choix, nous avons laissé aux élèves la latitude de décider eux-mêmes des actions ou protocoles de transmission de l'information génétique. Ils ont alors dessiné des chromosomes sous forme de graphique, qu'ils ont placé à des positions précises des gènes responsables des tares ci-mentionnées. L'accent est mis sur les 11^{èmes} paires de chromosomes parentaux à deux chromatides. Ils ont élaboré par la suite un protocole où ces chromosomes entrent en division méiotique pour former les gamètes ou cellules sexuelles à n chromosomes.

Nous attendions ensuite qu'ils élaborent un protocole de croisement entre les différentes cellules sexuelles entrant en fusion en vue de la formation de la cellule œuf. Dans cette action, les élèves sont supposés ressortir clairement les différents objets biologiques mis en cause tout au long de leur protocole. L'autre possibilité est de ne rien imposer pour la structuration de l'action, ce qui laisse alors un choix totalement libre à l'élève dans ce qu'il insère dans chaque étape. Nous avons donc laissé aux élèves la possibilité d'écrire une action libre. Une autre solution aurait été de donner également une représentation graphique des chromosomes à $2n$ après duplication, mais nous pensons que cela aurait été d'une grande aide pour les élèves.

Une fois l'éditeur de texte de l'espace 1 du GENEDIDACT ouvert, l'élève de Terminale D était amené à répondre à un certain nombre de question en vue de scinder les élèves par groupe de classe, question de permettre au logiciel de les répartir par groupe d'affinités suivant leurs différentes conceptions. C'est le résultat de ces réponses qui leur a permis de procéder aux discussions dans l'interface 2 du GENEDIDACT par groupe d'affinité de leurs conceptions.

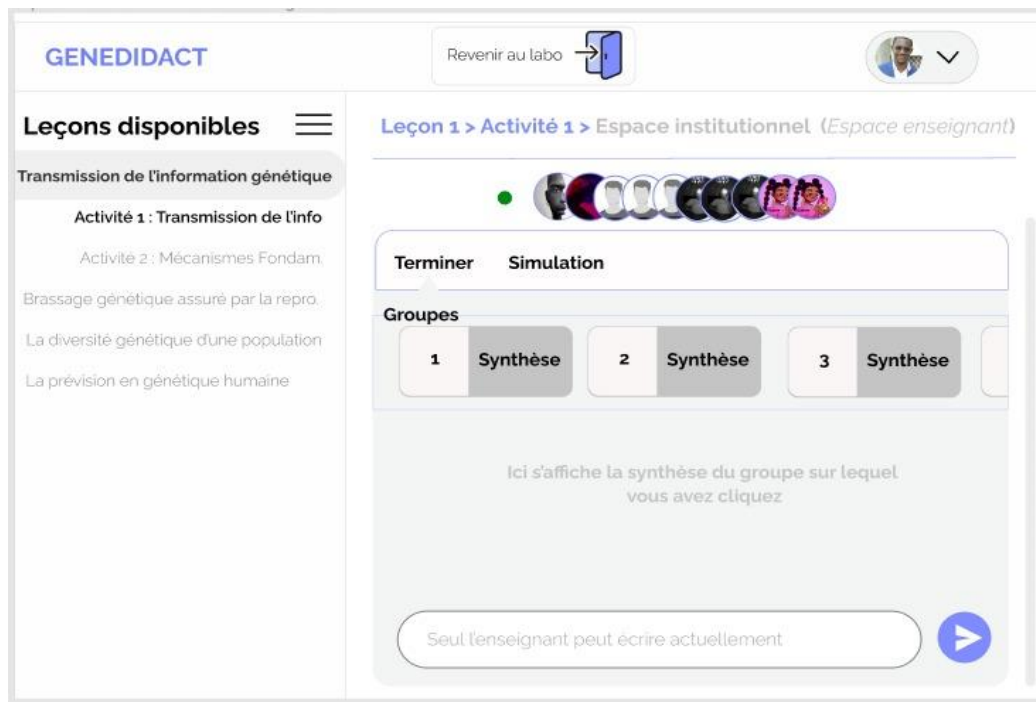


Figure 20: Interface illustrant les choix d'activité par les élèves

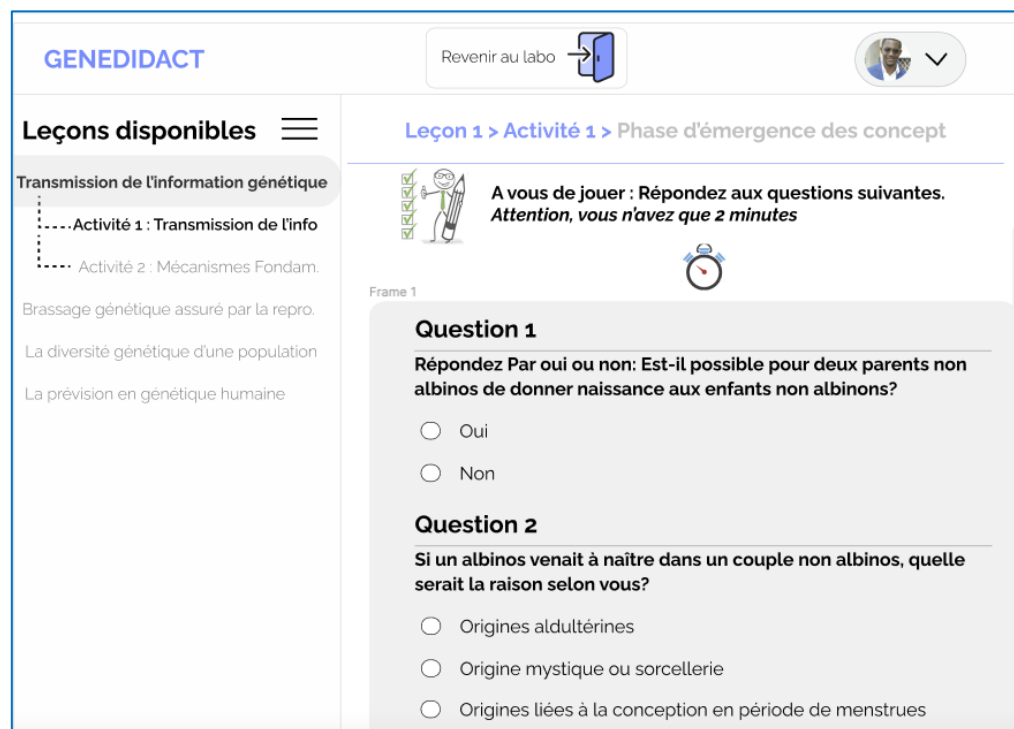


Figure 21: Interface illustrant les réponses permettent de regrouper par groupe d'affinité

Une fois le premier groupe de questions de cet espace répondu, l'élève a été amené à répondre au deuxième groupe de question de ce même espace. L'élève se voit soumettre une liste d'objets biologique

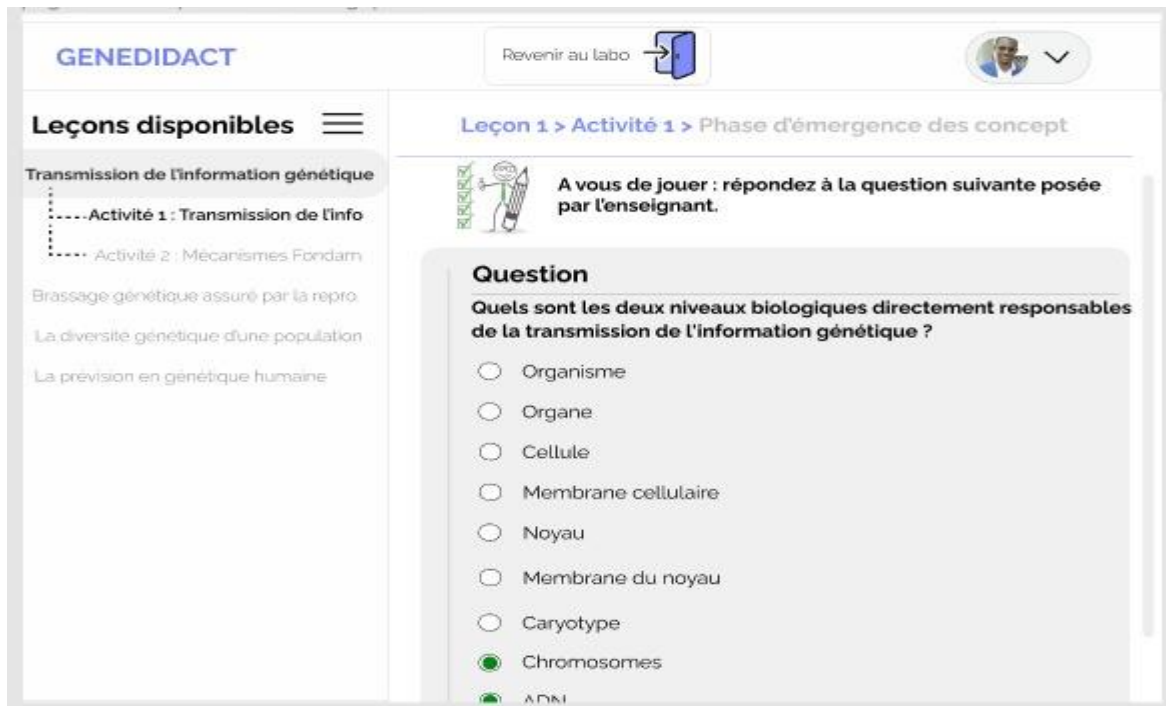


Figure 22: Interface du choix du matériel biologique responsable de la transmission de l'information génétique

Une fois de plus, nous avons demandé aux élèves d'élaborer le graphique et le protocole à partir de l'éditeur de graphisme et de protocole. Ils ont élaboré le protocole de transmission de l'information génétique d'une génération à une autre. Les objets biologiques proposés à l'élève sont spécifiques de chaque niveau biologique. La procédure d'élaboration des graphiques et des protocoles donne l'interface suivante :

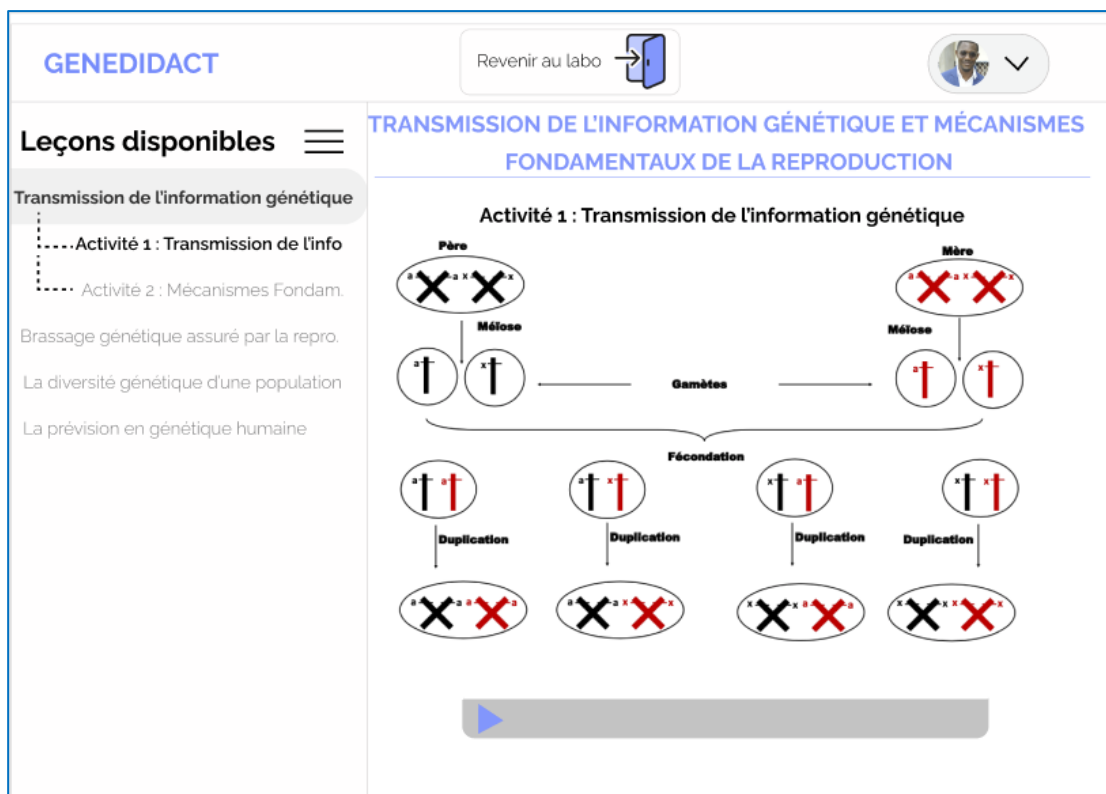


Figure 23: Interface représentant les graphiques et les protocoles d'élaboration de la transmission de l'information génétique chez les individus albinos en provenance des parents sains

Une autre solution aurait été de leur fournir la totalité des objets biologiques de l'ensemble des niveaux directement impliqués dans le protocole de transmission de l'information génétique d'une génération à une autre. Mais dans ce cas, ils auraient pu changer d'idée, de niveau biologique, ce qui n'était pas souhaitable.

Une autre variable fixée concerne les actions qui consistent en la **présentation des objets biologiques**. Ces objets sont proposés aux élèves sous forme de liste juste avant l'élaboration du protocole.

Les questions posées aux élèves en tout début de séquence dans l'espace 1 de l'interface 1 renvoyaient les élèves dans l'interface 2 qui est l'interface discussion. Dans l'espace discussion, les élèves se retrouvent dans un groupe discussion en fonction de leurs réponses dans l'espace 1 de l'interface 1 du GENEDIDACT. Lorsqu'un élève intervient dans cette espace, son nom et le groupe auquel il appartient (groupe 1, groupe 2, groupe 3, groupe 4, groupe 5) apparaissent dans chaque poste de travail de la salle d'informatique de l'établissement devant lequel se trouve chaque élève.

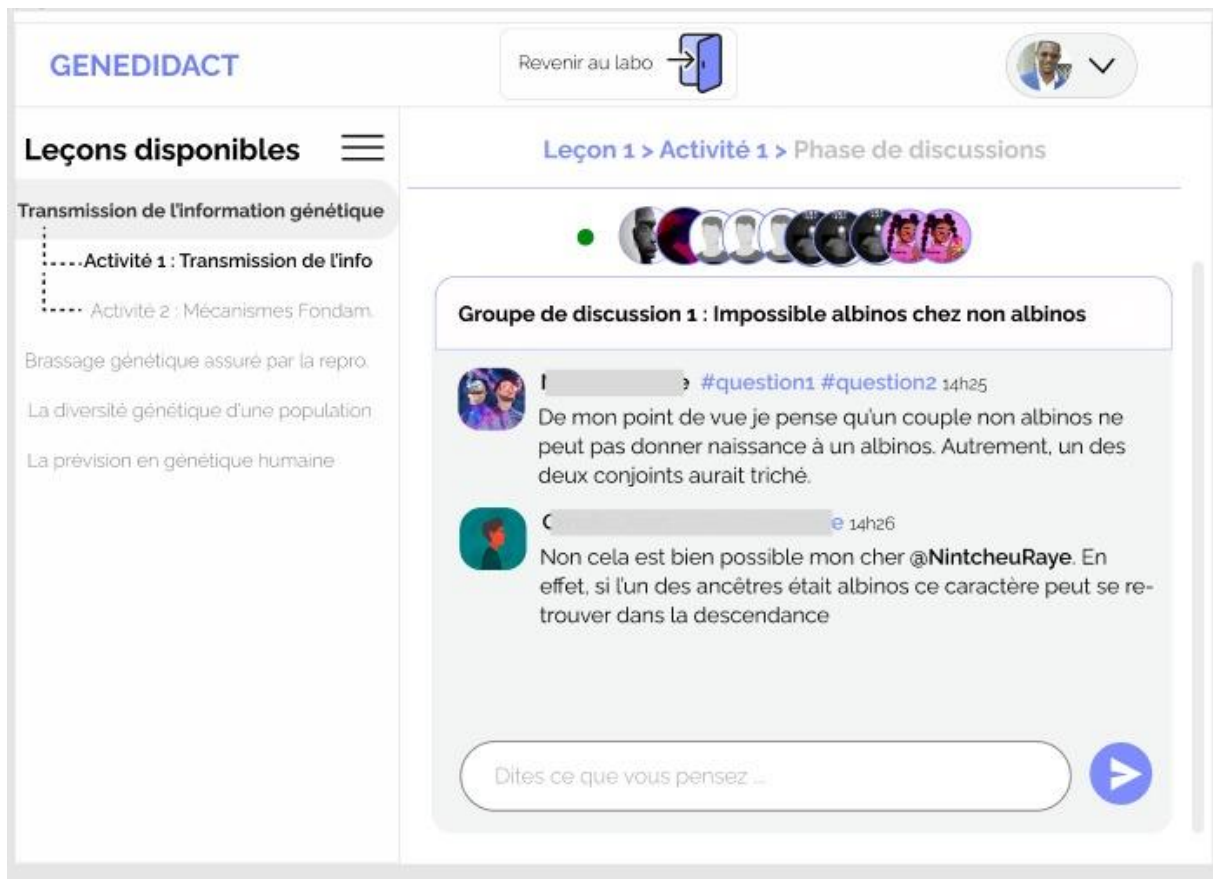


Figure 24: interface discussion du GENEDIDACT lors de l'intervention d'un élève à l'intérieur d'un groupe

La variable “Information sur chaque objet biologique dans la liste du matériel” concerne le matériel technique. Aucune proposition n’a été faite aux élèves à ce sujet. La raison est que nous voulons laisser les élèves libres de toutes contraintes techniques. Les élèves peuvent ainsi et même inventer des techniques pour réaliser la transmission de l’information génétique d’une génération à une autre. Une alternative aurait été de proposer aux élèves du matériel spécifique des niveaux biologiques chromosome, gènes, allèles. Il s’agit d’un matériel biologique qu’il est nécessaire d’utiliser et qui est directement responsable du phénomène de transmission de l’information génétique. On aurait notamment proposé aux élèves des paires de chromosomes parentales (paternelle et maternelle) en vue de les orienter. Mais ce n’est pas le choix que nous avons fait parce que nous avons considéré les acquis des élèves sur les représentations des chromosomes et l’emplacement des gènes des différents allèles. Nous avons pensé que, malgré une orientation précise pour la production du protocole, il serait néanmoins difficile d’obtenir des protocoles adéquats pour l’analyse. Les

élèves de Terminale D, n'éprouveraient pas de très grandes difficultés à concevoir un protocole de transmission de l'information génétique d'une génération à une autre.

2.2.4. Analyse des résultats sur le milieu de la situation didactique

Les différents choix qui ont pu être réalisés sur les variables ont permis la construction du milieu de la situation. Ce milieu est formé essentiellement des éléments proposés par le dispositif d'enseignement GENEDIDACT, dont les différentes interfaces, vont interagir avec l'apprenant. L'enseignant chercheur et le logiciel fournissent tout au long de l'expérimentation à l'élève des éléments de la situation permettant une utilisation minutieuse du dispositif d'enseignement GENEDIDACT, l'aidant à répondre aux problèmes posés à chaque étape de son expérimentation.

L'enseignant chercheur a une influence capitale. Son rôle est élaboré dans le cadre du contrat didactique, rôle concrétisé par un ensemble de rétroactions qui ont pour but d'aider l'apprenant en génétique à manipuler et à naviguer dans le GENEDIDACT, dispositif d'enseignement auquel les élèves n'ont pas connaissance des fonctionnalités avant la séance expérimentale.

GENEDIDACT est dispositif d'enseignement organisé en quatre espaces : exploration, protocole, résultat, publication et mission. Ce milieu d'expérimentation, le GENEDIDACT dispose d'une orientation permanente de l'enseignant chercheur, vers un protocole spécifique, sur la base des productions de l'élève.

L'organisation de ce dispositif d'enseignement qui n'est rien d'autre qu'un site web comporte bien évidemment un certain nombre de contraintes lors de son utilisation. L'une des contraintes principales est que les productions ont été demandées aux élèves suivant un ordre à respecter. Réponses fermées, Texte des idées, graphique et protocoles, discussion de groupes, institutionnalisation par l'enseignant nécessitant l'attention de l'élève. L'accès à l'éditeur de texte, à l'éditeur de protocole et à chaque instruction ne s'est fait qu'une seule fois et en un temps bien délimité. Une fois le temps imparti pour une interface ou une instruction terminée, le dispositif bascule automatiquement vers une autre interface avec impossibilité de retour dans l'interface précédente. Une fois dans l'espace graphique et protocole, il n'y a plus aucune possibilité de retour dans l'espace texte et réponse fermée. Une fois dans l'espace ou interface discussion, il n'y a plus possibilité de retour dans les précédentes. Les données s'enregistrent. Seul l'enseignant chercheur a la possibilité de faire une rétrospection sur les différentes productions des élèves. Une autre contrainte dans ce

dispositif, est qu'on tient compte ici des conceptions des élèves en tout début de séance pour l'orienter dans un groupe de discussion, même si pendant l'élaboration d'autres productions, les conceptions de ces derniers évoluent.

3. Analyse des liens entre le savoir scolaire et le problème posé

La transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires, albinos en provenance des parents sains est le problème posé aux élèves de Terminale D. En analysant du point de vue scientifique, nous voyons un développement de la réponse des élèves, une analyse de la question sur le concept et l'action de transmission de l'information génétique.

3.1. Analyse du problème biologique posé par cette recherche

Le problème biologique renvoie ici à un certain nombre d'éléments de réponses possibles.

- Les cellules germinales sont diploïdes, elles renferment les mêmes chromosomes et les mêmes gènes que les autres cellules de l'organisme (cellules somatiques)
- Il est impossible de transmettre intégralement toute l'information génétique d'une cellule germinale à une cellule sexuelle ou gamète.
- Chez l'homme, être pluricellulaire, ce sont les cellules germinales à $2n$ chromosomes qui donnent les gamètes (cellules sexuelles) à n chromosomes à l'issue de la méiose, qui voit la séparation des paires de chromosomes.
- Les gamètes ne renferment qu'un exemplaire de chaque paire de chromosomes, donc un seul exemplaire de chaque gène.

Les élèves de Terminale D sont capables de dire que la transmission de l'information génétique est portée par l'ADN, étant donné qu'ils savent que c'est le support de l'information génétique et qu'il peut être associé à des protéines, et prendre des formes différentes : chromosomes, c'est-à-dire chromatine sous forme condensée ou chromatine libre dans le noyau. Ils savent que toutes les cellules d'un être vivant pluricellulaire contiennent la même information génétique tant au niveau somatique, que germinale et que c'est la cellule germinale qui donnera par le biais de la méiose naissance à la formation des gamètes. Ils ont la notion de différenciation cellulaire. Les élèves de Terminale D, ont un ensemble de connaissances qu'ils peuvent mobiliser et qui sont nécessaires pour résoudre le problème posé :

3.2. Analyse des prérequis en génétique pour répondre au problème posé

Les prérequis en génétique correspondent aux connaissances déjà reçus par les élèves d'après les enseignements qu'ils ont suivis et qui sont nécessaires pour répondre au problème posé. D'un point de vue biologique, plusieurs réponses seraient possibles et acceptables. En parlant de l'ADN, les élèves de Terminale D ont pour prérequis qu'il est le support biologique de l'information génétique à proprement parler. Les chromosomes sont constitués d'ADN qui porte les gènes. L'information génétique est répartie sur les 23 paires de chromosomes d'une cellule somatique et germinale et sur les 23 chromosomes d'une cellule sexuelle. Sur chaque paire de chromosome, il y a un chromosome d'origine paternelle et un chromosome d'origine maternelle. Pour une même paire, les deux chromosomes ne seront pas identiques. L'ADN qui constitue nos chromosomes porte environ 20.000 gènes. Les gènes sont donc eux aussi présents en 2 copies, une copie paternelle et une copie maternelle. Le gène est un morceau de l'ADN correspondant à une information génétique particulière codant pour une protéine unique. Il est donc une petite portion du chromosome. Comme nous possédons en double chaque chromosome, chaque gène est également présent en double dans les cellules somatiques et germinales. Ces deux copies d'un gène, appelées allèles, peuvent être différentes. Une, est d'origine maternelle et l'autre est d'origine paternelle.

Nous pouvons ainsi formuler un certain nombre de connaissances apportées par notre logiciel et adaptées au niveau de la classe de Terminale D :

- L'information génétique est portée par l'ADN.
- L'ADN peut être considéré comme une succession de gènes et forme des chromosomes dans son état super enroulé. Il se trouve dans le noyau des cellules eucaryotes ou dans le cytoplasme des cellules procaryotes.
- L'ADN (chromosomes, gènes) de chaque humain est pour une moitié hérité de son père et pour l'autre de sa mère.
- Les maladies génétiques ont la particularité de concerner non seulement la personne atteinte, mais aussi les membres de sa famille.
- L'information génétique est contenue dans nos chromosomes qui contiennent eux-mêmes notre ADN
- Un allèle est une version variable d'un même gène. Dans une cellule diploïde, il y a deux allèles présents pour chaque gène autosomique. Un allèle transmis par le père et

un allèle transmis par la mère.

- Les allèles peuvent coder un caractère physique de l'individu. Mais peut aussi coder la présence d'une pathologie héréditaire.
- L'ordre et la succession des bases de l'ADN définissent le programme génétique d'un organisme.
- Le programme génétique d'un organisme le caractérise et comprend toutes les informations nécessaires à sa vie, sa survie et sa croissance.
- Ce sont les gènes, fragments d'ADN qui sont les principaux éléments concernés lors de la transmission de l'information génétique.
- Une transmission de l'information génétique peut se traduire par une expression phénotypique

Plusieurs de ces connaissances sont liées à la localisation de l'information génétique : « l'ADN est le support de l'information génétique et se trouve dans le noyau de chacune des cellules de l'organisme. La structure de l'information génétique au niveau de l'ADN nécessite les connaissances comme la succession des bases qui forment le programme génétique, ainsi que l'organisation par paire faisant partie de cette catégorie particulière. Un autre type de connaissance est celle liée au code génétique déterminant les caractères d'un individu. Ces connaissances sont liées quant à elles à la fonction de l'information génétique. Enfin, d'autres connaissances impliquent la transmission de l'information génétique chez les individus portant une tare et en provenance des parents phénotypiquement sains.

On peut tout de même remarquer qu'un certain nombre de connaissances sont loin d'appartenir exclusivement à une catégorie. Cette situation justifie le fait que si les élèves de Terminale D ne possèdent pas des connaissances dans une catégorie spécifique de génétique, ils seraient très limités dans les connaissances d'une autre catégorie dans ce domaine. Il est donc nécessaire que ces élèves de Terminale D possèdent et maîtrisent l'ensemble des connaissances des classes de troisième, seconde et première en génétique pouvant leur permettre de comprendre le problème et le traiter avec plus d'aisance et de la manière la plus efficace possible.

L'étude minutieuse du problème de notre situation correspondant au savoir scolaire, nous a permis de mettre en exergue les connaissances nécessaires pour répondre au problème de notre situation. Bien que la réponse optimale se situe au niveau de l'ADN, du gène et des allèles, l'enseignement de la génétique a permis aux élèves de développer des connaissances sur la division cellulaire plus précisément la méiose en affinant leurs connaissances sur les

étapes de la méiose et sur la fusion des gamètes au travers du phénomène de fécondation.

4. Analyse de la méthodologie et du test des productions de la plateforme GENEDIDACT

Cette analyse consistera à examiner la méthodologie de la plateforme GENEDIDACT, Analyse de la phase expérimentale dans l'activité de modélisation

4.1. Analyse de la méthodologie de de la plateforme GENEDIDACT

En vue d'analyser les productions des élèves de la classe de Terminale D en génétique, nous avons décidé de classer leurs réponses en fonction de leurs conceptions sur les phénomènes de méiose et de fécondation (phénomènes illustratifs de la transmission de l'information génétique). Nous avons prédéfini trois niveaux concernés directement par la transmission de l'information génétique des parents sains vers les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens.

Dans le but de classer les différentes réponses des élèves, nous avons au travers de notre logiciel, considéré en premier lieu, leurs réponses écrites (Zone de texte), et en second lieu, les différents schémas servant à conforter et/ou clarifier la réponse de chaque élève.

La somme des réponses des élèves pour chaque procédure nous permet de comparer les fréquences d'apparition de chaque procédure de transmission de l'information génétiques des parents sains aux individus drépanocytaires/albinos et de confirmer environ cinq procédures qu'on pourrait trouver dans les productions des élèves. Ceci a été implémenté à l'intérieur de quatre (4) niveaux biologiques à savoir la cellule/noyau, chromosome, ADN, gène.

Le travail demandé aux élèves va leur permettre de modéliser la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens (T21) en provenance des parents sains. Ce qu'on attend des élèves c'est qu'ils modélisent le comportement des paires de chromosomes des gamètes parentales à partir de deux phénomènes à savoir la méiose et la fécondation.

L'analyse des étapes de l'expérimentation de la transmission de l'information génétique chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens (T21) à partir des parents sains, nous apporte des précisions sur les différents niveaux biologiques où intervient la transmission de l'information génétique. Le travail illustré dans notre plateforme montre que

la transmission de l'information génétique concerne directement un certain nombre de niveaux biologiques à savoir : cellule – Noyau – chromosome – Gene – ADN. Ces cinq niveaux correspondent aux niveaux biologiques observables par les élèves lors de l'expérimentation sur la plateforme numérique.

Dans les représentations graphiques des élèves à l'aide du logiciel GENEDIDACT, la cellule et le noyau sont les premiers objets biologiques. La cellule quant à elle comporte huit autres objets : la membrane cellulaire, les constituants de cette membrane qui sont différenciés en protéines, lipides et sucres et le contenu cellulaire que l'on peut diviser en cytoplasme et organites cellulaires. L'ensemble de ces constituants ainsi que la cellule dans son entier et son enveloppe peuvent servir de support à l'information génétique et être modifiés par les élèves dans le protocole qu'ils créent. Le Noyau quant à lui, contient les objets biologiques tels que : le noyau, son enveloppe, son contenu, le nucléoplasme et le nucléole. De nouveau, chacun des objets biologiques présents dans ce niveau, peut être considéré par les élèves comme étant le support de l'information génétique.

Ces niveaux sont regroupés sous le terme de niveaux cellulaires, observables au microscope optique.

Le chromosome est le deuxième objet biologique apparaissant dans le graphisme représenté par les élèves via notre plateforme numérique. Ce deuxième objet biologique contient différents objets biologiques tels que : Les chromatides, le centromère ou le bras du chromosome qui peuvent également porter l'information génétique. Agir sur ces différents objets a des effets directs sur le chromosome. De nouveau nous pouvons unir ces deux niveaux sous le terme ultra cellulaire, car ils sont tous accessibles par le microscope optique ou électronique.

Le gène, son promoteur, son corps, sa terminaison font partie du troisième objet biologique apparaissant dans le graphisme et représenté par les élèves via notre plateforme numérique.

Le quatrième objet biologique est l'ADN. Ses différents objets biologiques sont l'ADN, les nucléotides, les phosphates et les sucres qui le constituent. Il comporte aussi une molécule, une structure en hélice et des brins complémentaires.

Le Gène et l'ADN correspondent aux niveaux Moléculaires, qui sont des niveaux accessibles principalement par l'imagination.

4.2. Analyse de la phase expérimentale dans l'activité de modélisation

Les différents résultats de modélisation de la transmission de l'information génétiques issus de notre plateforme de génétiques (GENEDIDACT) sont les suivants.



Figure 25: Modélisation de la cellule paternelle et la cellule maternelle qui vont entrer en division méiotique

Suite à cette modélisation, les différentes propositions des élèves seront comparées avec des documents représentant des cellules en division méiotiques conduisant à des cellules sexuelles. Dans cette contribution, nous nous intéresserons uniquement à la modélisation de la transmission de l'information génétique d'une cellule paternelle et d'une cellule maternelle à une cellule œuf.

❖ L'activité déployée par les élèves dans la tâche proposée

Pour les élèves de Terminale D, plusieurs comportements sont possibles pour les chromosomes au cours de la division cellulaire conduisant aux cellules sexuelles. Il en résulte des cellules sexuelles ayant un matériel chromosomique divers. C'est du résultat de ces productions que nous allons inférer les procédures probablement mobilisées par les élèves. Nous avons réalisé le fait qu'il est possible que ces procédures nous renseignent sur les conceptions des élèves par rapport aux concepts d'information génétique, de méiose et de gène.

Un certain nombre de procédures ont été utilisées par les élèves de Terminale D en vue de répartir les chromosomes des deux cellules paternelle et maternelle pour l'obtention des cellules sexuelles, qui en fusionnant produisent une cellule œuf. Sur l'ensemble des groupes classes de Terminales D2 et D3 du Lycée de Biyem- Assi et de la classe de Terminale D du

Lycée de Mouko, 68 propositions ont été faites. Nous avons pu regrouper ces 68 propositions provenant des élèves du groupe expérimental en six (6) procédures que nous présenterons par ordre décroissant d'occurrence dans la classe. Le tableau 16 indiquera les résultats obtenus.

Tableau 17: Répartition des élèves du groupe expérimental en fonction des procédures élaborées

Procédure	Nombre d'élèves	Pourcentages
Première procédure	11 élèves	16,2%
Deuxième procédure	17 élèves	25%
Troisième procédure	06 élèves	8,8%
Quatrième procédure	05 élèves	7,3%
Cinquième procédure	11 élèves	16,2%
Sixième procédure	18 élèves	26,5%
Total	68 élèves	100%

❖ **Première procédure ou procédure numéro 1**

Les productions qui entrent dans cette catégorie correspondent à la transmission des chromosomes des cellules paternelles et maternelles vers la cellule œuf

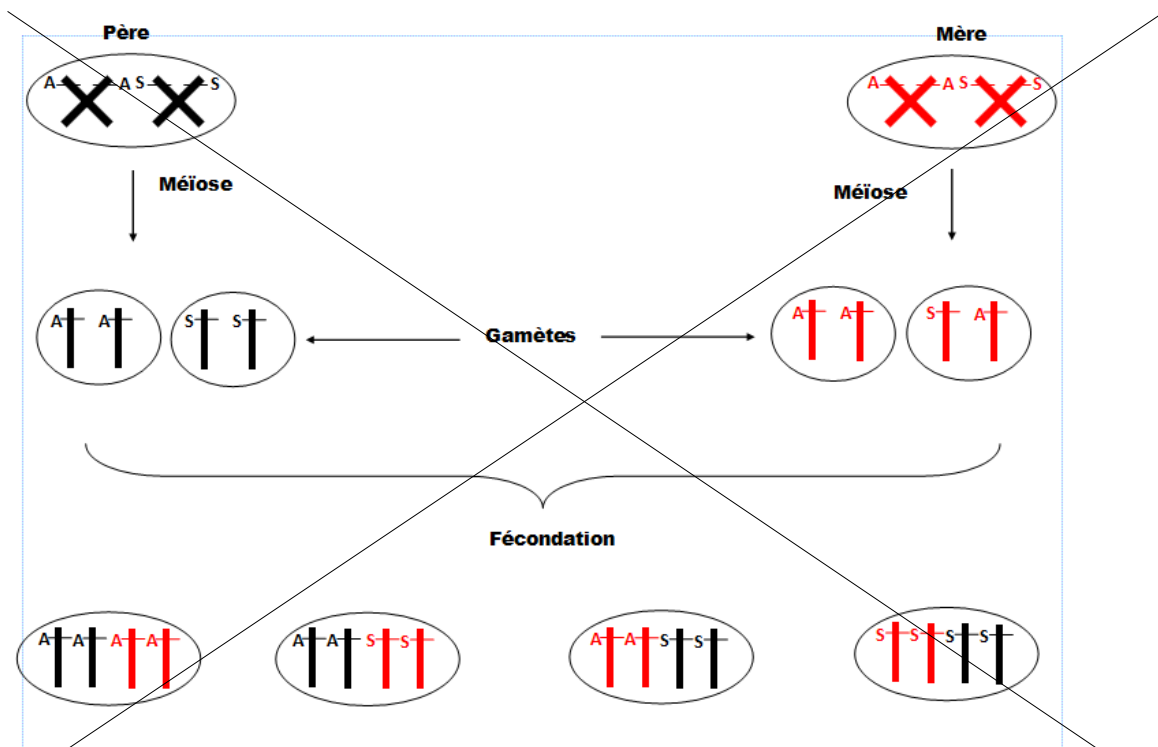


Figure 26: Répartition n°1 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf

Pour produire ces répartitions, partant des cellules parentales à deux chromatides, $\{(AA) / (SS)\}$ pour le père et $\{(AA) / (SS)\}$ pour la mère, afin de produire les différentes cellules sexuelles (AA) et (SS) pour le père et (AA) et (SS) pour la mère, les élèves ont

procédé de la façon suivante : selon eux, il n'y a pas eu dislocation de chromosomes lors de la production des gamètes. La fécondation entre les différents gamètes aboutit aux cellules œufs suivantes $\{(AA) / (AA)\}$ et $\{(AA) / (SS)\}$ et $\{(AA) / (SS)\}$ et $\{(SS) / (SS)\}$. La deuxième procédure se rapproche de la première.

❖ La deuxième procédure numéro 2

Les élèves qui ont mobilisé cette procédure produisent des résultats présentés sur la figure 27.

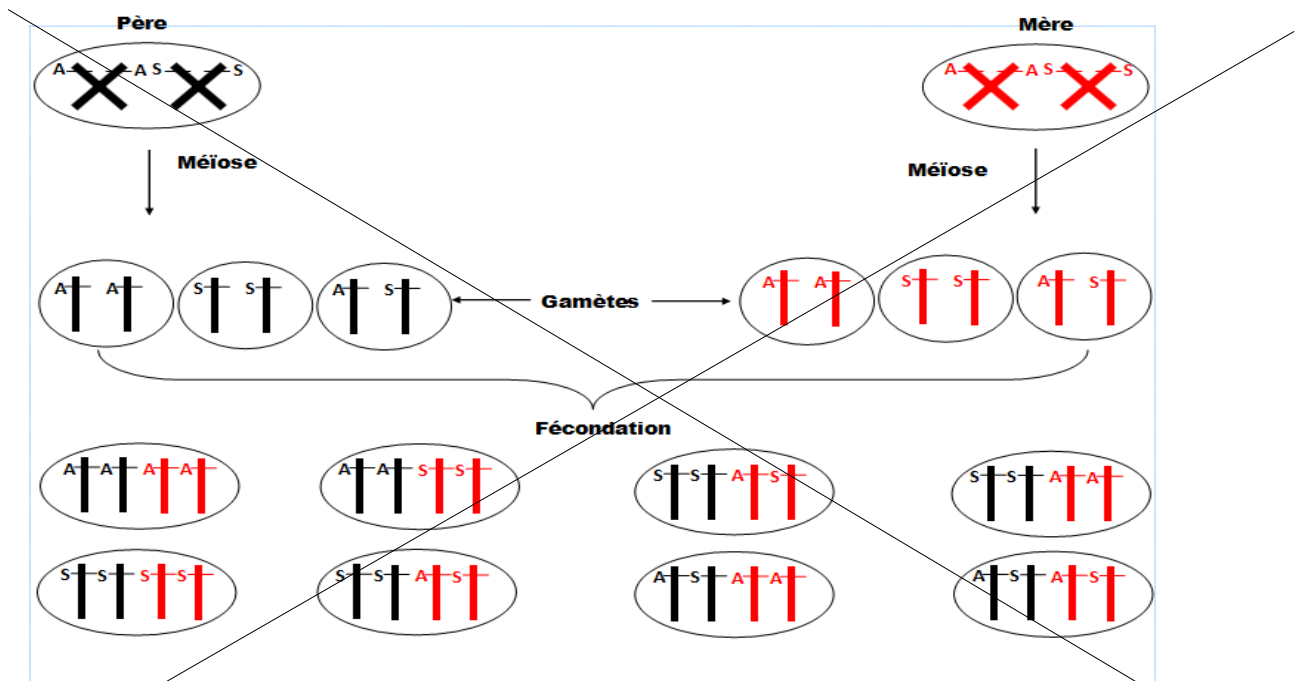


Figure 27: Répartition n°2 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf

Pour produire ces répartitions, partant des cellules parentales à deux chromatides, $\{(AA) / (SS)\}$ pour le père et $\{(AA) / (SS)\}$ pour la mère afin de produire les différentes cellules sexuelles (AA), (SS) et (AS) pour le père et (AA), (SS) et (AS) pour la mère, les élèves ont pu procéder de la façon suivante : selon eux, il n'y a pas eu dislocation de chromosomes lors de la production des gamètes, bien qu'on ne comprenne pas exactement la provenance de (AS) comme gamète. La fécondation entre les différents gamètes produites par les élèves aboutit aux cellules œufs suivantes $\{(AA) / (AA)\}$ et $\{(AA) / (SS)\}$ et $\{(AA) / (SS)\}$ et $\{(SS) / (SS)\}$ et $\{(SS) / (AS)\}$ et $\{(AS) / (AA)\}$ et $\{(AS) / (AS)\}$ et $\{(AS) / (SS)\}$ }.

❖ La troisième procédure ou procédure numéro 3

Les élèves qui ont mobilisé cette procédure produisent des résultats présentés sur la figure

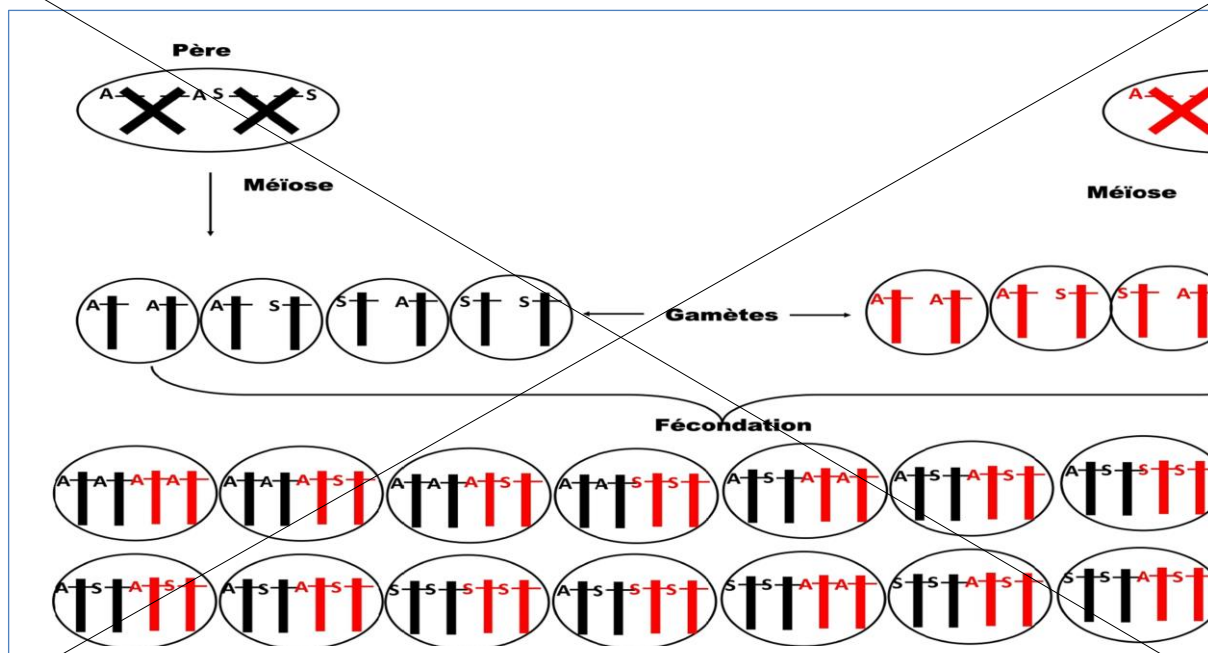


Figure 28: Répartition n°3 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf

Ce résultat semble d'avantage s'éloigner de la réalité. Il est moins satisfaisant que les précédentes. Pour produire ces répartitions, partant des cellules parentales à deux chromatides, $\{(AA) / (SS)\}$ pour le père et $\{(AA) / (SS)\}$ pour la mère, afin de produire les différentes cellules sexuelles ou gamètes (AA), (SS), (AS) et (AS) pour le père et (AA), (SS) (AS) et (AS) pour la mère. Les élèves ont pu procéder de la façon suivante : selon eux, il n'y a pas eu dislocation de chromosomes lors de la production des gamètes, bien qu'on ne comprenne pas exactement la provenance des (AS) comme gamète. Les élèves ont procédé à la division cellulaire conduisant à la formation des cellules sexuelles comme s'il s'agissait des croisements pour former les cellules œufs. Ils ont attribué tout le matériel chromosomique parental aux gamètes ou cellules sexuelles comme si la formation des cellules sexuelles épousait le même cheminement que la formation des cellules filles issues de la mitose. La fécondation entre les différents gamètes produits par ces élèves aboutit aux cellules œufs suivantes $\{(AA) / (AA)\}$, $\{(AA) / (AS)\}$, $\{(AA) / (AS)\}$, $\{(AA) / (SS)\}$, $\{(AS) / (AA)\}$, $\{(AS) / (AS)\}$, $\{(AS) / (SS)\}$, $\{(AS) / (AA)\}$, $\{(AS) / (AS)\}$, $\{(AS) / (AS)\}$, $\{(SS) / (SS)\}$, $\{(AS) / (SS)\}$, $\{(SS) / (AA)\}$, $\{(SS) / (AS)\}$, $\{(SS) / (AS)\}$ et $\{(SS) / (SS)\}$

La quatrième procédure traduit une nouvelle façon de faire, puisque les élèves vont décomposer les chromosomes parentaux et les réappairier aléatoirement dans la formation des gamètes ; jusque- là, ils avaient été transmis intacts.

❖ La quatrième procédure ou procédure numéro 4

Les élèves qui ont mobilisé cette procédure produisent des résultats présentés sur la figure 29.

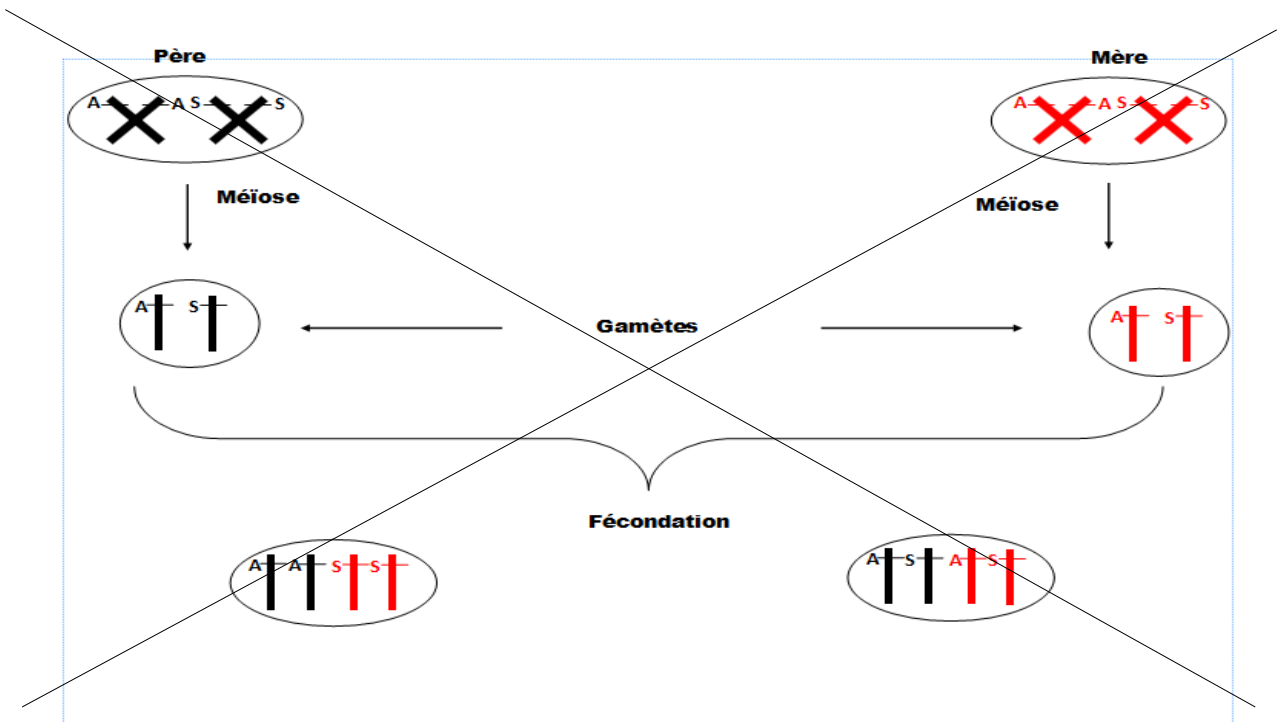


Figure 29: Répartition n°4 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf

L'obtention de ce résultat implique plusieurs étapes :

- La séparation des deux chromatides d'un chromosome parental ;
- La répartition des chromatides des chromosomes parentaux par paire avec le chromosome de l'autre chromosome homologue dans la formation de la cellule sexuelle ;
- L'appariement des chromosomes des cellules sexuelles pour former une cellule œuf avec des chromosomes déjà dupliqués.

Ce résultat peut, dans un premier temps, sembler satisfaisant. Les cellules parentales semblent avoir subi une division cellulaire pour aboutir aux cellules sexuelles ou gamètes qui possèdent un chromatide de chaque paire de chromosome. Les deux brins de chromatides se seraient disloqués et ensuite, des chromatides disloqués se seraient appariés avec le chromatide du chromosome homologue pour former la cellule sexuelle ou gamète.

Pour produire ces répartitions, partant des cellules parentales à deux chromatides, $\{(AA) / (SS)\}$ pour le père et $\{(AA) / (SS)\}$ pour la mère afin de produire les différentes cellules sexuelles ou gamètes (AS) pour le père et (AS) pour la mère, La fécondation entre les

différents gamètes produits par ces élèves aboutit aux cellules œufs suivantes $\{(AS) / (AS)\}$, $\{(AA) / (SS)\}$

❖ **La cinquième procédure ou procédure numéro 5**

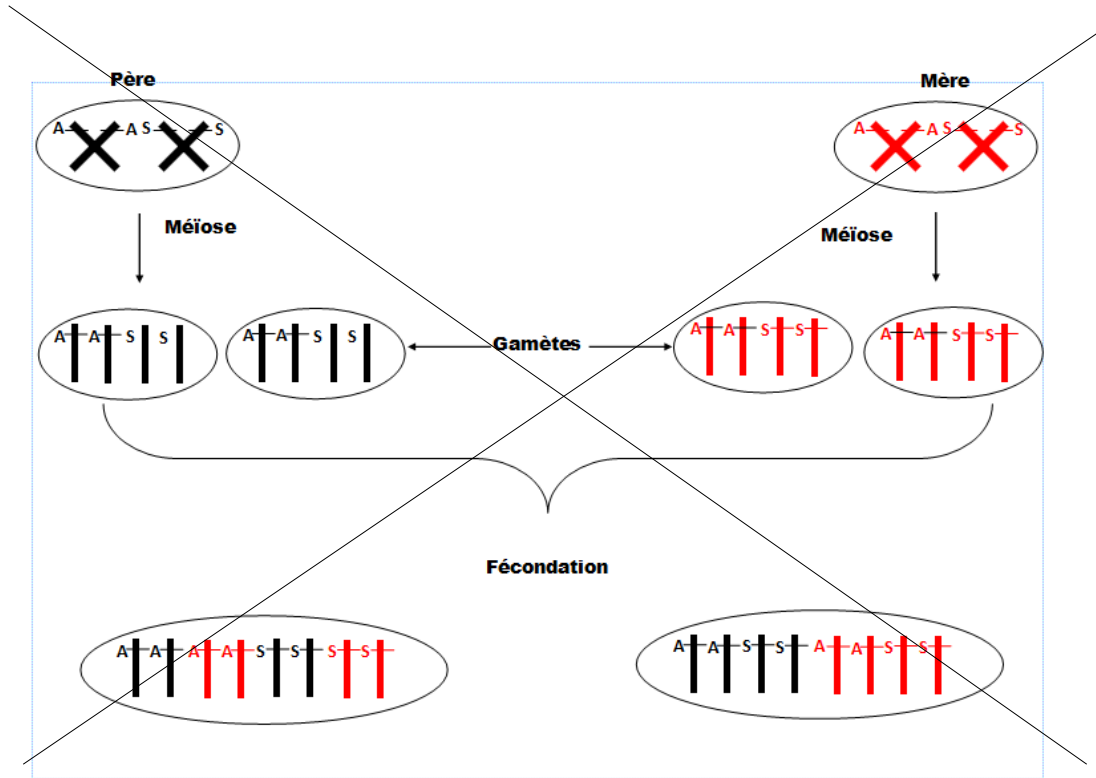


Figure 30: Répartition n°5 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf

Les productions qui entrent dans cette catégorie correspondent à la copie intégrale du génome de la cellule parentale pour produire la cellule sexuelle. On quitte les cellules parentales à $2n$ pour donner des cellules sexuelles à $2n$ chromosomes qui au cours de la fécondation produiront une cellule œuf à $4n$ chromosomes. Mais, il faut préciser que les élèves ont procédé de la façon suivante : après avoir attribué tout le matériel chromosomique aux gamètes qui se retrouvent à $2n$ chromosomes. Ces cellules sexuelles en entrant en fécondation forment des cellules œufs à $4n$ chromosomes. L'illustration de leur protocole est celle de la figure 30, cette catégorie correspond à la copie intégrale du génome de la cellule parentale pour produire la cellule sexuelle. Ces cellules sexuelles en entrant en fécondation forment des cellules œufs à $4n$ chromosomes.

❖ La sixième procédure ou procédure numéro 6

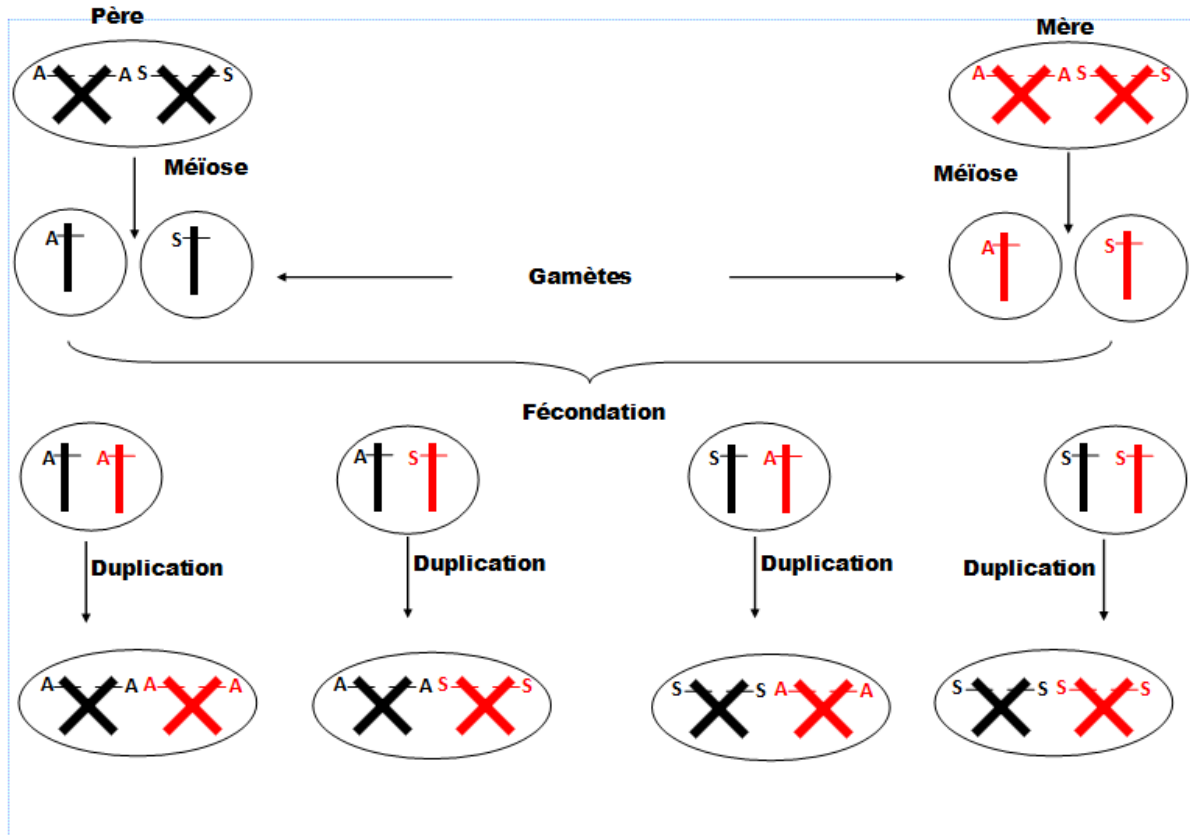


Figure 31: Répartition n°6 des chromosomes des cellules parentales vers la cellule œuf

Ce résultat semble être le plus correct. Il est plus satisfaisant que tous les précédents. Il représente véritablement le phénomène de méiose et de fécondation. On aperçoit les deux cellules parentales à $2n$ chromosomes composées de deux chromatides après duplication $\{(AA) / (SS)\}$ pour le père et $\{(AA) / (SS)\}$ pour la mère. Celles-ci vont subir le phénomène de méiose pour aboutir aux gamètes ou cellules sexuelles à n chromosomes (A) et (S) pour le père, et (A) et (S) pour la mère. Et ensuite elles subiront le phénomène de duplication pour aboutir aux chromosomes à deux chromatides comme celles des cellules parentales avant la méiose. Les élèves ont pu procéder de la façon suivante : selon eux, il y a eu dislocation de chromosomes lors de la production des gamètes. La fécondation entre les différents gamètes produits par ces élèves aboutira aux cellules œufs suivantes $\{(A) / (A)\}$, $\{(A) / (S)\}$, $\{(S) / (A)\}$, $\{(S) / (S)\}$.

Conclusion du chapitre 6

Les différentes séances didactiques non numérisées et numérisées, analysées dans ce chapitre associées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique en situations de difficulté d'apprentissage et accompagnés en situation de classe par des dispositifs d'enseignement tant numérique que non numérique et formant un corpus composite et varié (qualitatif et quantitatif), permettent de comprendre les postures épistémologiques et pédagogico-didactiques des enseignants en situation de classe de génétique. Il ressort de ces séances que les dispositifs d'enseignement de génétique en classe de Terminale D reposent sur une approche essentiellement objective marquée par des démarches expérimentales et des dispositifs d'enseignement qui favorisent la prise en compte des conceptions des élèves. Face à la présence des difficultés d'apprentissage chez les élèves liées aux conceptions en génétique, la quasi-absence des dispositifs prenant en compte les conceptions des apprenants dans les pratiques d'enseignement de génétique freine la construction du savoir scientifique dans cette partie du programme de SVT EEB. Dans cette recherche, le dispositif didactique proposé est fondé sur une approche d'enseignement tant numérique que non-numérique permettant de faire évoluer les conceptions des élèves. Ce chapitre présente les différentes étapes qui ont précédé les processus de conception de ces dispositifs ainsi que les éléments majeurs qui les caractérisent. Le chapitre suivant se focalisera sur la contribution de ces dispositifs, l'évolution des conceptions des apprenants et la construction durable des savoirs en génétique.

CHAPITRE VII :

CONTRIBUTION DES DISPOSITIFS DANS LA CONSTRUCTION DU SAVOIR EN GÉNÉTIQUE

La contribution des dispositifs dans la construction du savoir en génétique est un exercice qui consiste à décomposer systématiquement des données numériques ou celles auxquelles on attribue des valeurs numériques, en des éléments analysables sur le plan statistique en vue d'en examiner les différentes relations (Lefrançois, 1991 ; Lenoir, 1995). Les dispositifs d'enseignement de la génétique sont fondés sur des pratiques d'enseignement dans des environnements numériques et non-numériques. Ce dispositif innovant contribue de façon significative à la construction du savoir scientifique en génétique à travers un apprentissage articulé entre le registre de la génétique spontanée et celui de la génétique raisonnée. Dans cette recherche, nous avons mis en place des dispositifs didactiques, mêlant plusieurs protocoles à savoir le recueil des conceptions des apprenants en génétique à travers un questionnaire, une immersion en situation de classe de génétique tant numérique (en salle d'informatique des différents lycées) que non-numérique (en salle de classe ordinaire) et le recueil écrit des ressentis des apprenant via des évaluations sous forme d'épreuves. Ces dispositifs didactiques reposent sur les théories des situations didactiques et l'intervention éducative. L'objectif de ce chapitre est de présenter le bilan global des expérimentations afin d'analyser l'apport des dispositifs d'enseignement dans l'enseignement de la génétique. Nous présenterons dans un premier temps les caractéristiques des échantillons et les résultats du recueil des conceptions dans le groupe expérimental et témoin. Dans un deuxième temps, il sera question de décrire et analyser les résultats du pré-test et du post-test afin de valider les dispositifs d'enseignement élaborés. Et enfin, nous analyserons les points de vue des apprenants sur la façon dont ils ont reçu ces dispositifs d'enseignement.

1. Analyse des caractéristiques socio-démographiques et des conceptions des apprenants en génétique

Afin de mieux comprendre l'ingénierie proposée et son apport dans l'enseignement de la génétique, il serait pertinent de décrire et analyser les caractéristiques socio-

démographiques des enseignants de SVTEEHB, ainsi que les conceptions des élèves sur le contenu didactique sur lequel repose l'ingénierie à savoir la génétique. De ce fait, une enquête a été réalisée auprès des enseignants de SVTEEHB et auprès des apprenants du groupe témoin et du groupe expérimental dans le but de recueillir des informations sur leurs caractéristiques socio-démographiques pour les enseignants et sur les conceptions en génétique pour les apprenants.

À l'issue des expériences de classe menée sur le terrain à travers la leçon de génétique humaine en classe de Terminale D, les résultats obtenus de l'analyse des données sont présentés dans ce chapitre. Les résultats de nos travaux sont regroupés selon nos objectifs fixés dans notre problématique. Ainsi, ils sont présentés sous forme de figures et dans les tableaux en fonction des variables d'intérêt et suivant un certain nombre de rubriques.

1.1. Pratiques des enseignants de SVTEEB en matière de connaissance et de gestion des conceptions des élèves

Avant d'étudier les pratiques des enseignants de SVTEEHB sur la connaissance et la gestion des conceptions des élèves de Terminale D en génétique Humaine, il convient d'interroger leurs capacités en la matière. Les tableaux qui suivent donnent une répartition du personnel enseignant de SVTEEHB suivant le profil/renforcement des capacités sur la gestion des RCEGHTD reçus.

Tableau 18: Effectifs et fréquences des enseignants de SVTEEHB qui ont des connaissances en matière de conceptions des élèves.

Types de personnel	Total	Effectifs	Fréquences
PLEG SVT Lycée de B Assi	8	7	87,5%
PCEG SVT Lycée de B Assi	5	3	60,0%
Contractuel SVT Lycée B Assi	3	0	0%
Vacataire SVT Lycée B Assi	5	0	0%
Stagiaire SVT Lycée de B Assi	11	6	54,5%
PLEG SVT Lycée de Mouko	2	2	100%
PCEG SVT Lycée de Mouko	2	1	50%
Vacataire SVT Lycée de Mouko	1	0	0%
Ensemble	37	19	51,4%

Source : Enquête auprès des enseignants de SVTEEHB enquêtés dans les Lycées de Biyem-Assi, et de Mouko Mars 2020

Le tableau montre que seulement 51,4% d'enseignants, de SVTEEHB disent savoir ce que c'est qu'une conception chez un élève. La plupart de ceux qui le savent sont les enseignants formés dans les écoles normales.

Tableau 19: Répartition des enseignants de SVTEEHB enquêtés suivant la connaissance des procédures de prise en compte des conceptions des élèves.

<i>Types d'enseignants</i>	<i>Connaissent la procédure de prise en compte des conceptions des élèves</i>	
	<i>Oui</i>	<i>Non</i>
PLEG SVT	20%	80%
PCEG SVT	14,3%	75,7%
Enseignants contractuels SVT	0%	100%
Enseignants Vacataires SVT	0%	100%
Stagiaire de SVT	27,3%	72,7%
Ensemble	13,5%	86,5%

Source : Enquête auprès des personnels enseignants de SVTEEHB enquêtés dans les Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Mars 2020

Le tableau indique que seulement 13,5% des enseignants disent connaître les procédures de prise en compte des conceptions des élèves. Le reste 86,5% ignorent la procédure de prise en compte des conceptions des élèves.

Tableau 20: Répartition des personnels enseignants enquêtés prenant en compte les conceptions des élèves

<i>Types d'enseignants</i>	<i>Prennent en compte les conceptions des élèves</i>	
	<i>Oui</i>	<i>Non</i>
PLEG SVT	0%	100%
PCEG SVT	0%	100%
Enseignants contractuels SVT	0%	100%
Enseignants Vacataires SVT	0%	100%
Stagiaire de SVT	0%	100%
Ensemble	0%	100%

Source : Enquête auprès des personnels enseignants de SVTEEHB enquêtés dans les Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Mars 2020

De manière globale, le tableau montre que, aucun dispositif d'enseignement n'est mis sur pied par ces enseignants pour la prise en compte des conceptions des élèves en situation de classe

1.2. Enquêtes menées auprès des élèves concernant le niveau de leurs Conceptions

En situation de classe les cours, de Génétique humaine ont été effectués dans les 3 terminales D du lycée de Biyem-Assi et en Terminale D du Lycée de Mouko en vue de pouvoir recenser les différentes conceptions des élèves dans cette partie du programme. Le tableau en récapitule les résultats.

Tableau 21: Récapitulatif des conceptions des élèves de Terminales D en Génétique humaine des Lycées de Biyem Assi et de Mouko

<i>Conceptions des élèves</i>	<i>N=381</i>	<i>Effectifs</i>	<i>Fréquences</i>	<i>Fréquences cumulées</i>
Les gènes sont représentés dans la mémoire des élèves comme étant des chromosomes	<i>Oui</i>	312	81,9%	81,9%
	<i>Non</i>	69	18,1%	100%
Les chromosomes sont représentés dans la mémoire des élèves comme étant des filaments	<i>Oui</i>	321	84,3%	84,3%
	<i>Non</i>	60	15,7%	100%
Gènes portés par les chromosomes sexuels : conceptions des élèves qui ont tendance à appliquer les règles de l'hérédité non lié au sexe, classe de 3è	<i>Oui</i>	338	88,7%	88,7%
	<i>Non</i>	41	11,3%	100%
Gènes Co dominants : conceptions des élèves qui ont tendance à reproduire les règles de gènes dominants/ récessifs étudiés en classe de 3è	<i>Oui</i>	201	52,8%	52,8%
	<i>Non</i>	180	47,2%	100%
Groupe sanguin A : génotype AA et AO. le AA est vu par les élèves uniquement dans le cadre de l'électrophorèse AA, AS, SS	<i>Oui</i>	369	96,9%	96,9%
	<i>Non</i>	12	3,1%	100%
Les élèves ont une conception des gènes des groupes sanguins et des rhésus, comme n'étant pas porté par 2 allèles.	<i>Oui</i>	351	92,1%	92,1%
	<i>Non</i>	30	7,9%	100%
Les conceptions liées aux croisements simples étudiés en classe de 3è bloque la compréhension des résultats du crossing-over par les élèves	<i>Oui</i>	322	84,5%	84,5%
	<i>Non</i>	59	15,5%	100%
Les conceptions des élèves sur les gènes responsables d'un caractère en classe de 3è bloquent l'assimilation de Gènes cumulatif	<i>Oui</i>	340	89,2%	89,2%
	<i>Non</i>	41	10,8%	100%

Source : situation de classe : récapitulatif des élèves enquêtés des Tles D du Lycée de Biyem-Assi et Mouko, Mars 2020

Ce tableau illustre le niveau de conception chez les élèves des Lycée de Biyem-Assi et de Mouko. Plusieurs constats peuvent être relevés :

Concernant les élèves des Terminales D des deux Lycées, les gènes sont représentés dans la mémoire de 312 élèves sur les 381 enquêtées comme étant des chromosomes. Pour un pourcentage de 81,9%. De même, les chromosomes sont représentés dans la mémoire de plus de 321 élèves sur 381 comme étant des filaments. Donc un pourcentage de 84,3%.

338 élèves sur les 381 enquêtés dans les Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, pour un pourcentage de 88,7, ont tendance à appliquer les règles de l'hérédité non liée au sexe dans le cas de l'hérédité liée au sexe. Cette situation pourrait être due aux conceptions erronées emmagasinées en classe de Troisième. De même, 201 élèves sur les 381 enquêtés au lycée de Biyem-Assi et Mouko ont tendance à appliquer les règles de gènes dominants/récessifs dans le cadre des gènes Co dominants, pour un pourcentage de 52,8%.

De façon systématique, presque la totalité des élèves enquêtés au Lycée de Biyem-Assi voient uniquement le AA comme génotype de l'électrophorèse et n'admettent pas qu'on puisse trouver ce génotype AA dans le groupe sanguin A. On a obtenu à ce sujet un score de 369 sur les 381 élèves enquêtés, pour un pourcentage de 96,9%. De la même façon, 351 élèves ont une conception des groupes sanguins et Rhésus comme étant portés par un seul allèle. Le pourcentage pour cette fausse conception s'élève dans cet établissement à 92,1%. En classe de troisième, les groupes sanguins A, B, O et AB et Rh⁺ et Rh⁻, ont laissé sous-entendre que le gène responsable du groupe sanguin et du facteur sont portés par un seul allèle.

Les conceptions liées aux croisements simples étudiés en classe de troisième, bloquent la compréhension des résultats du crossing-over chez 322 élèves de Terminale D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, soit un pourcentage de 84,5%. De même, les conceptions des élèves sur les gènes responsables d'un caractère, en classe de troisième, bloquent l'assimilation des Gènes cumulatifs de 340 élèves de Terminale D dans ce même Lycée. D'où un pourcentage 89,2%.

2. Analyse des résultats de prise en compte non-numérique des Conceptions des élèves

Cette recherche est inscrite dans le paradigme de validation interne reposant sur une analyse *à priori* et une analyse *à posterior*, ainsi qu'une validation interne par comparaison statistique des performances entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Au préalable, il est nécessaire de présenter les caractéristiques du groupe expérimental et témoin afin de mieux appréhender le comportement des apprenants durant l'expérimentation et lors des différents tests qui leur ont été soumis. Les résultats de la prise en compte des conceptions des élèves en génétique en classe de Terminale D, passe au préalable par une phase de pré-test, ensuite une succession de tests en vue de prendre en compte les conceptions des élèves.

2.1. Analyse des résultats du pré-test

Le pré-test a constitué la phase préliminaire. Dans cette phase, il a été question de répartir la salle de Classe de Terminale D1 du Lycée de Biyem-Assi en deux groupes à savoir le groupe expérimental, soumis à l'expérience de prise en compte des conceptions des élèves en génétique et le groupe témoin, non soumis à l'expérience de prise en compte des conceptions. Donc le deuxième groupe à savoir le groupe témoin sera soumis à une leçon ordinaire de génétique suivant le modèle APC sans prise en compte des conceptions. Les résultats obtenus du pré-test seront consignés dans les tableaux suivants :

Le but du pré-test est de nous conduire à l'obtention de deux groupes homogènes. 52 élèves de Terminale D du lycée de Biyem-Assi ont été concernés par ce pré-test. Deux évaluations en tout début de séances dans la partie génétique du programme nous ont permis d'obtenir un groupe expérimental et un groupe témoin. Cette répartition de la classe en deux groupes s'est faite sur les bases des moyennes des notes des élèves lors des deux évaluations.

Voici les résultats de la moyenne des deux évaluations qui nous ont permis de séparer le groupe témoin du groupe expérimental en classe de Terminale D.

Tableau 22: Résultats de la moyenne des évaluations du pré-test.

Intervalle des notes/20	Répartition des 52 élèves de Terminale D1 ayant participé au pré-test au Lycée de Biyem-Assi	Pourcentages
Note >10 [10 - 12[	06 élèves	11,5 %
Note [08 - 10[	13 élèves	25 %
Note [06 - 08[	15 élèves	28,9 %
Note [04-06[	10 élèves	19,2 %
Note <04	8 élèves	15,4 %
Total	52 élèves	100 %

Source : pré-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ces résultats ont pour but de répartir la classe de Terminale D1 du Lycée de Biyem-Assi en deux groupes homogènes, c'est-à-dire le groupe expérimental et le groupe témoin lors du pré-test.

Graphique 1 : résultat de l'évaluation du pré-test

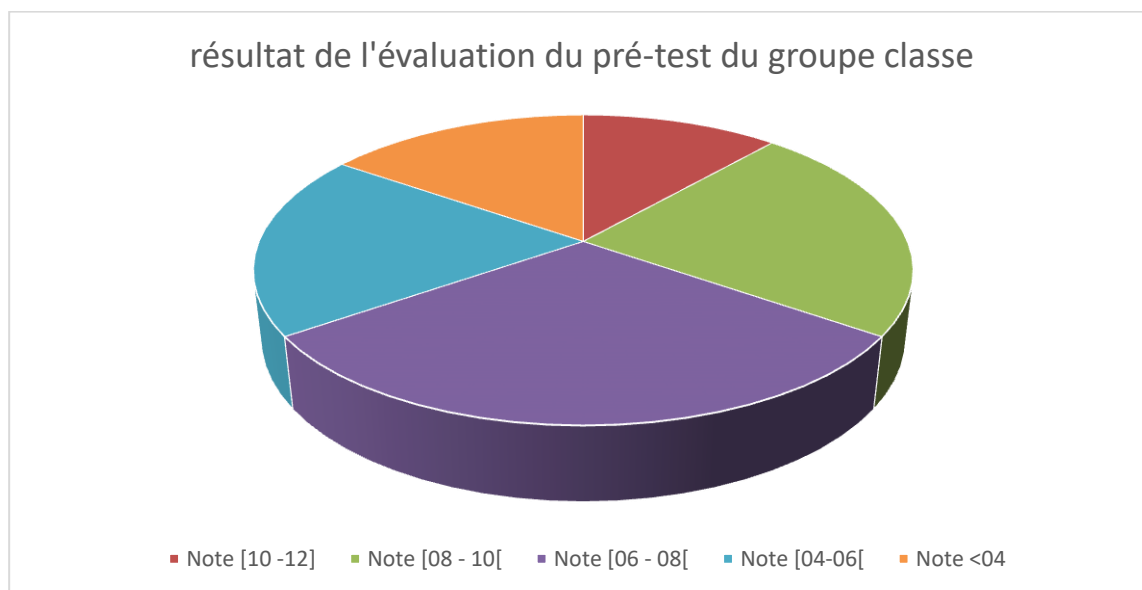


Tableau 23: Constitution des groupes témoins et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des Notes du pré-test

Test 1 : Résultat du pré-test

Intervalle des notes/20	Groupe expérimental (Test 1)	Groupe témoin (Test 1)
Note [18-20]	00	00
Note [16-18[	00	00
Note [14-16[	00	00
Note [12-14[	00	00
Note [10 - 12[	03	03
Note [08 - 10[	06	07
Note [06 - 08[	08	07
Note [04-06[	05	05
Note <04	04	04
Total	26	26

Source : pré-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce tableau illustre la répartition des élèves de Terminale D1 du lycée de Biyem-Assi en deux groupes (témoin et expérimental) en fonction des résultats du pré-test, question d'obtenir deux groupes homogènes. Comme on peut le constater dans ce tableau, la classe a été scindée en deux en fonction des notes obtenues lors du pré-test. Les six (6) élèves ayant obtenu une moyenne supérieure ou égale à 10/20, à savoir l'intervalle de 10 à 12, ont été répartis en trois (3) dans le groupe témoin et trois (3) dans le groupe expérimental, en vue de respecter l'homogénéité dans les deux groupes. Sur les douze (12) élèves ayant eu des notes comprises entre 08 et 09 sur 20. La répartition a été faite de manière à avoir six (6) élèves dans chacun

des deux groupe (Témoin et expérimental). Les seize (16) élèves ayant obtenu lors du pré-test les notes comprises entre 06 et 07 sur 20, ont été répartis dans les différents groupes à savoir : Huit (8) dans le groupe expérimental et Huit (8) dans le groupe témoin. Dans chaque intervalle de note (**note < 4**, [4-6[, [6-8[, [8-10[, [10-12 [), l'équitabilité dans les deux groupes avait pour objectif de respecter l'homogénéité dans ces groupes à savoir le groupe témoin d'une part et le groupe expérimental d'autre part.

Graphique 2 : Répartition des élèves dans les groupes témoin et expérimental lors du pré-test

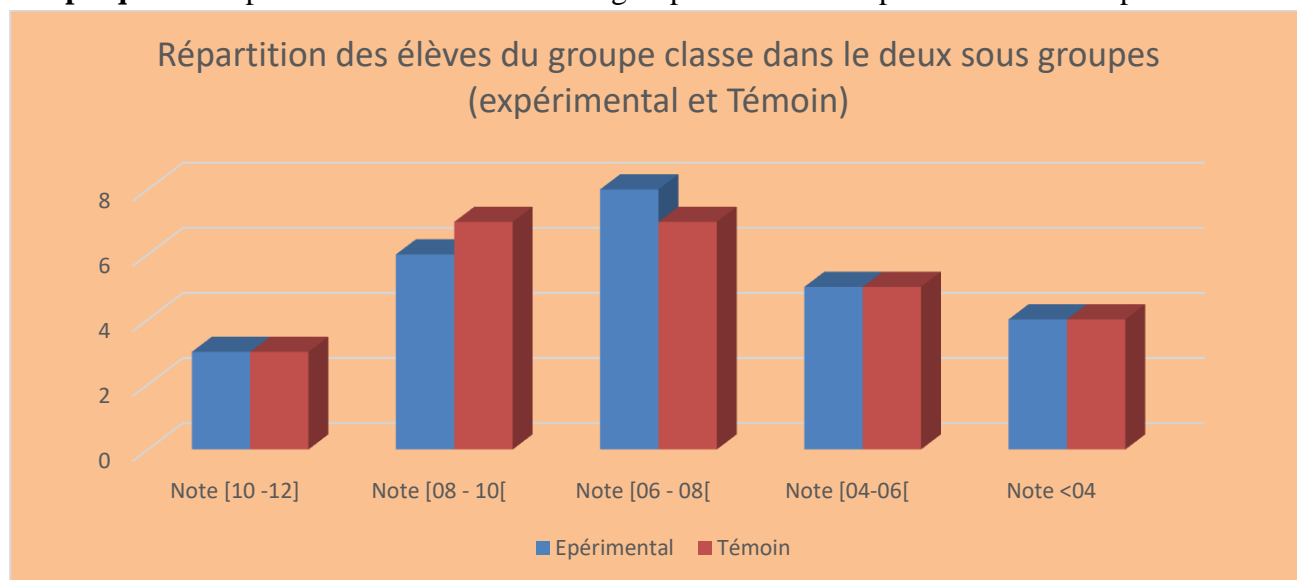


Tableau 24: Récapitulatif des résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe

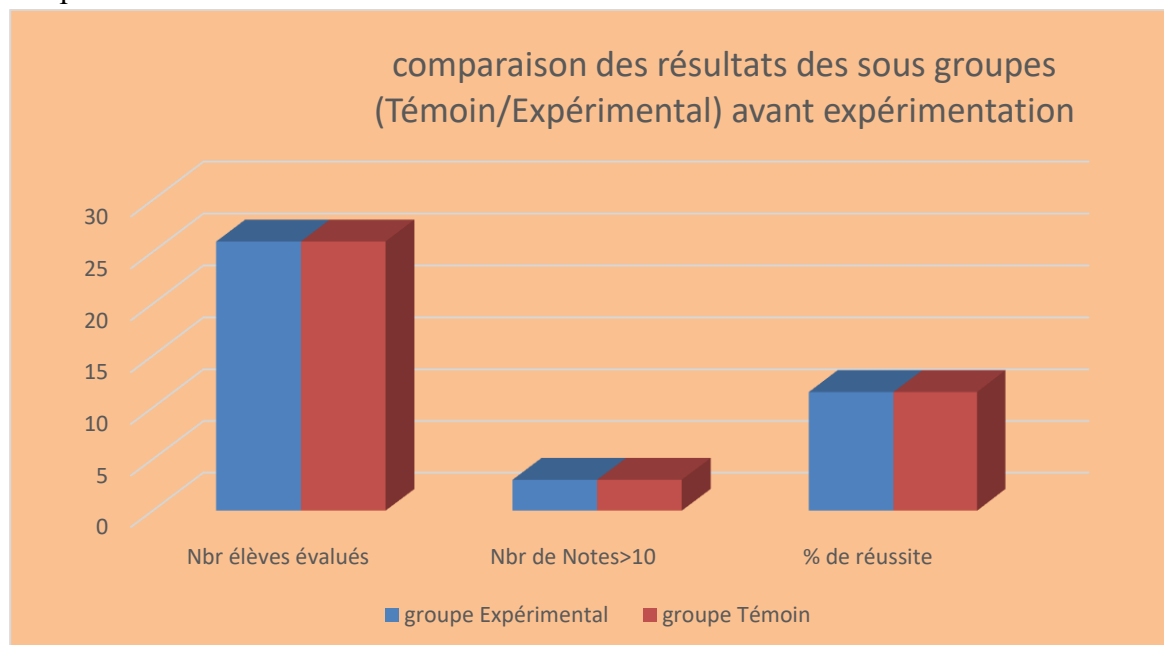
Groupe	Groupe expérimental de la Tle D1 du lycée de Biyem-Assi	Groupe témoin de la Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi
Tests	Pré-test (Test1)	Pré-test (Test 1)
Nbr élèves évalués	26	26
Nbr de Notes>10	03	03
% de réussite	11,5%	11,5%
Note/20 Borne supérieur	11,5	11,75
Note/20 Borne inférieur	03	03,5

Source : pré-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce tableau compare les résultats des groupes témoins et expérimental lors du pré-test. Ce tableau confirme l'homogénéité existant dès le début de l'expérience dans les deux groupes. Dans ce tableau, les élèves sont répartis par groupe de 26, c'est-à-dire 26 élèves pour le groupe témoin et 26 élèves pour le groupe expérimental. Que ce soit dans le groupe expérimental ou témoin, trois (03) élèves dans chaque groupe ont réussi à avoir des notes

supérieures ou égales à 10/20. D'où un pourcentage de réussite de 11,5% tant dans le groupe expérimental que dans le groupe témoin.

Graphique 3: Comparaison des résultats du pré-test des deux sous-groupes avant l'expérimentation



2.2. Analyse des résultats du post test

Les résultats du post-test ont été obtenus à plusieurs niveaux. C'est-à-dire : après émergence des conceptions des élèves dans le groupe expérimentale (Niveau 1), après destruction des conceptions erronées chez les élèves du groupe expérimental (Niveau 2), et après construction du savoir scientifique dans le groupe expérimental (Niveau 3). Les résultats seront à chaque fois comparés entre ceux du groupe expérimental et ceux du groupe témoin d'une part. Et d'autre part les résultats des post-tests du groupe témoin seront comparés avec ceux du pré-test de ce même groupe, question d'observer s'il y'a évolution ou pas lors de l'expérience.

Test 2 : Résultat du post-test après émergence des conceptions du groupe expérimental.

Test 3 : Résultat après déconstruction des conceptions erronées dans le groupe expérimental

Test 4 : Résultat du post-test après construction du savoir scientifique/institutionnalisation dans le groupe expérimental.

2.2.1. Résultats du post-test après émergence des conceptions

Tableau 25: Résultats du post-test par intervalle de note après émergence des conceptions des élèves.

Groupes	Groupe expérimental de la Tle D1 du lycée de Biyem-Assi		Groupe témoin de la Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi	
	Test1	Test2	Test1	Test2
Note [18-20]	00	00	00	00
Note [16-18[	00	00	00	00
Note [14-16[	00	01	00	00
Note [12-14[	00	04	00	00
Note [10 - 12[	03	05	03	02
Note [08 - 10[	06	07	07	08
Note [06 - 08[	08	05	07	04
Note [04-06[	05	01	05	07
Note <04	04	00	04	04
total	26	26	26	25

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce tableau présente les notes des élèves par les intervalles. Dans le groupe témoin, les notes des élèves n'ont sensiblement pas évolué entre le pré-test et post-test après émergence des conceptions des élèves du groupe expérimental. Que ce soit dans le pré-test ou le post-test (Test2), aucun élève n'a obtenu une note supérieure ou égale à 12/20. Trois élèves au niveau du pré-test et deux élèves au niveau du post-test (Test après émergence des conceptions des élèves dans le groupe expérimental) ont obtenu des notes dans l'intervalle [10-12[. Par contre dans le groupe expérimental, il y'a eu évolution des résultats des élèves entre le pré-test (Test1) et le post-test après émergence des conceptions des élèves du groupe expérimental (Test 2). On est passé de zéro (0) élève sur vingt-six ayant obtenu une note supérieure à 12/20 dans le pré-test à cinq (5) élèves sur vingt-six ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 12/20. Dans le pré-test aucun élève n'a obtenu une note située dans les intervalles [12-14 [et [14-16 [, par contre, dans le post-test après émergence des conceptions, quatre (4) élèves et un (1) élèves ont obtenu des notes respectivement dans les intervalles [12-14 [et [14-16 [. Concernant la borne inférieure, on peut observer que dans le groupe expérimental, quatre (4) élèves avaient des notes inférieures à 04/20 lors du pré-test, et dans le post-test après émergence des conceptions, aucun élève n'a obtenu une note inférieure à 04/20. Par contre, neuf (9) élèves ont obtenus une note inférieure à 06/20 dans le pré-test et dans le post-test, seulement un (1) élève sur 26 a obtenu une note inférieure à 06/20.

Tableau 26: Résultats du post-test après émergence des conceptions des élèves dans le groupe expérimental

Classes	Groupe expérimentale de la Tle D du lycée de Biyem-Assi		Groupe témoin de la Tle D du Lycée de Biyem-Assi	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Nbr élèves évalués	26	26	26	25
Nbr de Notes>10	03	10	03	02
% de réussite	11,5%	38,5%	11,5%	08 %
Note/20 Borne supérieur	11,5	14,5	11,75	11,00
Note/20 Borne inférieur	03	05,75	03,5	02,75

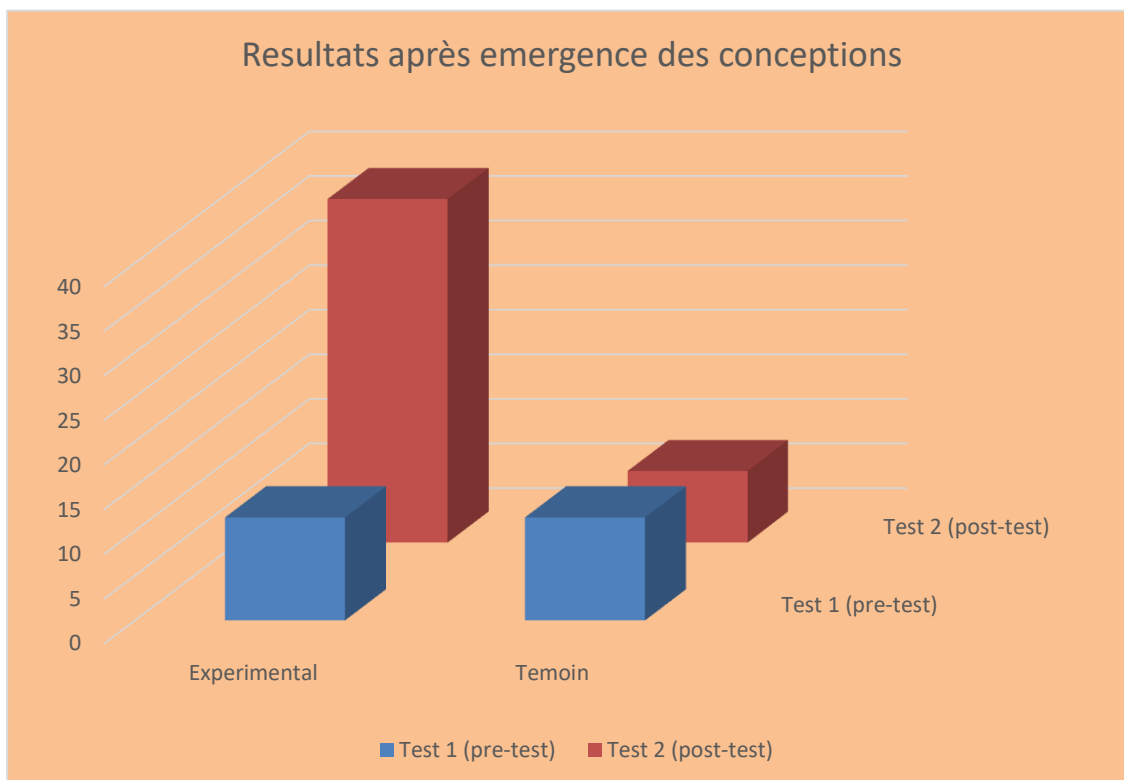
Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce tableau présente le nombre de note des élèves supérieures ou égales à 10/20, les pourcentages de réussite, la moyenne la plus grande et la plus petite dans le groupe expérimental et le groupe témoin.

Dans le groupe témoin, le nombre de notes supérieures à 10/20 est presque resté intact. C'est-à-dire, trois (3) lors du pré-test et deux (2) lors du post-test après émergence des conceptions des élèves dans le groupe expérimental. Pour un pourcentage de réussite de 11,5% dans le pré-test et 08% dans le post-test. Les bornes supérieures et inférieures sont restées stables c'est-à-dire constantes pour la borne supérieure qui est de 11,75/20 pour pré-test et de 11/20 pour le post-test. Pour la borne inférieure, elle a légèrement chuté, passant de 03,5/20 à 02,75/20. Dans le groupe expérimental par contre, il y'a eu augmentation du nombre d'élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 entre le pré-test et le post test après émergence des conceptions des élèves. On est passé de trois (03) élèves au pré-test ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 à dix (10). Soit d'un pourcentage de réussite de 11,5% au pré-test à 38,5% au post-test après émergence des conceptions des élèves. Dans ce même groupe expérimental, la plus grande moyenne lors de l'évaluation est passée de 11,5/20 lors du pré-test à 14,5/ 20 au post-test après émergence des conceptions des élèves. La plus petite note lors de l'évaluation est passée de 03/20 lors du pré-test à 05,75/ 20 lors du post-test après émergence des conceptions des élèves. Les résultats des élèves du groupe témoin et ceux du groupe expérimental qui semblaient identiques lors du pré-test, ont connu une nette différence lors du post-test après émergence des conceptions des élèves. Lors du pré-test, le groupe témoin et le groupe expérimental avaient respectivement trois (03) élèves ayant eu des notes supérieures ou égales à 10/20, ce qui faisait un pourcentage de réussite de 11,5%. Le groupe témoin par contre est resté presque stable lors du post-test (Test 2), c'est-à-dire trois (03) élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20. Le

groupe expérimental par contre est passé de trois (03) élèves à dix (10) élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20. Pour un pourcentage de 11,5% lors du pré-test à un pourcentage de 38,5% lors de ce post-test. La borne supérieure, est presque restée stable dans le groupe témoin à savoir 11,75/20 à 11/20. Elle est passée de 11,5/20 à 14,5/20 dans le groupe expérimental. Idem pour la borne inférieure qui a légèrement régressé dans le groupe témoin : de 03,5/20 à 02,75/20. Par contre dans le groupe expérimental, elle est passée de 03/20 lors du pré-test à 05,75/20 lors du post-test (test 2).

Graphique 4 : Résultat du post-test après émergence des conceptions



Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce graphique présente le grand écart qui s’est creusé en termes de résultat entre le groupe témoin et le groupe expérimental après avoir fait émerger les conceptions. Lors du pré-test les élèves des deux groupes étaient au même niveau, et après avoir émergé les conceptions, l’écart du taux de réussite s’est creusé de 30%

Tableau 27: Distribution des notes du post-test par ordre décroissant après émergence des conceptions dans les groupes

	EXPERIMENTAL		TEMOIN	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
1	11,5	14,5	11	11
2	11	13,75	11	10
3	10	12,5	10	09,5
4	09,75	12	09,5	09
5	09	12	09	09
6	09	11,5	09	09
7	08,5	11,5	08,5	08,5
8	08,25	10,5	08	08
9	08	10	08	08
10	07,75	10	08	08
11	07,75	09,75	07,5	07,5
12	07,5	09,5	07,5	07,5
13	07,5	09,5	07,5	06,5
14	07	09	07,5	06
15	06,5	09	06	06
16	06	08,5	06	05,5
17	06	08	06	05,5
18	05,5	07,5	05,5	05
19	05	07	05,5	05
20	05	07	05	04,5
21	04,5	06	05	04,5
22	04	06	04	04
23	03,75	05,75	03,75	03,75
24	03,75	05,75	03,75	03,5
25	03,5	05,75	03,75	03,5
26	03	05,75	03,75	02,75

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Après la séance d'émergence des conceptions, les notes dans le groupe-témoin varient entre 02,75/20 et 11/20. Dans le groupe expérimental, la situation est plus reluisante car les scores varient entre 05,75 et 14,5. Cette situation s'explique par le fait que les apprenants du groupe expérimental ont été évalués après le passage de la phase expérimentale de prise en compte des conceptions. Par conséquent, l'analyse des moyennes et des écarts-types (tableau 27) montre que les scores au post-test après émergence des conceptions des élèves dans le groupe expérimental sont sensiblement élevés, par contre ces scores sont assez faibles dans le groupe-témoin.

Tableau 28: Comparaison des moyennes au post-test des groupes après émergence des conceptions

Nombre d'observations : 26			
Variabes	Moyenne	Écart-type	Intervalle de confiance
GROUPE DE CONTRÔLE	0,04	0,04	[-0,03 ; 0,11]
GROUPE EXPERIMENTAL	0,31	0,09	[0,13 ; 0,49]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0		Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,01

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Il ressort du tableau ci-dessus qu'après émergence des conceptions, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental est supérieure à celle dans le groupe témoin au seuil de 5 %, soit 31% contre 4%. Ce résultat est confirmé par le test de proportion. En effet, la p-value est de $0,0051 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %.

Selon ce tableau, la moyenne des scores au post-test dans le groupe expérimental se situe à 0,31 avec un écart type de 0,09 contre une moyenne de 0,04 et un écart-type de 0,04 dans le groupe témoin ou de contrôle. Ces statistiques supposent que l'utilisation du dispositif non numérique de prise en compte des conceptions en génétique de Terminale D améliore significativement les performances des apprenants comparativement au groupe témoin où l'enseignement est ordinaire. L'analyse des moyennes au prétest et au post-test dans les deux groupes en présence confirme ces propos comme l'illustre le tableau ci-dessus.

2.2.2. Résultats de l'évaluation après la destruction des conceptions erronées

Tableau 29 : Résultats du post-test par intervalle de note après déconstruction des conceptions erronées des élèves dans le groupe expérimental

Groupes	Groupe expérimental de la Tle D du lycée de Biyem-Assi		Groupe témoin de la Tle D du Lycée de Biyem-Assi	
	Test1	Test3	Test1	Test3
Note [18-20]	00	00	00	00
Note [16-18[	00	01	00	00
Note [14-16[	00	05	00	00
Note [12-14[	00	05	00	01
Note [10 - 12[	03	06	03	03
Note [08 - 10[	06	05	07	05
Note [06 - 08[	08	04	07	10
Note [04-06[	05	00	05	03
Note <04	04	00	04	04
Total	26	26	26	26

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce tableau présente les notes des élèves par les intervalles. Dans le groupe témoin, les notes des élèves n'ont pas sensiblement évolué entre le pré-test et le post-test après la séance de déconstructions des conceptions erronées chez les élèves du groupe expérimental. Dans le pré-test, on a trois (3) élèves qui ont obtenu des notes dans l'intervalle [10-12[. Dans le post-test (test 3), on retrouve aussi trois (3) élève dans l'intervalle [10-12[, et un (1) élève ayant obtenu une note dans l'intervalle [12-14[. Que ce soit dans le pré-test (Test 1) ou le Post-test (test 3), aucun élève n'a obtenu une note supérieure à 13/20 dans le groupe témoin. Par contre dans le groupe expérimental, il y'a eu une évolution considérable des résultats des élèves entre le pré-test (Test1) et le post-test après déconstruction des conceptions erronées chez les élèves (Test 3). On est passé de zéro (0) élève sur vingt-six ayant obtenu une note supérieure à 12/20 dans le pré-test à onze (11) élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 12/20. Dans le pré-test aucun élève n'avait une note située dans l'intervalle [12-14[. Par contre, dans le post-test (test 3), test après déconstruction des conceptions erronées, cinq (5) élèves ont obtenu des notes dans cet intervalle. Aucun élève n'avait une note située dans l'intervalle [14-16[dans le pré-test. Dans le post-test (test 3) après déconstruction des conceptions erronées, cinq (5) élèves ont obtenu des notes dans cet intervalle. Dans l'intervalle [16-18[, aucun élève n'avait une note lors du pré-test. Lors du post-test par contre un (1) élève a obtenu une note dans cet intervalle. Concernant la borne inférieure, on peut observer que dans le groupe expérimental, neuf (9) élèves avaient des notes inférieures à 06/20 lors du pré-test, et dans le post-test après déconstruction des conceptions erronées, aucun élève n'a obtenu une note inférieure à 06/20.

Tableau 30: Résultats du post-test après la destruction des conceptions erronées dans le groupe expérimental

Classes	Groupe expérimental de la Tle D1 du lycée de Biyem-Assi		Groupe témoin de la Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi	
	Test 1	Test 3	Test 1	Test 3
Nbr élèves évalués	26	26	26	26
Nbr de Notes > 10	03	17	03	04
% de réussite	11,5%	65,3%	11,5%	15,3%
Note/20 Borne supérieur	11,5	16,25	11,75	12,5
Note/20 Borne inférieur	03	07,75	03,5	01,75

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

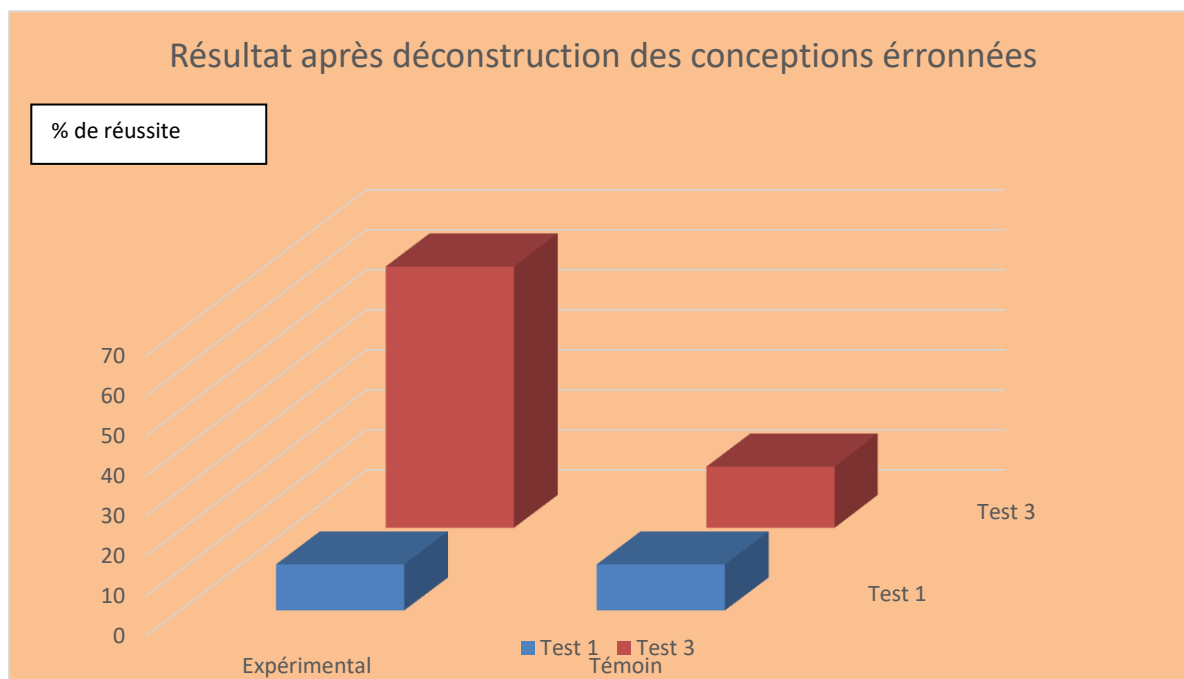
Après déconstruction des conceptions erronées des élèves dans le groupe expérimental, le nombre de notes supérieures à 10/20 dans le groupe témoin a très légèrement augmenté. Le nombre de moyennes est passé de trois (3) sur vingt-six (26) lors du pré-test à quatre (4) sur

26 lors du test 3, C'est-à-dire, lors du post-test après déconstruction des conceptions erronées des élèves dans le groupe expérimental. Pour un pourcentage de réussite de 11,5% dans le pré-test et 15,3% dans le post-test. Les bornes supérieures et inférieures sont restées presque stables. En ce qui concerne les bornes supérieures, elles sont respectivement de 11,5/20 pour le pré-test et 12,5/20 pour le post-test. Pour la borne inférieure, elle a plutôt légèrement chuté, passant de 03,5/20 lors du pré-test à 01,75/20 lors du test 3 ou test après déconstruction des conceptions erronées des élèves dans le groupe expérimental.

Dans le groupe expérimental par contre, il y'a eu augmentations du nombre d'élèves ayant obtenus des notes supérieures ou égales à 10/20 entre le pré-test et le post test après déconstruction des conceptions erronées. On est passé de trois (03) élèves au pré-test ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 à dix-sept (17). Soit un pourcentage de réussite qui est passé de 11,5% au pré-test à 65,3% au test 3 (post-test après déconstruction des conceptions erronées des élèves). Dans ce même groupe expérimental, la plus grande moyenne lors de l'évaluation est passée de 11,5/20 lors du pré-test à 16,25/ 20 lors du test 3 (post-test après déconstruction des conceptions erronées). La plus petite note lors de l'évaluation est passée de 03/20 lors du pré-test à 07,75/ 20 lors du test 3 (post-test après déconstruction des conceptions erronées). Les résultats des élèves du groupe témoin et ceux du groupe expérimental qui semblaient identiques lors du pré-test (test 1) ont connu une nette différence lors du (test 3) post-test après la déconstruction des conceptions erronées. Lors du pré-test, le groupe témoin et le groupe expérimental avaient respectivement trois (03) élèves ayant eu des notes supérieures ou égales à 10/20, ce qui faisait un pourcentage de réussite de 11,5% dans chaque groupe. Tandis que le taux de réussite du groupe témoin a très légèrement évolué lors du post-test (Test 3), on est passé de trois (03) élèves qui ont obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 à quatre (4). Soit un pourcentage qui est passé de 11,5 % lors du test 1 ou pré-test à 15,3% lors du test 3. Le pourcentage de réussite du groupe expérimental par contre a considérablement évolué. On est passé de trois (03) élèves à dix-sept (17) élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20. Soit le passage d'un pourcentage de 11,5 % lors du pré-test à un pourcentage de 65,3% lors de ce post-test (test 3). La borne supérieure est presque restée stable dans le groupe témoin à savoir 11,75/20 lors du pré-test ou test 1 à 12,5/20 lors du test 3 (post-test après déconstruction des conceptions erronées chez les élèves). Cette même borne supérieure est passée de 11,5/20 lors du pré-test à 16,25/20 lors du test 3 (post-test après déconstruction des conceptions erronées) dans le groupe expérimental. Idem pour la borne inférieure qui a régressé dans le groupe témoin, allant de

03,5/20 à 01,75/20. Par contre dans le groupe expérimental, elle est passée de 03/20 lors du pré-test à 07,75/20 lors du post-test (test 3).

Graphique 5: Résultat du post-test après destruction des conceptions erronées.



Graphique 5 : résultats après déconstruction des conceptions erronées

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce graphique présente l'écart qui s'est creusé en termes de résultats des élèves entre le groupe témoin et le groupe expérimental après avoir procédé à la déconstruction des conceptions erronées. Lors du pré-test, les élèves des deux groupes étaient au même niveau, et après la déconstruction des conceptions erronées, l'écart s'est creusé de 53,8%.

Tableau 31: Distribution des notes du post-test par ordre décroissant après destruction des conceptions erronées dans les groupes

	EXPERIMENTAL		TEMOIN	
	Test 1	Test 3	Test 1	Test 3
1	11,5	16,25	11	12,5
2	11	15,5	11	11,5
3	10	15	10	10
4	09,75	14,5	09,5	10
5	09	14	09	09,5
6	09	14	09	09,5
7	08,5	13,5	08,5	08
8	08,25	13,5	08	08
9	08	12,5	08	08
10	07,75	12	08	07,5
11	07,75	12	07,5	07,5

12	07,5	11,75	07,5	07
13	07,5	11	07,5	07
14	07	11	07,5	06,75
15	06,5	10,5	06	06,75
16	06	10,5	06	06,5
17	06	10,5	06	06
18	05,5	09,5	05,5	06
19	05	09	05,5	06
20	05	09	05	05,5
21	04,5	08	05	05
22	04	08	04	05
23	03,75	07,75	03,75	03,5
24	03,75	07,75	03,75	03,5
25	03,5	07,75	03,75	02
26	03	07,75	03,75	01,75

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Après déconstruction des conceptions erronées dans le groupe expérimental, les notes dans le groupe-témoin varient entre 01,75/20 et 12,5/20. Dans le groupe expérimental, la situation est plus reluisante car les scores varient entre 07,75 et 16,25. Cette situation s'explique par le fait que les apprenants du groupe expérimental ont été évalués après le passage de la phase expérimentale de déconstruction des conceptions erronées. Par conséquent, l'analyse des moyennes et des écarts-types (Tableau 32), montre que les scores au post-test après déconstruction des conceptions erronées des élèves dans le groupe expérimental sont sensiblement élevés, par contre ces scores sont assez faibles dans le groupe-témoin.

Tableau 32: Comparaison des moyennes au post-test des groupes après déconstruction des conceptions erronées

Nombre d'observations : 26			
Variabes	Moyenne	Écart-type	Intervalle de confiance
GROUPE DE CONTRÔLE	0,08	0,05	[-0,03 ; 0,18]
GROUPE EXPERIMENTAL	0,65	0,09	[0,47 ; 0,84]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0		Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,00

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Il ressort du tableau ci-dessus qu'après déconstruction des conceptions erronées, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental est supérieure à celle dans le groupe témoin ou de contrôle au seuil de 5 %, soit 65% contre 8%. Ce résultat est confirmé par le test de proportion. En effet, la p-value est de $0,00 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %.

Par ailleurs, l'on observe que la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans ce groupe expérimental a plus que doublé par rapport à la situation précédente. C'est dire que la déconstruction des conceptions erronées aurait contribué à améliorer le résultat des élèves.

Selon ce tableau, la moyenne des scores au post-test dans le groupe expérimental se situe à 0,65 avec un écart type de 0,09 contre une moyenne de 0,08 et un écart-type de 0,05 dans le groupe témoin ou de contrôle. Ces statistiques supposent que l'utilisation du dispositif non-numérique de destruction des conceptions erronées des élèves de Terminale D en génétique améliore significativement les performances des apprenants comparativement au groupe témoin où l'enseignement est ordinaire. L'analyse des moyennes au prétest et au post-test dans les deux groupes en présence confirme ces propos comme l'illustre la figure ci-dessous.

2.2.3. Résultats de l'évaluation après la construction du savoir scientifique

Tableau 33: Résultats du post-test par intervalle de note après construction du savoir scientifique.

Groupes	Groupe expérimental de la Tle D1 du lycée de Biyem-Assi		Groupe témoin de la Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi	
	Test1	Test4	Test1	Test4
Note [18-20]	00	02	00	00
Note [16-18[	00	05	00	00
Note [14-16[	00	09	00	00
Note [12-14[	00	08	00	01
Note [10 - 12[	02	02	02	02
Note [08 - 10[	03	00	03	09
Note [06 - 08[	05	00	04	07
Note [04-06[	02	00	03	04
Note <04	02	00	02	03
Total	26	26	26	26

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Dans le groupe témoin de ce tableau, les notes des élèves n'ont pas évolué entre le pré-test et le post-test après la séance de constructions du savoir scientifique chez les élèves du groupe expérimental. Dans le pré-test, on a eu trois (3) élèves qui ont obtenu des notes dans l'intervalle [10-12[tant dans le groupe témoin que dans le groupe expérimental. Dans le post-test (test 4) et concernant le groupe témoin, on retrouve un (1) élève ayant obtenu une note dans l'intervalle [12-14[, et deux (2) élèves ayant obtenu des notes dans l'intervalle [10-12[. Que ce soit dans le pré-test (test 1) ou Post-test (test 4), aucun élève n'a obtenu une note supérieure à 13/20 dans le groupe témoin.

Dans le groupe expérimental par contre, il y'a eu une très grande évolution des résultats des élèves entre le pré-test (test1) et le post-test après la séance d'institutionnalisation ou de construction du savoir scientifique chez les élèves du groupe expérimental (test 4). On est passé de zéro (0) élève ayant obtenu une note supérieure ou égale à 12/20 lors du pré-test à la quasi-totalité des élèves. Vingt-quatre (24) élèves su 26 ayant obtenu une note supérieure ou égale à 12/20 dans le post-test (test 4). Dans le pré-test aucun élève n'avait une note située dans l'intervalle [12-14[tant dans le groupe expérimental que dans le groupe témoin. Par contre, dans le post-test après construction du savoir scientifique (test 4), huit (8) élèves ont obtenu des notes dans cet intervalle. Toujours dans le groupe expérimental, Aucun élève n'avait une note située dans l'intervalle [14-16 [lors du pré-test. Dans le post-test après construction du savoir scientifique chez ces derniers (test 4), neuf (9) élèves ont obtenu des notes dans cet intervalle. Dans l'intervalle [16-18[, aucun élève n'avait une note lors du pré-test. Lors du post-test dans le groupe expérimental, on observe par contre qu'il y'a cinq (5) élèves qui ont obtenu une note dans cet intervalle. De même aucun élève n'a obtenu une note dans l'intervalle [18-20[dans le pré-test dans les deux groupes (témoin et expérimental), par contre deux (2) élèves ont obtenu des notes dans cet intervalle dans le groupe expérimental. En ce qui concerne la borne inférieure, on peut observer que dans le groupe expérimental, tous les vingt-six (26) élèves avaient des notes inférieures à 12/20 lors du pré-test, et dans le post-test après construction du savoir scientifique (test 4), seulement deux (2) élèves sur les 26 dans ce groupe ont obtenu une note inférieure à 12/20.

Tableau 34: Résultats de l'évaluation après la construction du savoir scientifique

Groupe	Groupe expérimentale de la Tle D1 du lycée de Biyem-Assi		Groupe témoin de la Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi	
	Test 1	Test 4	Test 1	Test 4
Tests	Test 1	Test 4	Test 1	Test 4
Nbr élèves évalués	26	26	26	26
Nbr de Notes > 10	03	26	03	03
% de réussite	11,5%	100%	11,5%	11,5%
Note/20 Borne supérieur	11,5	19,25	11,75	12
Note/20 Borne inférieur	03	11	03,5	03,25

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

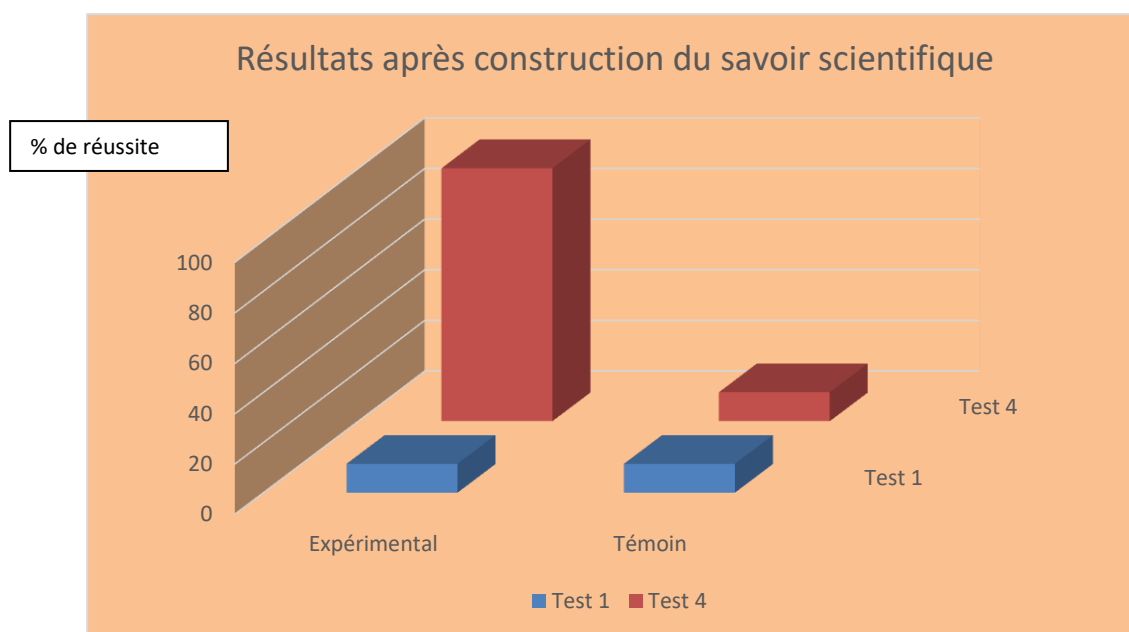
Après construction du savoir scientifique chez les élèves du groupe expérimental, le nombre de notes supérieures ou égal à 10/20 dans le groupe témoin est resté inchangé. Que ce soit lors du pré-test ou lors du post-test après construction du savoir scientifique (test 4). À savoir trois (3) élèves dans chaque évaluation, que ce soit lors du pré-test ou lors du post-test après construction du savoir scientifique chez les élèves dans le groupe témoin (test 4). Pour

un pourcentage de réussite de 11,5 % tant dans le pré-test que dans le post-test. Les bornes supérieures et inférieures sont restées stables. Elles sont respectivement de 11,75/20 et 12/20 pour le pré-test et le post-test (Test 4) en ce qui concerne la borne supérieure. Pour la borne inférieure, elles sont respectivement de 03,5 et 03,25.

Dans le groupe expérimental par contre, il y'a eu augmentation considérable du nombre d'élèves ayant obtenus des notes supérieures ou égales à 10/20 entre le pré-test et le post test après construction du savoir scientifique chez les élèves (test 4). On est passé de trois (03) élèves au pré-test ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 à vingt-six (26) sur 26 dans le groupe expérimental. Nous sommes passés d'un pourcentage de réussite de 11,5% au pré-test à 100% au post-test après construction du savoir scientifique (test 4). Dans ce même groupe expérimental, la plus grande moyenne lors de l'évaluation est passée de 11,5/20 lors du pré-test à 19,25/ 20 lors du post-test après construction du savoir scientifique (test 4). La plus petite note lors de l'évaluation dans le groupe expérimental est passée de 03/20 lors du pré-test à 11/ 20 lors du post-test après construction du savoir scientifique (test 4), dernière étape de la prise en compte des conceptions des élèves.

Les résultats des élèves du groupe témoin et ceux du groupe expérimental qui semblaient identiques lors du pré-test ont connu une nette différence lors du post-test après construction du savoir scientifique. Lors du pré-test, le groupe témoin et le groupe expérimental avaient respectivement trois (03) élèves ayant eu des notes supérieures ou égales à 10/20, ce qui faisait un pourcentage de réussite de 11,5% tant dans le groupe témoin que dans le groupe expérimental. Tandis que le groupe témoin est resté stable lors du post-test (Test 4), à savoir trois (03) élèves ayant eu des notes supérieures ou égales à 10/20. Le groupe expérimental par contre est passé de trois (03) élèves à vingt-six (26) élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20. Pour un pourcentage de 11,5% lors du pré-test à 100 % lors du post-test après institutionnalisation ou construction du savoir scientifique (test 4), qui est la dernière étape de la prise en compte des conceptions des élèves. La borne supérieure est presque restée stable dans les groupes à savoir passée de 11,5/20 dans le groupe témoin à 19,25/20 dans le groupe expérimental. Idem pour la borne inférieure qui est restée stable dans le groupe témoin oscillant dans la zone de 03/20. Par contre dans le groupe expérimental, elle est passée de 03/20 lors du pré-test à 11/20 lors du post-test (test 4), qui est la dernière étape de la prise en compte des conceptions des élèves.

Graphique 6 : Résultat du post-test après construction du savoir scientifique.



Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce graphique présente le grand écart qui s'est creusé en termes de résultats entre le groupe témoin et le groupe expérimental après avoir construit le savoir scientifique. Lors du pré-test les élèves des deux groupes étaient au même niveau, et après la construction du savoir scientifique l'écart s'est creusé de 88,5%.

Tableau 35: Distribution des notes du post-test par ordre décroissant après construction du savoir scientifique/institutionnalisation

	EXPERIMENTAL		TEMOIN	
	Test 1	Test 4	Test 1	Test 4
1	11,5	19,25	11	12
2	11	18,5	11	11,75
3	10	1,5	10	10,5
4	09,75	17	09,5	09,5
5	09	16,75	09	09,5
6	09	16	09	09,5
7	08,5	16	08,5	09
8	08,25	15,5	08	08,75
9	08	15,5	08	08,75
10	07,75	15,5	08	08,5
11	07,75	15	07,5	08
12	07,5	14,75	07,5	08
13	07,5	14,5	07,5	07,75
14	07	14,5	07,5	07,5
15	06,5	14	06	07,5
16	06	14	06	07
17	06	13,5	06	06,5
18	05,5	13,5	05,5	06,5

19	05	13	05,5	06
20	05	13	05	05,5
21	04,5	12,75	05	05
22	04	12,5	04	05
23	03,75	12	03,75	05
24	03,75	12	03,75	03,75
25	03,5	11	03,75	03,75
26	03	11	03,75	03,25

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Après la phase de construction du savoir scientifique dans le groupe expérimental, les notes dans le groupe-témoin varient entre 03,25/20 et 12/20. Dans le groupe expérimental, la situation est plus reluisante, car les scores varient entre 11/20 et 19,25/20. Cette situation s'explique par le fait que les apprenants du groupe expérimental ont été évalués après le passage de la phase expérimentale d'institutionnalisation/construction du savoir scientifique, qui est la dernière phase du dispositif non-numérique de prise en compte des conceptions. Par conséquent, l'analyse des moyennes et des écarts-types (tableau suivant) montrent que les scores au post-test après construction du savoir scientifique ou institutionnalisation dans le groupe expérimental sont sensiblement élevés, par contre ces scores sont assez faibles dans le groupe-témoin ou de contrôle.

Tableau 36: Comparaison des moyennes au post-test des groupes après institutionnalisation ou construction du savoir scientifique

Nombre d'observations : 26			
Variables	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance
GRUPE DE CONTRÔLE	0,11	0,06	[-0,01 ; 0,24]
GRUPE EXPERIMENTAL	0,96	0,04	[0,89 ; 1,04]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0		Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,00

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Il ressort du tableau ci-dessus qu'après institutionnalisation, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental est supérieure à celle dans le groupe témoin, soit 96% contre 11%. Ce résultat est confirmé par le test de proportion. En effet, la p-value est de $0,00 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %.

Par ailleurs, l'on observe que la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans ce groupe expérimental a largement augmenté par rapport à la situation précédente. C'est dire que l'institutionnalisation qui a suivi la déconstruction des conceptions erronées aurait contribué à nettement améliorer le résultat des élèves. Donc l'hypothèse H1 est vérifiée. La prise en compte des conceptions des élèves dans le dispositif non-numérique réduit considérablement les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

2.2.4. Récapitulatif des résultats des post-tests

Tableau 37: Récapitulatif des résultats des post-tests par intervalle de note.

Groupe	Groupe expérimental de la Tle D du lycée de Biyem-Assi				Groupe témoin de la Tle D du Lycée de Biyem-Assi			
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Note [18-20]	00	00	00	02	00	00	00	00
Note [16-18[	00	00	01	05	00	00	00	00
Note [14-16[	00	01	05	09	00	00	00	00
Note [12-14[	00	04	05	08	00	00	01	01
Note [10 - 12[	03	05	06	02	03	02	03	02
Note [08 - 10[	06	07	05	00	07	08	05	09
Note [06 - 08[	08	05	04	00	07	04	10	07
Note [04-06[	05	01	00	00	05	07	03	04
Note <04	04	00	00	00	04	04	04	03
Total	26	26	26	26	26	25	26	26

Source : pré-test et post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Du tableau qui précède, il ressort au regard des notes des élèves du groupe témoin, qu'elles n'ont pas vraiment évoluées tout au long du pré-test et des post-tests (test 2, test3, test 4). Elles sont restées constantes. Tout au long de ces évaluations, ces notes dans le groupe témoin sont restées comprises entre 12,5/20 et 02/20. Du pré-test (test 1) au Test 4 (post-test après construction du savoir scientifique ou institutionnalisation dans le groupe expérimental, il existe toujours les individus dans le groupe témoin ayant des notes inférieures à 04/20. Et pendant toutes ces différentes évaluations, aucun élève n'a pu franchir la barre de 13/20.

Dans le groupe expérimental par contre, on peut voir l'évolution des notes des élèves. Lors du pré-test quatre (4) élèves sur vingt-six (26) ont obtenu des notes inférieures à 04/20. Après avoir fait émerger les conceptions des élèves, aucun élève n'a plus eu une note inférieure à 04/20 dans le groupe expérimental. Lors du pré-test (test 1), cinq (5) élèves sur 26 ont obtenu des notes dans l'intervalle [04-06[, après avoir fait émerger les conceptions, le nombre d'élèves de cet intervalle a diminué. On est passé de cinq élèves au pré-test à un (1) élève après émergence des conceptions. Une fois la déconstruction des conceptions erronées faite, aucun élève ne s'est plus retrouvé dans cet intervalle. Le nombre d'élève ayant eu des notes dans l'intervalle [06 -08[est passé respectivement de huit (8) au pré-test, à cinq (5) après émergence des conceptions, à quatre (4) après déconstruction des conceptions erronées pour être nul (0) après construction du savoir scientifique ou institutionnalisation.

Pour les bornes supérieures, on peut observer que lors du pré-test, aucun élève n'a atteint une note supérieure ou égale à 12/20. Par contre le nombre d'élèves ayant obtenu des

notes supérieures ou égale à 12/20 est passé respectivement de cinq (5) après avoir fait émerger les conceptions des élèves à onze (11) après déconstructions des conceptions erronées, pour atteindre vingt-quatre (24) après construction du savoir scientifique, qui est la dernière étape de la prise en compte des conceptions.

Tableau 38: Récapitulatif des résultats des post-tests

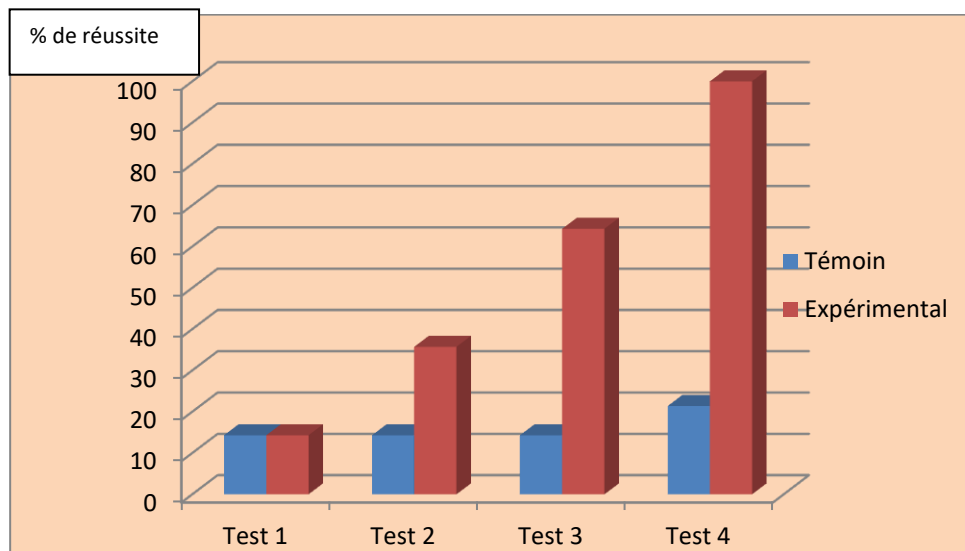
Groupe	Groupe expérimental de la Tle D1 du lycée de Biyem-Assi				Groupe témoin de la Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi			
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Tests								
Nbr élèves évalués	26	26	26	26	26	25	26	26
Nbr de Notes>10	03	09	17	26	03	02	04	03
% de réussite	11,5%	38,5%	65,3%	100%	11,5%	08%	15,3%	11,5%
Note/20 Borne supér	11,5	14,5	16,25	19,25	11,75	11	12,5	12
Note/20 Borne infer	03	05,75	07,75	11	03,75	02,75	01,75	03,25

Source : pré-test et post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce tableau est le récapitulatif des résultats du pré-test et ceux des différents post-tests. Ces résultats sont exprimés en termes de nombre des notes supérieures à 10/20, de pourcentages de réussite, des différentes bornes supérieures et inférieures obtenues lors des différentes évaluations. En ce qui concerne le nombre d'élèves ayant obtenu une note supérieure ou égale à 10/20, il y'a eu constante de ce nombre dans le groupe témoin tout au long des différentes évaluations. Ce nombre (celui des notes supérieures ou égales à 10/20 dans le groupe témoin) est resté presque stable entre deux (2) et quatre (4) élèves. Par contre dans le groupe expérimental, ce nombre a connu une augmentation chaque fois qu'on franchissait une étape de la prise en compte des conceptions. Le nombre d'élèves ayant obtenu des notes supérieure ou égale à 10/20 est passé respectivement de trois (3) sur 26 lors du pré-test, à neuf (9) sur 26 après émergence des différentes conceptions, ensuite à dix-sept (17) sur 26 après déconstruction des conceptions erronées et en fin à vingt-six (26) sur 26, voire la totalité après construction du savoir scientifique ou institutionnalisation, qui est la dernière étape de la prise en compte des conceptions des élèves. La borne supérieure des notes qui est restée quasiment stable tout au long de notre expérience dans le groupe témoin a connu une augmentation progressive dans le groupe expérimental. Cette borne supérieure est passée respectivement de 11,5/20 pendant le pré-test, à 14,5/20 après émergence des différentes conceptions, ensuite à 16,25/20 après déconstruction des conceptions erronées et en fin à 19,25/20 après construction du savoir scientifique. La borne inférieure quant à elle est restée presque stable dans le groupe témoin. Elle est comprise entre 01,75 et 03,25/20. Par contre dans le groupe expérimental cette borne inférieure a connu une augmentation

progressive. Elle est passée respectivement de 03/20 pendant le pré-test à 05,75/20 après émergence des différentes conceptions, ensuite à 07,75/20 après déconstruction des conceptions erronées et en fin à 11/20 après construction du savoir scientifique, dernière étape de la prise en compte des conceptions des élèves.

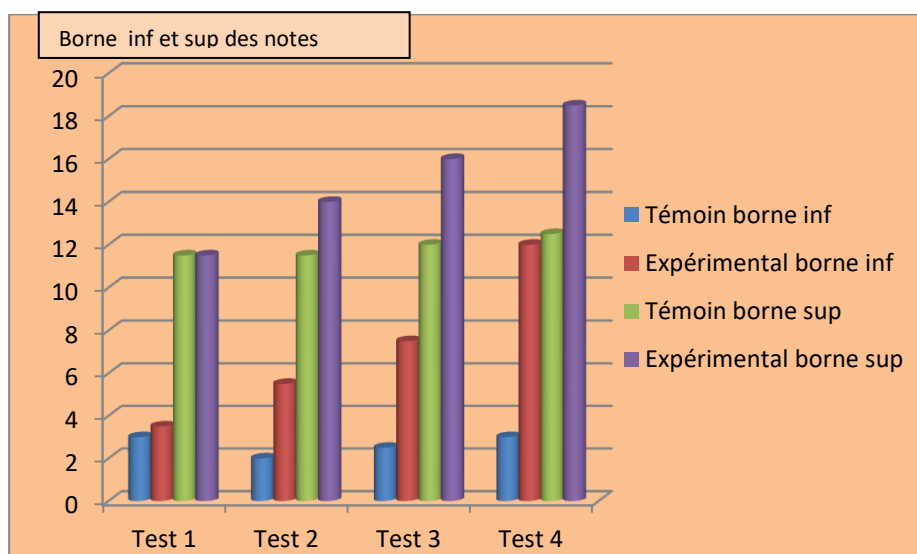
Graphique 7: Résultat récapitulatif du post-test



Source : pré-test et post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce graphique présente la progression des résultats des élèves du groupe expérimental au cours des différentes étapes de la prise en compte des conceptions des élèves. Il présente aussi la stagnation du groupe témoin par rapport au groupe expérimental. Donc on peut voir à partir de ce graphique l'évolution des résultats des élèves du groupe expérimental chaque fois qu'une étape de la prise en compte non-numérique des conceptions est franchie.

Graphique 8 : Borne supérieure et inférieure des notes des différents tests



Source : pré-test et post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Ce graphique compare les bornes inférieures et supérieures des notes des élèves à chaque étape du processus de prise en compte des conceptions des élèves. On observe dans ce graphique que lors du pré-test, les bornes supérieures et inférieures dans les deux groupes étaient similaires. Mais à chaque étape de la prise en compte des conceptions des élèves, les bornes supérieures et inférieures du groupe témoin augmentent. Alors que celles du groupe témoin restent constantes.

Confirmation de l'hypothèse 1 :

Tableau 39: Comparaison des moyennes au post-test des groupes après prise en compte non-numérique des conceptions des élèves

Nombre d'observations : 26			
Variables	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance
GROUPE DE CONTRÔLE	0,11	0,06	[-0,01 ; 0,24]
GROUPE EXPERIMENTAL	0,96	0,04	[0,89 ; 1,04]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0	Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,00	

Source : post-test auprès des élèves de Tle D1 du Lycée de Biyem-Assi, Novembre 2020

Il ressort du tableau ci-dessus qu'après institutionnalisation, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental est supérieure à celle dans le groupe témoin, soit 96% contre 11%. Ce résultat est confirmé par le test de proportion. En effet, la p-value est de $0,00 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %.

Ceci confirme l'hypothèse de prise en compte des conceptions. Donc l'hypothèse H1 est vérifiée. La prise en compte des conceptions des élèves dans le dispositif non-numérique

pourrait réduire considérablement les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine.

3. Analyse des résultats de modélisation de l'information génétique par les élèves de Terminale D

Cette analyse renvoie à l'examen des résultats du pré-test et du post-test lors de la modélisation de transmission de l'information génétique

3.1. Analyse des résultats du pré-test lors de la modélisation de la transmission de l'information génétique

Le pré-test dans cette partie de notre recherche a constitué la phase préliminaire. Dans cette phase, il a été question de répartir les salles de classe des Terminales D concernées par notre expérimentation en deux groupes chacune à savoir : un groupe expérimental, soumis à l'expérience de modélisation de l'information génétique et un groupe témoin, non soumis à l'expérience de modélisation de l'information génétique à travers l'outil informatique. Donc le deuxième groupe à savoir le groupe témoin sera soumis à une leçon ordinaire de génétique suivant le modèle APC sans modélisation de l'information génétique, et sans utilisation de l'outil informatique. Les résultats obtenus du pré-test seront consignés dans les tableaux suivants :

Le pré-test nous a conduit à l'obtention de deux groupes homogènes dans chaque classe concernée par l'expérimentation. (54 élèves de TD2, 50 élèves de TD3, 51 élèves de TD4, 52 élèves de TD5 du lycée de Biyem-Assi et 30 élèves du Lycée de Mouko) à savoir 136 élèves au total ont été concernés par ce pré-test. Deux évaluations portant sur la partie génétique dans chacune de ces classes nous ont permis en tout début de séance, d'obtenir un groupe expérimental et un groupe témoin dans chaque classe. Cette répartition de chaque classe en deux groupes s'est faite sur les bases des moyennes des notes des élèves lors des deux évaluations.

3.1.1. Résultats des pourcentages la moyenne des notes des évaluations du pré-test

Voici les résultats de la moyenne des deux évaluations qui nous ont permis de séparer le groupe témoin du groupe expérimental dans chacune des Terminale D concernée par notre expérience de modélisation au travers de l'outil informatique.

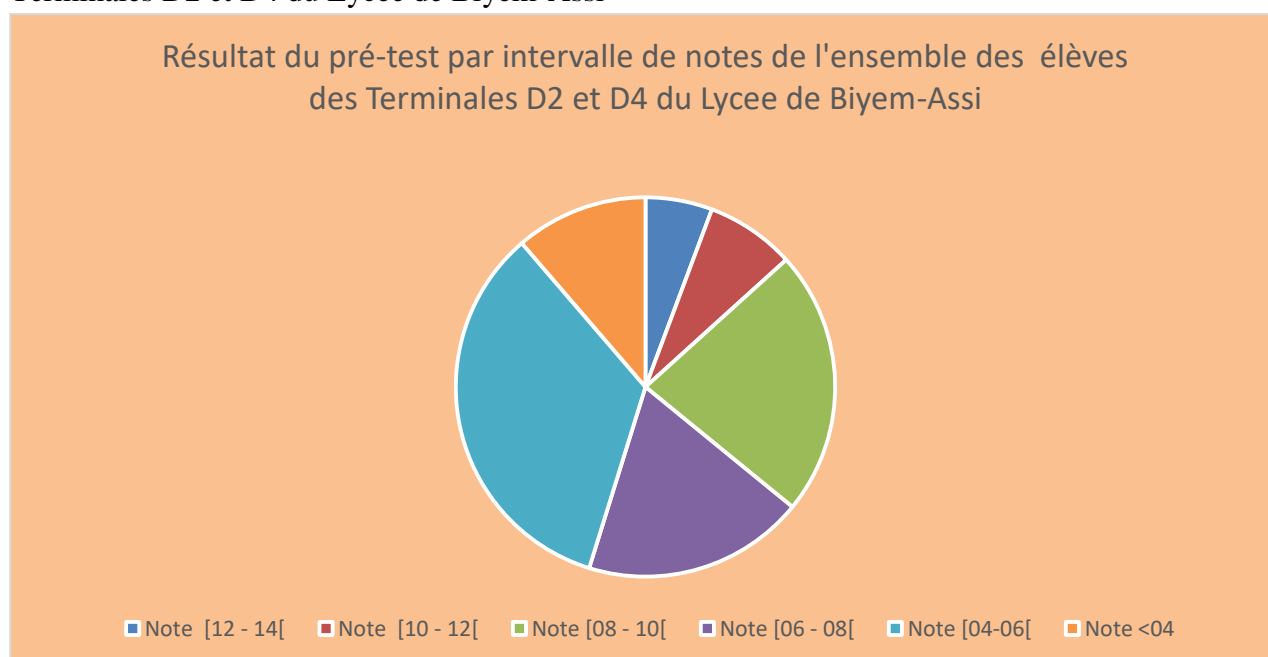
Tableau 40: Résultats de la moyenne des notes des évaluations du pré-test en Terminale D2 du lycée de Biyem-Assi

Intervalle des notes/20	Répartition des 54 élèves de Terminale D2 et 52 élèves de Terminale D4 ayant participé au pré-test au Lycée de Biyem-Assi	Pourcentages
Note [12 - 14[	06 élèves	5,7 %
Note [10 - 12[	08 élèves	7,6 %
Note [08 - 10[	24 élèves	22,6 %
Note [06 - 08[	20 élèves	18,9 %
Note [04-06[	36 élèves	33,9%
Note <04	12 élèves	11,3%
Total	106 élèves	100 %

Source : pré-test auprès des élèves des Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Ces résultats ont pour but de répartir les classes de Terminale D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi en deux groupes homogènes, c'est-à-dire le groupe expérimental et le groupe témoin lors du pré-test.

Graphique 9 : Résultat du pré-test par intervalle de notes de l'ensemble des élèves des Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi



Source : pré-test auprès des élèves des Terminale D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Ce graphisme illustre la répartition des élèves de Terminale D1 et D2 du Lycée de Biyem-Assi en fonction des intervalles de notes obtenues lors du pré-test.

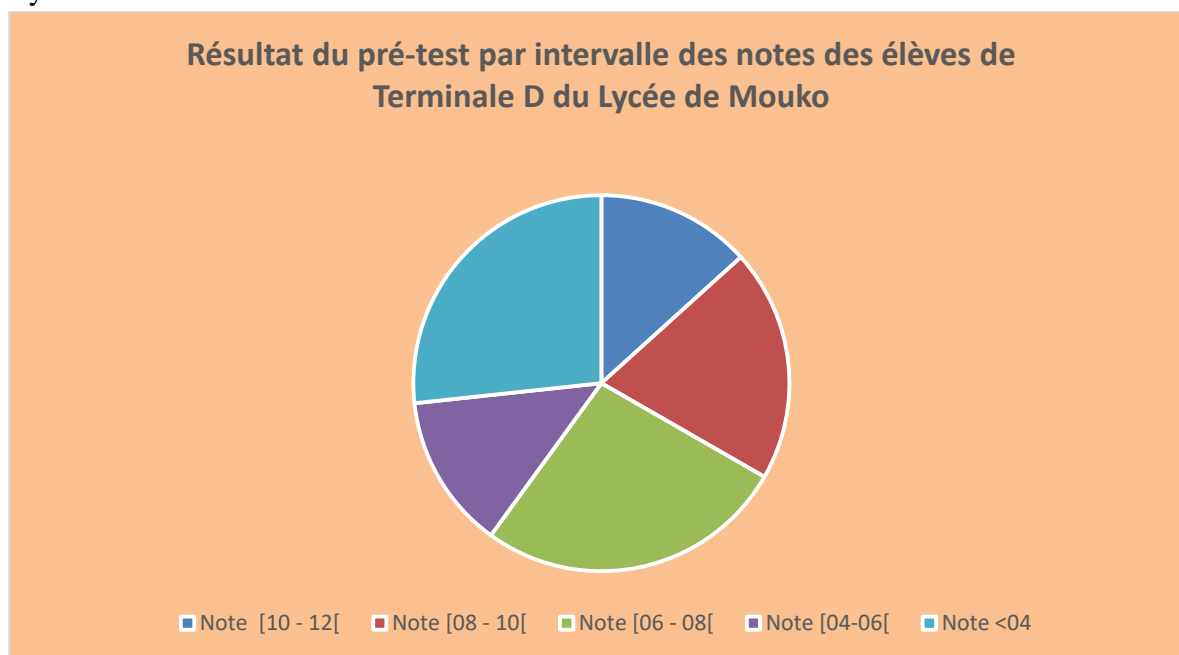
Tableau 41: Résultats de la moyenne des notes des évaluations du pré-test en Terminales D Lycée de Mouko

Intervalle des notes/20	Répartition des 34 élèves de Terminale D ayant participé au pré-test au Lycée de Mouko	Pourcentages
Note [10 - 12[	04 élèves	13,3 %
Note [08 - 10[	06 élèves	20 %
Note [06 - 08[	08 élèves	26,7%
Note [04-06[	04 élèves	13,3%
Note <04	08 élèves	26,7 %
Total	26 élèves	100 %

Source : pré-test auprès des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko, Février 2021

Ces résultats ont pour but de répartir la classe de Terminale D du Lycée de Mouko en deux groupes homogènes, c'est-à-dire le groupe expérimental et le groupe témoin lors du pré-test.

Graphique 10 : Résultat du pré-test par intervalle des notes des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko



Source : pré-test auprès des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko, Février 2021

Ce graphisme illustre la répartition des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko en fonction des intervalles de notes obtenues lors du pré-test.

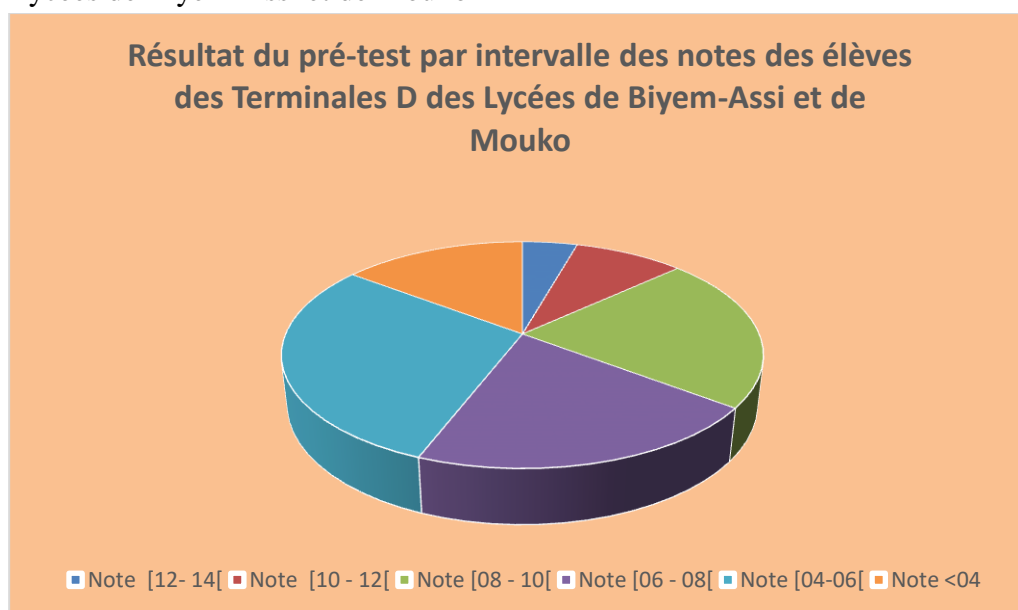
3.1.2. Récapitulatif des résultats de la moyenne des notes des évaluations du pré-test

Tableau 42: Tableau récapitulatif des résultats de la moyenne des notes des évaluations du pré-test des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko

Intervalle des notes/20	Répartition des 242 élèves des Terminales D ayant participé au pré-test aux lycées de Biyem-Assi et de Mouko	Pourcentages
Note [12-14[	06 élèves	4,5%
Note [10 - 12[	10 élèves	7,6%
Note [08 - 10[	30 élèves	22,7%
Note [06 - 08[	28 élèves	21,2%
Note [04-06[	40 élèves	30,3%
Note <04	18 élèves	13,7%
Total	132 élèves	100%

Source : pré-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Graphique 11: résultat du pré-test par intervalle des notes des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko



Source : pré-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Test 1 : Résultat du pré-test

3.1.3. Constitution des groupes témoin et expérimental à partir des intervalles de notes du pré-test

Tableau 43: Constitution des groupes témoin et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des notes du pré-test en Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi

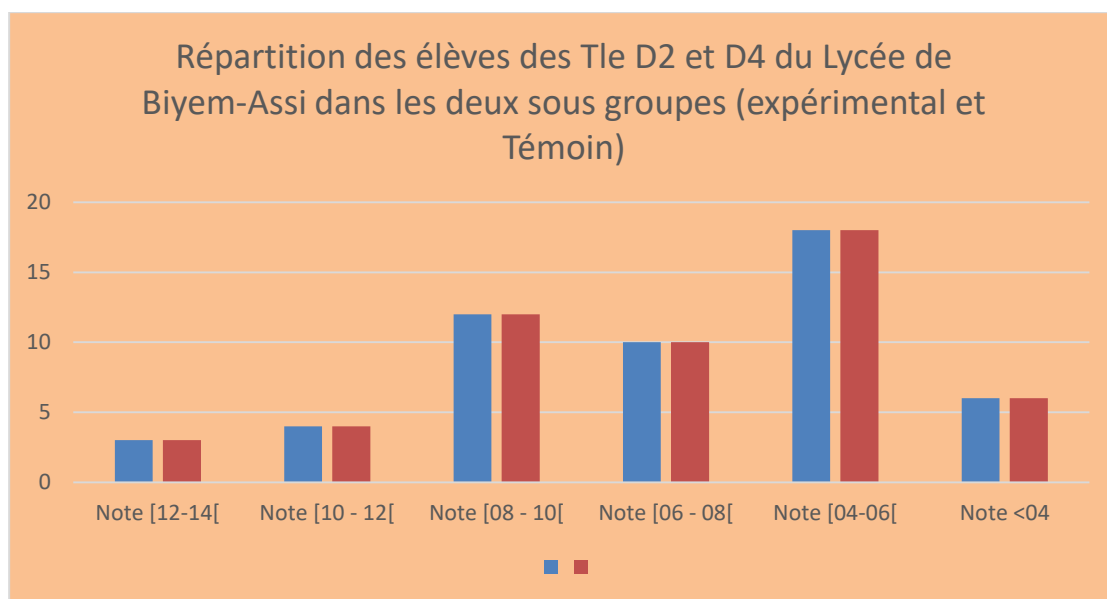
Intervalle des notes/20	Répartition des 54 et 52 élèves des Terminales D2 et D4 lors du pré-test	Groupe expérimental (Test 1)	Groupe témoin (Test 1)
Note [12-14[	06 élèves	03	03
Note [10 - 12[	08 élèves	04	04
Note [08 - 10[	24 élèves	12	12
Note [06 - 08[	20 élèves	10	10
Note [04-06[	36 élèves	18	18
Note <04	12 élèves	06	06
Total	106 élèves	53	53

Source : pré-test auprès des élèves des Terminale D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Ce tableau illustre la répartition des élèves des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi en deux groupes (un groupe témoin et un groupe expérimental) en fonction des résultats du pré-test. Relevons le fait que ces deux classes ont toutes le même enseignant de SVTEEHB. Cette répartition nous permet d'obtenir deux groupes homogènes. En observant ce tableau, on constate que le groupe classe (Terminale D2 et D4) a été scindé en deux groupes en fonction des notes obtenues lors du pré-test. Les six (6) élèves ayant obtenus des notes dans l'intervalle [12-14[, ont été repartis en trois (3) dans le groupe témoin et trois (3) dans le groupe expérimental, question de respecter l'homogénéité dans les deux groupes. Pour les huit (8) élèves ayant obtenus des notes dans l'intervalle [10-12[, nous les avons repartis de la manière suivante : quatre (4) dans le groupe témoin et quatre (4) dans le groupe expérimental, question toujours de respecter l'homogénéité dans les deux groupes. Sur les vingt-quatre (24) élèves ayant eu des notes comprises entre 08 et 09,75 sur 20, c'est-à-dire dans l'intervalle [08-10[, la répartition a été faite de manière à avoir douze (12) élèves dans chacun des deux groupes (Témoin et expérimental). Pour les vingt (20) élèves ayant obtenus lors du pré-test les notes comprises entre 06 et 07,75 sur 20 à savoir dans l'intervalle [06-08[, ils ont été repartis dans les différents groupes de la manière suivante : dix (10) dans le groupe expérimental et dix (10) dans le groupe témoin. Sur les trente-six (36) élèves ayant des notes dans l'intervalle [04-06[, la répartition s'est faite de la manière suivante : dix-huit (18) dans le groupe expérimental et dix-huit (18) dans le groupe témoin. Sur les douze (12) élèves ayant obtenus des notes inférieures à 04/20, six (6) ont été envoyés dans le groupe expérimental et six (6) dans le groupe témoin. Dans chaque intervalle de note (note < 4, [4-6[, [6-8[, [8-10[, [10-12 [), la répartition équitable dans les deux groupes avait

pour objectif de respecter l'homogénéité dans les deux groupes à savoir l'homogénéité dans le groupe témoin d'une part et dans le groupe expérimental d'autre part. On obtient donc sur les cent-six (106) élèves évalués dans ce pré-test, cinquante-trois (53) dans le groupe expérimental et cinquante-trois (53) dans le groupe Témoin.

Graphique 12: Répartition des élèves des Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi dans les deux sous-groupes (expérimental et Témoin)



Source : pré-test auprès des élèves des Terminales D2 et D4 des Lycées de Biyem-Assi, Février 2021

Ce graphique illustre la répartition équitable des élèves des Terminale D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi dans les deux groupes (groupe témoin et groupe expérimental). Il présente l'homogénéité des deux groupes classes avant notre expérimentation.

Tableau 44: Constitution des groupes témoins et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des Notes du pré-test en Terminale D du Lycée de Mouko

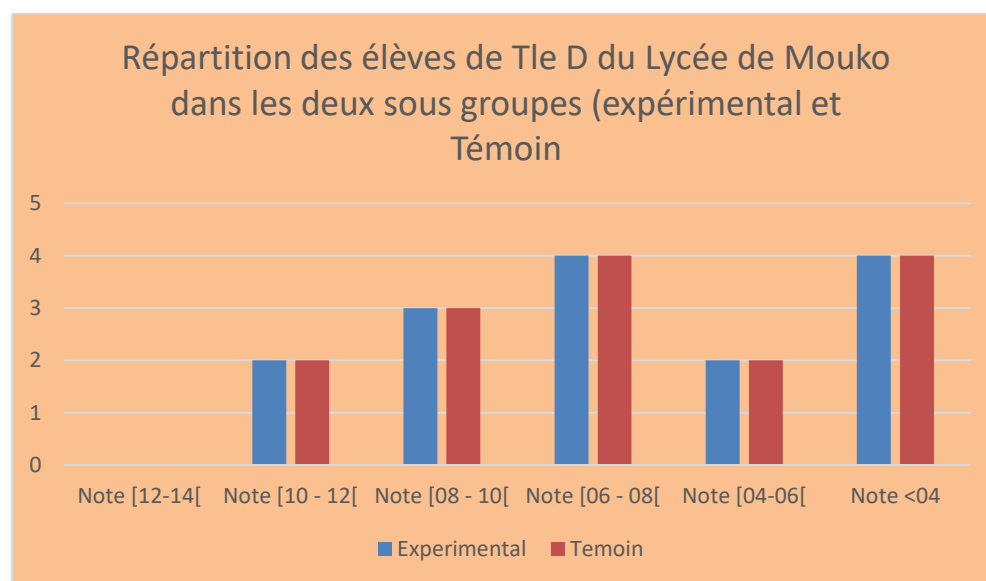
Intervalle des notes/20	Répartition des 26 élèves de Terminale D lors du pré-test	Groupe expérimental (Test 1)	Groupe témoin (Test 1)
Note [12-14[	00 élève	00	00
Note [10 - 12[	04 élèves	02	02
Note [08 - 10[	06 élèves	03	03
Note [06 - 08[	08 élèves	04	04
Note [04-06[	04 élèves	02	02
Note <04	08 élèves	04	04
Total	30 élèves	15	15

Source : pré-test auprès des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko, Février 2021

Ce tableau illustre la répartition des élèves de Terminale D du lycée de Mouko en deux groupes (un groupe témoin et un groupe expérimental) en fonction des résultats du pré-test. Cette répartition nous permet d'obtenir deux groupes homogènes. En observant ce

tableau, on constate que la classe a été scindée en deux groupes en fonction des notes obtenues lors du pré-test. Aucun élève n'a obtenu de note dans l'intervalle [12-14[. Les quatre (4) élèves ayant obtenus des notes dans l'intervalle [10-12[, ont été repartis de la manière suivante : deux (2) dans le groupe expérimental et deux (2) dans le groupe Témoin, question de respecter l'homogénéité dans les deux groupes. Sur les six (6) autres élèves ayant eu des notes comprises entre 08 et 09,75 sur 20, c'est-à-dire dans l'intervalle [08-10[, la répartition a été faite de manière à avoir trois (3) élèves dans le groupe Témoin et trois (3) élèves dans le groupe expérimental. Les huit (8) élèves ayant obtenus lors du pré-test, des notes comprises entre 06 et 07,75 sur 20 à savoir dans l'intervalle [06-08[, ont été répartis dans les différents groupes de la manière suivante ; Quatre (4) dans le groupe expérimental et quatre (4) dans le groupe témoin. Les quatre (4) élèves ayant des notes dans l'intervalle [04-06[, la répartition s'est faite de la manière suivante : deux (2) dans le groupe expérimental et deux (2) dans le groupe témoin. Sur les huit (8) élèves ayant obtenus des notes inférieures à 04/20, quatre (4) ont été envoyés dans le groupe expérimental et quatre (4) dans le groupe témoin. Dans chaque intervalle de notes (**note < 4**, **[4-6[**, **[6-8[**, **[8-10[**, **[10-12 [**), la répartition équitable dans les deux groupes avait pour objectif de respecter l'homogénéité dans les deux groupes à savoir le groupe témoin d'une part et le groupe expérimental d'autre part. On obtient donc sur les trente (30) élèves évalués dans ce pré-test, quinze (15) dans le groupe expérimental et quinze (15) dans le groupe Témoin.

Graphique 13: Répartition des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko dans les deux sous-groupes (expérimental et Témoin)



Source : pré-test auprès des élèves de Terminales D du Lycées de Mouko, Février 2021

Ce graphique illustre la répartition équitable des élèves de Terminale D du lycée de Mouko dans les deux groupes (groupe témoin et groupe expérimental). Il présente l'homogénéité des deux groupes classes avant notre expérimentation.

3.1.4. Récapitulatif des groupes témoin et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des notes du pré-test

Tableau 45: Récapitulatif des groupes témoins et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des notes du pré-test des élèves des Terminale D des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko

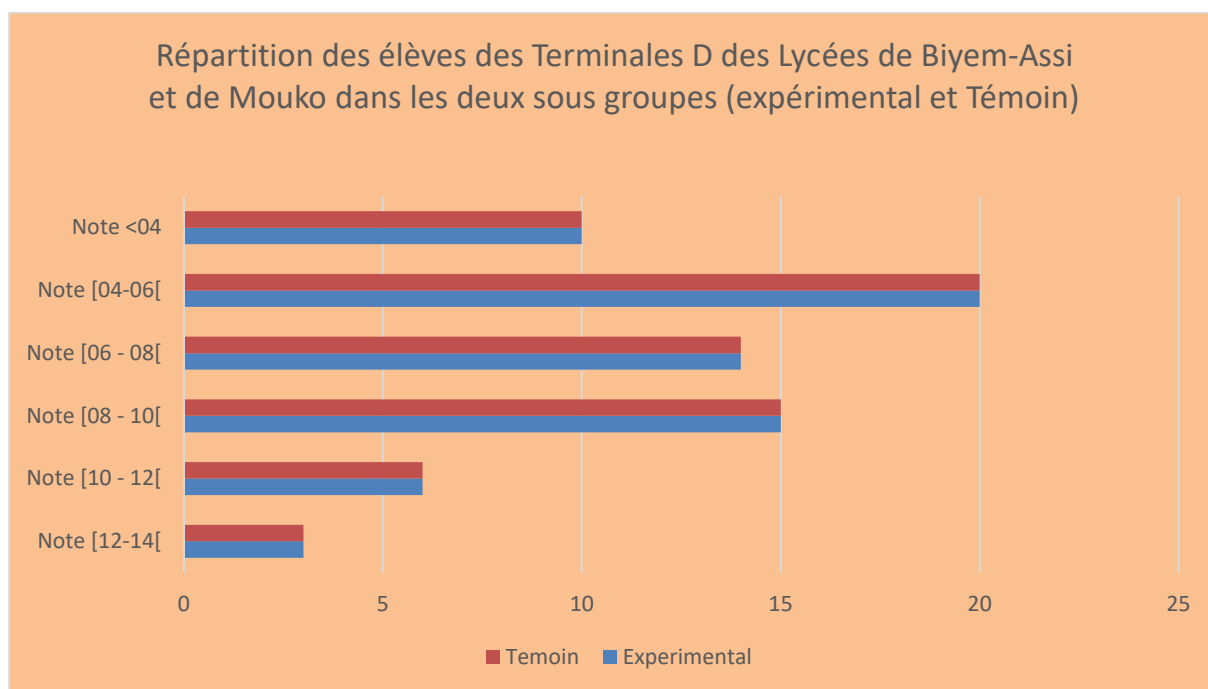
Intervalle des notes/20	Répartition des 136 élèves des Terminales D lors du pré-test	Groupe expérimental (Test 1)	Groupe témoin (Test 1)
Note [12-14[	06 élèves	03	03
Note [10 - 12[	12 élèves	06	06
Note [08 - 10[	30 élèves	15	15
Note [06 - 08[	28 élèves	14	14
Note [04-06[	40 élèves	20	20
Note <04	20 élèves	10	10
Total	136 élèves	68	68

Source: pré-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Ce tableau illustre la répartition des élèves des trois Terminales D du lycée de Biyem-Assi, ainsi que celle du Lycée de Mouko en deux groupes (un groupe témoin et un groupe expérimental). Cette répartition se fait en fonction des résultats du pré-test, et elle nous permet d'obtenir deux groupes homogènes. En observant ce tableau, on constate l'obtention de deux grands groupes (groupe expérimental et groupe témoin) en fonction des notes obtenues lors du pré-test. Les six (6) élèves des trois Terminales D de notre échantillon ayant obtenu des notes dans l'intervalle [12-14[, ont été reparties de manière suivante : trois (3) dans le groupe expérimental et trois (3) dans le groupe témoin. Ce qui assure le respect de l'homogénéité dans les deux groupes. Les douze (12) élèves ayant obtenus des notes dans l'intervalle [10-12[, ont été repartis de la manière suivante : six (6) élèves dans le groupe expérimental et six (6) dans le groupe Témoin, question toujours de respecter l'homogénéité dans les deux groupes. Les trente (30) élèves ayant eu des notes comprises entre 08 et 09,75 sur 20, c'est-à-dire dans l'intervalle [08-10[, ont été repartis de manière à avoir quinze (15) élèves dans le groupe expérimental et quinze (15) dans le groupe Témoin. Par ailleurs, les vingt-huit (28) élèves ayant obtenus lors du pré-test, les notes comprises entre 06 et 07,75 sur 20 à savoir dans l'intervalle [06-08[, ont été repartis de manière à avoir quatorze (14) élèves dans le groupe expérimental et quatorze (14) dans le groupe Témoin. D'un autre côté, les

quarante (40) élèves ayant des notes dans l'intervalle [04-06[, ont été répartis de manière à obtenir vingt (20) élèves dans le groupe expérimental et vingt (20) élèves dans le groupe Témoin. En fin les vingt (20) élèves qui ont obtenus des notes inférieures à 04/20, dix (10) ont été envoyés dans le groupe expérimental et dix (10) dans le groupe témoin. Dans chaque intervalle de notes (**note < 4**, [4-6[, [6-8[, [8-10[, [10-12], la répartition équitable dans les deux groupes avait pour objectif de respecter l'homogénéité dans les deux groupes à savoir le groupe témoin d'une part et le groupe expérimental d'autre part. On obtient donc sur les cent trente-six (136) élèves de ces Terminales D évalués, soixante-huit (68) élèves dans le groupe expérimental et soixante-huit (68) élèves aussi dans le groupe Témoin.

Graphique 14: Répartition des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko dans les deux sous-groupes (expérimental et Témoin)



Source: pré-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Ce graphique illustre la répartition équitable des élèves des différentes Terminale D des lycées de Biyem-Assi et Mouko, répartition équitable dans les deux groupes (groupe témoin et groupe expérimental). Ce graphique laisse transparaitre l'homogénéité des deux groupes classes avant notre expérimentation.

3.1.5. Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe expérimental et témoin

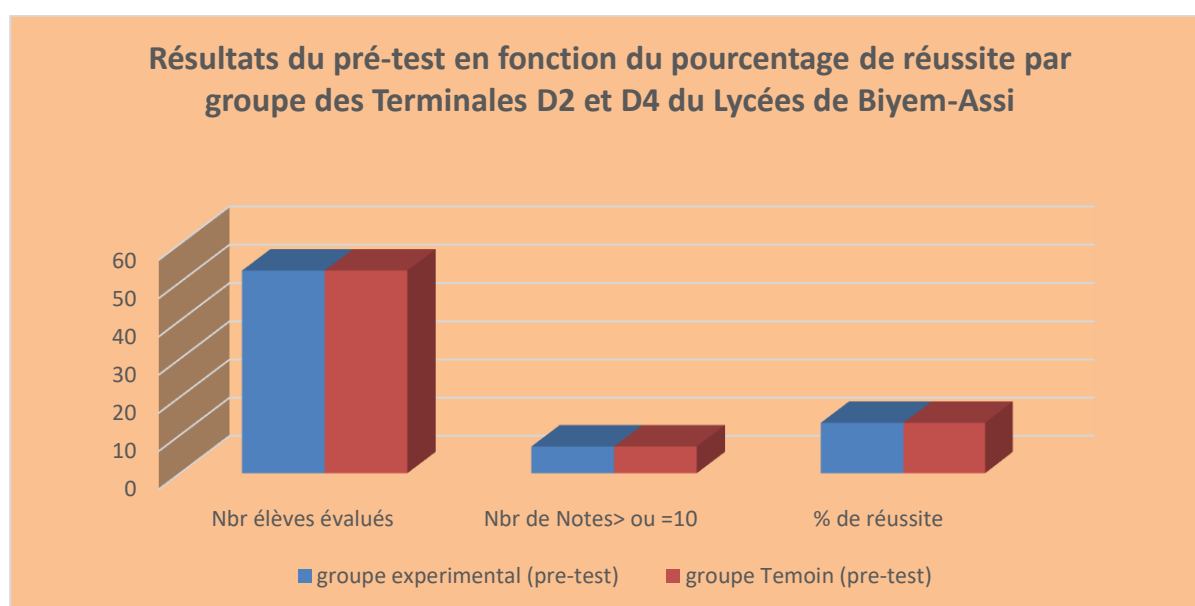
Tableau 46: Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe en Terminale D2 et D4 du Lycées de Biyem-Assi

Groupe	Groupe expérimental de la Tle D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi	Groupe témoin de la Tle D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi
Tests	Pré-test (Test1)	Pré-test (Test 1)
Nbr élèves évalués	53	53
Nbr de Notes > ou =10	07	07
% de réussite	13,2 %	13,2 %
Note/20 Borne supérieur	13,5	13,75
Note/20 Borne inférieur	02,5	02,5

Source : pré-test auprès des élèves de Terminale D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Ce tableau compare les résultats des groupes témoin et expérimental lors du pré-test. Ce tableau confirme l'homogénéité existant dès le début de l'expérience dans le groupe témoin et celui expérimental. Dans ce tableau, les élèves sont répartis par groupe de 53, c'est-à-dire 53 élèves pour le groupe témoin et 53 élèves pour le groupe expérimental. Que ce soit dans le groupe expérimental ou témoin, sept (07) élèves dans chaque groupe ont réussi à avoir des notes supérieures ou égales à 10/20. D'où un pourcentage de réussite de 13,2% tant dans le groupe expérimental que dans le groupe témoin.

Graphique 15 : Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe dans Terminale D2 et D4 du Lycées de Biyem-Assi



Source : pré-test auprès des élèves des Terminales D1 et D2 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Ce graphique récapitule les résultats du pré-test des élèves des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi. Il illustre l'égalité et l'homogénéité entre le groupe expérimental et le groupe Témoin en termes de nombre d'élèves évalués, de nombre de moyennes de notes supérieures ou égales à 10/20 et en termes de pourcentage de réussite à l'évaluation du pré-test.

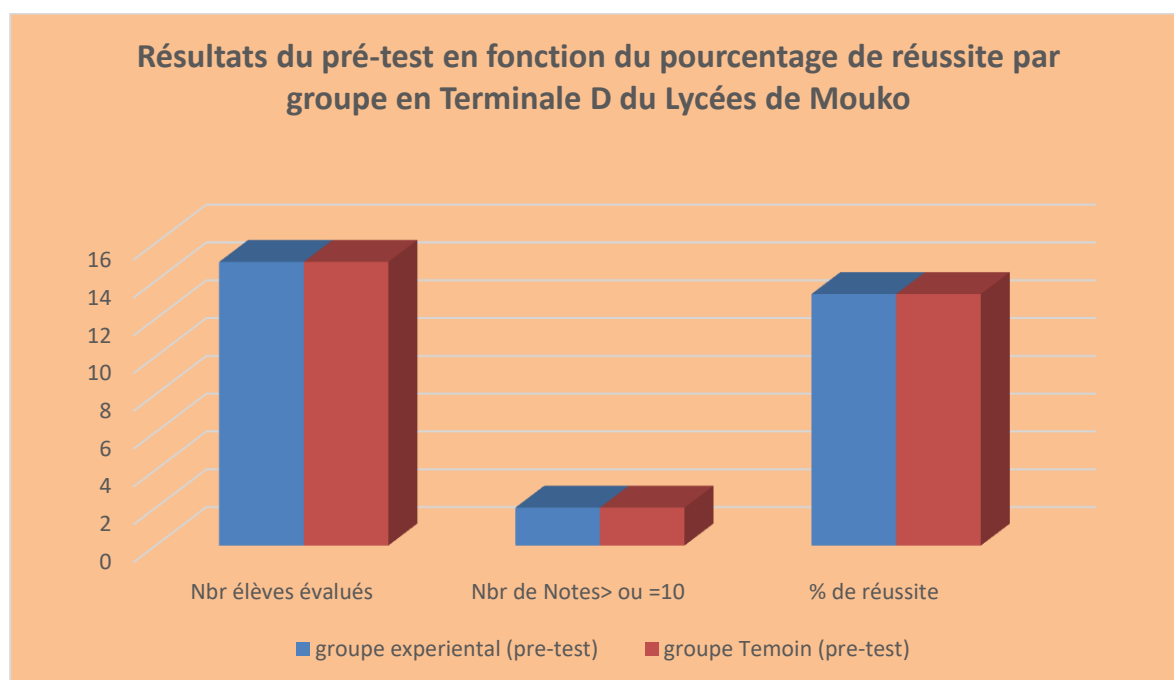
Tableau 47: Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe en Terminale du Lycée de Mouko

Groupe	Groupe expérimental de la Tle D du lycée de Mouko	Groupe témoin de la Tle D du Lycée de Mouko
Tests	Pré-test (Test1)	Pré-test (Test 1)
Nbr élèves évalués	15	15
Nbr de Notes > ou =10	02	02
% de réussite	13,3%	13,3%
Note/20 Borne supérieur	11	12
Note/20 Borne inférieur	02,00	02,50

Source : pré-test auprès des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko, Février 2021

Ce tableau compare les résultats des groupes témoin et expérimental lors du pré-test en Terminale D au Lycée de Mouko. Ce tableau confirme l'homogénéité existant dès le début de l'expérience dans le groupe témoin et celui expérimental. Dans ce tableau, les élèves sont répartis par groupe de 15, c'est-à-dire 15 élèves pour le groupe témoin et 15 élèves pour le groupe expérimental. Que ce soit dans le groupe expérimental ou témoin, deux (02) élèves dans chaque groupe ont réussi à avoir des notes supérieures ou égales à 10/20. D'où un pourcentage de réussite de 13,3% tant dans le groupe expérimental que dans le groupe témoin.

Graphique 16 : Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe en Terminale D au Lycées de Mouko



Source : pré-test auprès des élèves de Terminales D du Lycée de Mouko, Février 2021

Ce graphique récapitule les résultats du pré-test des élèves de Terminale D du lycée de Mouko. Il illustre l'égalité et l'homogénéité entre le groupe expérimental et le groupe Témoin en termes de nombre d'élèves évalués, de nombre de moyennes de notes supérieures ou égales à 10/20 et en termes de pourcentage de réussite à l'évaluation du pré-test.

3.1.6. Récapitulatif des résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe témoin et expérimental

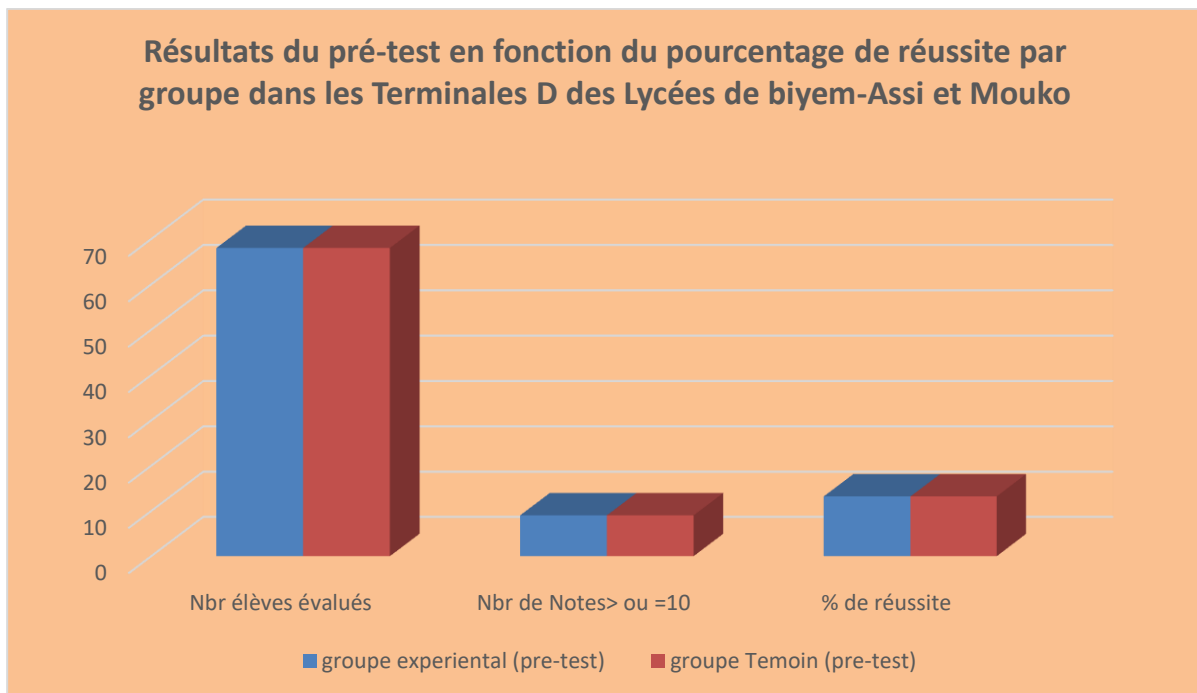
Tableau 48: Récapitulatif des résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe dans les Terminales des Lycées de Biyem-Assi et Mouko

Groupe	Groupe expérimental des Tle D des lycées de Biyem-Assi et Mouko	Groupe témoin des Tle D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko
Tests	Pré-test (Test1)	Pré-test (Test 1)
Nbr élèves évalués	68	68
Nbr de Notes > ou =10	09	09
% de réussite	13,2%	13,2%
Note/20 Borne supérieur	13,5	13,75
Note/20 Borne inférieur	02,00	02,5

Source : pré-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Ce tableau est le tableau récapitulatif des différentes classes de Terminale D faisant l'objet de notre échantillonnage. Il compare les résultats du groupe témoin et du groupe expérimental lors du pré-test, phase qui précède l'expérimentation. Ce tableau récapitule les données de notre échantillon et confirme l'homogénéité existant dès le début de l'expérience dans le groupe témoin et dans le groupe expérimental. Dans ce tableau, les élèves sont répartis par groupe de 68, c'est-à-dire soixante-huit (68) élèves pour le groupe témoin et soixante-huit (68) élèves pour le groupe expérimental. Que ce soit dans le groupe expérimental ou témoin, neuf (9) élèves dans chaque groupe ont réussi à avoir des notes supérieures ou égales à 10/20. D'où un pourcentage de réussite de 13,2%, tant dans le groupe expérimental que dans le groupe témoin. Dans ce tableau récapitulatif, les bornes supérieures de la moyenne des notes des élèves sont respectivement de 13,5/20 et 13,75/20 dans le groupe expérimental et le groupe Témoin. Les bornes inférieures par contre sont respectivement de 02/20 et 02,5/20 dans le groupe expérimental et le groupe témoin.

Graphique 17 : Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe dans les Terminales D du Lycées de Biyem-Assi et Mouko



Source : pré-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Ce graphique récapitulatif des résultats du pré-test, illustre l'égalité et l'homogénéité entre le groupe expérimental et le groupe témoin en termes de nombre d'élèves évalués, du nombre de moyennes de notes supérieures ou égales à 10/20 et en termes de pourcentage de réussite à l'évaluation du pré-test.

3.2. Analyse des résultats du post-test lors de la modélisation de transmission de l'information génétique

Les résultats du pré-test nous ont permis de scinder les différents groupes classes en groupes témoin et expérimental. Nous avons soumis chaque groupe expérimental à l'expérience sur la plateforme de génétique pour la modélisation de l'information génétique et en vue de gérer les conceptions des élèves liées à la génétique. Les élèves du groupe témoin quant à eux n'ont pas été soumis à cette plateforme.

3.2.1. Résultat du post-test des Terminales par intervalle de notes après expérimentation de la plateforme

Après l'expérimentation sur la plateforme de génétique par le groupe expérimental, les deux groupes (groupe expérimental et groupe témoin) ont été soumis à l'évaluation (post-test). Les résultats du post-test seront à chaque fois comparés entre ceux du groupe expérimental et ceux du groupe témoin d'une part. Et d'autre part les résultats du post-test du groupe témoin seront comparés avec ceux du pré-test de ce même groupe, question d'observer s'il y'a évolution ou pas lors de l'expérience.

Test 1 : Résultat du pré-test avant l'expérimentation du groupe expérimental sur la plateforme numérique de modélisation

Test 2 : Résultat du post-test après l'expérimentation du groupe expérimental sur la plateforme numérique de modélisation

Tableau 48 : Résultats du post-test dans les Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi par intervalle de notes après expérimentation de la plateforme numérique de modélisation

Groupes	Groupe expérimental des Tle D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi		Groupe témoin des Tle D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi	
	Test1	Test2	Test1	Test2
Note [18-20]	00	03	00	00
Note [16-18[	00	11	00	00
Note [14-16[	00	09	00	00
Note [12-14[	03	08	03	05
Note [10 - 12[	04	16	04	04
Note [08 - 10[	12	06	12	16
Note [06 - 08[	10	00	10	15
Note [04-06[	18	00	18	05
Note <04	06	00	06	08
Total	53	53	53	53

Source : post-test auprès des élèves des Terminale D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Ce tableau présente les notes des élèves de Terminale D2 du Lycée de Biyem-Assi par intervalles. Dans le groupe témoin, les notes des élèves n'ont pas sensiblement évolué entre le pré-test avant la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique et le post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique. Dans le pré-test, on a quatre (4) élèves qui ont obtenu des notes dans l'intervalle [10-12[, et trois (3) élèves dans l'intervalle [12-14[. Dans le post-test (test 2), on retrouve à peu près les mêmes chiffres, cinq (5) élèves dans l'intervalle [10-12[, et quatre (4) élèves ayant obtenu une note dans l'intervalle [12-14[. Que ce soit dans le pré-test (Test 1) ou Post-test (test 2), aucun élève n'a obtenu une note supérieure à 13/20 dans le groupe témoin. Par contre dans le groupe expérimental, il y'a eu une évolution considérable des résultats des élèves entre le pré-test (Test1) et le post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (Test 2). Dans le pré-test du groupe expérimental, aucun élève n'a obtenu une note supérieure à 13/20. Par contre dans le post-test du même groupe, trois (3) élèves ont obtenu des notes situées dans l'intervalle [18-20[, douze (12) ont obtenu les notes dans l'intervalle [16-18[et huit (8) d'entre eux ont obtenu des notes dans l'intervalle [14-16[. Lors du pré-test dans le groupe expérimental, dix (10) élèves ont obtenu des notes dans l'intervalle [06-08[, dix-huit (18) dans l'intervalle [04-06[et six (6) élèves ont obtenu des notes inférieures à 04/20. Lors du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique, aucun élève n'a obtenu des notes inférieures à 08/20.

Tableau 49: Résultats du post-test en Terminale D du lycée de Mouko par intervalle de note après expérimentation de la plateforme numérique de modélisation

Groupes	Groupe expérimental de la Tle D du lycée de Mouko		Groupe témoin de la Tle D du Lycée de Mouko	
	Test1	Test2	Test1	Test2
Note [18-20]	00	00	00	00
Note [16-18[	00	01	00	00
Note [14-16[	00	02	00	00
Note [12-14[	00	05	00	01
Note [10 - 12[	02	04	02	00
Note [08 - 10[	03	02	03	04
Note [06 - 08[	04	01	04	05
Note [04-06[	02	00	02	04
Note <04	04	00	04	01
Total	15	15	15	15

Source : post-test auprès des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko, Février 2021

Ce tableau présente les notes des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko par intervalles. Dans le groupe témoin, les notes des élèves n'ont pas sensiblement évolué entre le pré-test avant la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique et le post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique. Que ce soit lors du pré-test de ce groupe témoin ou lors du post-test, les notes des élèves oscillent dans les mêmes intervalles. Les résultats sont presque similaires, ils n'ont réellement pas changé. Ils semblent néanmoins avoir très légèrement régressés. Que ce soit dans le pré-test (Test 1) ou Post-test (test 2), aucun élève n'a obtenu une note supérieure à 13/20 dans le groupe témoin. Par contre dans le groupe expérimental, il y'a eu une évolution considérable des résultats des élèves entre le pré-test (Test1) et le post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (Test 2). Dans le pré-test du groupe expérimental, aucun élève n'a obtenu une note supérieure à 12/20. Par contre dans le post-test de ce même groupe expérimental, un élève (1) a obtenu une note dans l'intervalle [16-18[, deux (2) élèves ont obtenu des notes dans l'intervalle [14-16[et cinq (5) d'entre eux ont obtenu des notes dans l'intervalle [12-14[. Lors du pré-test dans le groupe expérimental, quatre (4) élèves ont obtenu des notes dans l'intervalle [06-08[, deux (2) dans l'intervalle [04-06[et quatre (4) élèves ont obtenu des notes inférieures à 04/20. Lors du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique, un seul (1) élève a obtenu une note inférieure à 08/20.

3.2.2. Récapitulatif des résultats des Terminales par intervalle de note après expérimentation de la plateforme

Tableau 50: Résultats du post-test des Terminales D des lycées de Biyem-Assi et de Mouko par intervalle de note après expérimentation de la plateforme numérique

Groupes	Groupe expérimental des Tle D des lycées de Biyem-Assi et de Mouko		Groupe témoin des Tle D des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko	
	Test1	Test2	Test1	Test2
Note [18-20]	00	03	00	00
Note [16-18[	00	13	00	00
Note [14-16[	00	10	00	00
Note [12-14[	03	11	03	05
Note [10 - 12[	06	20	06	05
Note [08 - 10[	15	10	15	19
Note [06 - 08[	14	01	14	22
Note [04-06[	20	00	20	09
Note <04	10	00	10	08
Total	68	68	68	68

Source : post-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko, Février 2021

Ce tableau présente les notes des élèves des Terminales D faisant partir de notre échantillonnage par intervalles. Dans le groupe témoin, les notes des élèves n'ont pas sensiblement évolué entre le pré-test avant la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (test 1) et le post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (test 2). Dans le pré-test, on a au total trois (3) élèves qui ont obtenu des notes dans l'intervalle [12-14[et six (6) élèves qui ont obtenu des notes dans l'intervalle [10-12[. Dans le post-test (test 2) de ce même groupe témoin, on retrouve sensiblement la même chose, à savoir : cinq (5) élèves dans l'intervalle [12-14[, et cinq (5) élèves ayant obtenu une note dans l'intervalle [10-12[. Que ce soit dans le pré-test (Test 1) ou le post-test (test 2) du groupe Témoin, aucun élève n'a obtenu une note supérieure à 13/20 dans le groupe témoin. Par contre dans le groupe expérimental, il y'a eu une évolution considérable des résultats des élèves entre le pré-test (Test1) et le post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (test 2). On est passé de trois (3) élèves sur soixante-huit ayant obtenu une note supérieure ou égale à 12/20 dans le pré-test à trente-sept (37) élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 12/20 dans le post-test dans le groupe expérimental. Dans le pré-test aucun élève n'avait une note supérieure à 13/20, par contre, dans le post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (test 2), vingt-six (26) élèves ont obtenu des notes supérieures à 13/20. Aucun élève n'avait une note située dans l'intervalle [14-16[dans le pré-test. Dans le post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (test 2), dix (10) élèves ont obtenu des notes dans cet intervalle. Dans les intervalles [16-18[et [18-20[, aucun élève n'avait des notes dans ces intervalles lors du pré-test. Lors du post-test par contre treize (13) élèves ont obtenu des notes dans l'intervalle [16-20[et trois (3) dans l'intervalle [18-20[. Concernant la borne inférieure, on peut observer que dans le groupe expérimental, quarante-quatre (44) élèves avaient des notes inférieures à 08/20 lors du pré-test, et dans le post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (test 2), seulement un (1) élèves a obtenu une note inférieure à 08/20 dans ce groupe expérimental.

3.2.3. Résultats des bornes supérieures et inférieures après modélisation via la plateforme numérique

Tableau 51: Résultats de l'évaluation après modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique dans les Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi

Groupe	Groupe expérimentale des Tle D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi		Groupe témoin des Tle D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Tests				
Nbr élèves évalués	53	53	53	53
Nbr de Notes>10	07	45	07	09
% de réussite	13,2%	84,9%	13,2%	17%
Note/20 Borne supérieur	13.5	19	13,75	13
Note/20 Borne inférieur	02.5	08,5	02,5	02

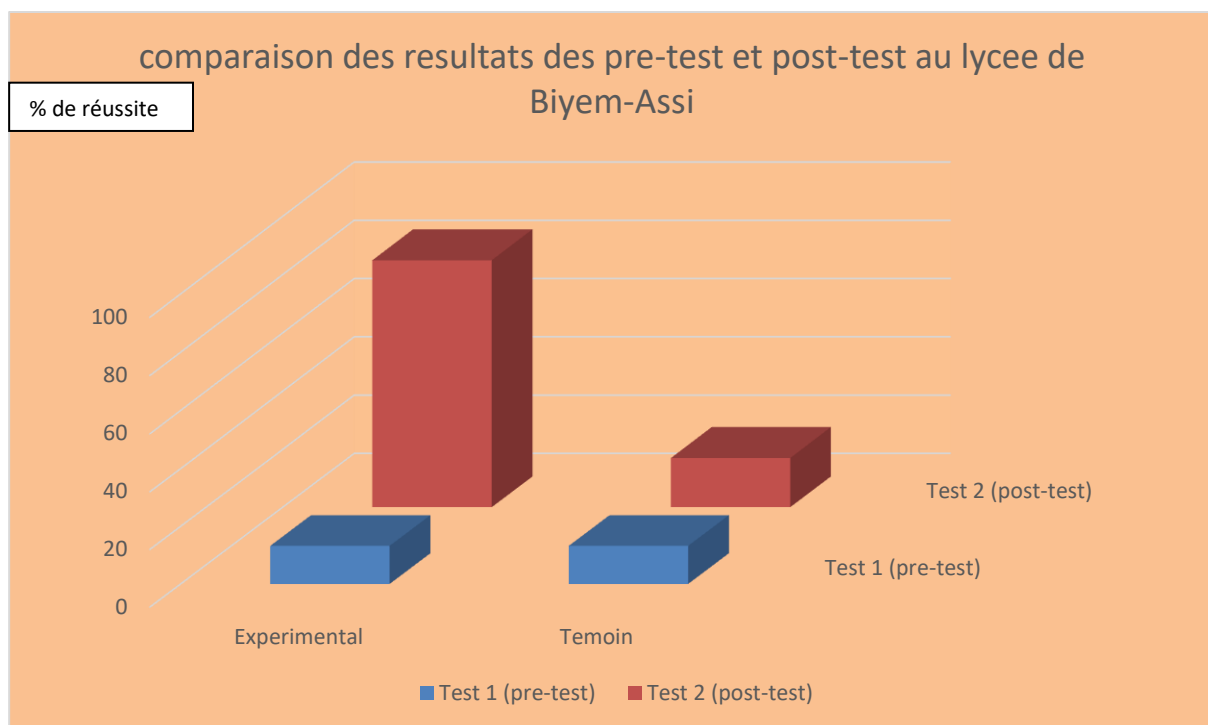
Source : post-test auprès des élèves des Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (test 2), le nombre des notes supérieures à 10/20 dans le groupe témoin a très légèrement augmenté. Le nombre des moyennes est passé de sept (7) sur cinquante-trois (53) lors du pré-test à neuf (9) sur 53 lors du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique dans le groupe expérimental. Pour un pourcentage de réussite de 13,2% dans le pré-test et 17% dans le post-test. Les bornes supérieures et inférieures sont restées presque stables. En ce qui concerne les bornes supérieures elles sont respectivement de 13,75/20 pour le pré-test et 13/20 pour le post-test. S'agissant des bornes inférieures, elles ont diminué de 0,5pt passant ainsi de 02,5/20 lors du pré-test, à 02/20 lors du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique dans le groupe expérimental.

Dans le groupe expérimental par contre, il y'a eu augmentations du nombre d'élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 entre le pré-test et le post test après la phase expérimentale. On est passé de sept (07) élèves au pré-test ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 à quarante-cinq (45). Soit un pourcentage de réussite qui est passé de 13,2% au pré-test à 84,9% au post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique. Dans ce même groupe expérimental, la moyenne la plus élevée lors de l'évaluation est passée de 13,5/20 lors du pré-test à 19/ 20 lors du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique. La plus basse note lors de l'évaluation est passée de 02,5/20 lors du pré-test à 08,5/ 20 lors du post-test. Les résultats des élèves du groupe témoin et ceux du groupe expérimental qui semblaient identiques lors du pré-test (test 1) ont connu une nette différence

lors du post-test (test 2). Lors du pré-test, le groupe témoin et le groupe expérimental avaient respectivement sept (07) élèves ayant eu des notes supérieures ou égales à 10/20, ce qui faisait un pourcentage de réussite de 13,2% dans chaque groupe. Tandis que le taux de réussite du groupe témoin a très légèrement évolué lors du post-test, on est passé de sept (07) élèves qui ont obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 à neuf (9) : soit un pourcentage qui est passé de 13,2 % lors du test 1 ou pré-test à 17 % lors du post-test ou test 2, le pourcentage de réussite du groupe expérimental par contre a considérablement évolué. On est passé de sept (07) élèves à quarante-cinq (45) élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20. Soit un pourcentage de 13,2% lors du pré-test à 84,9% lors de ce post-test (test 2).

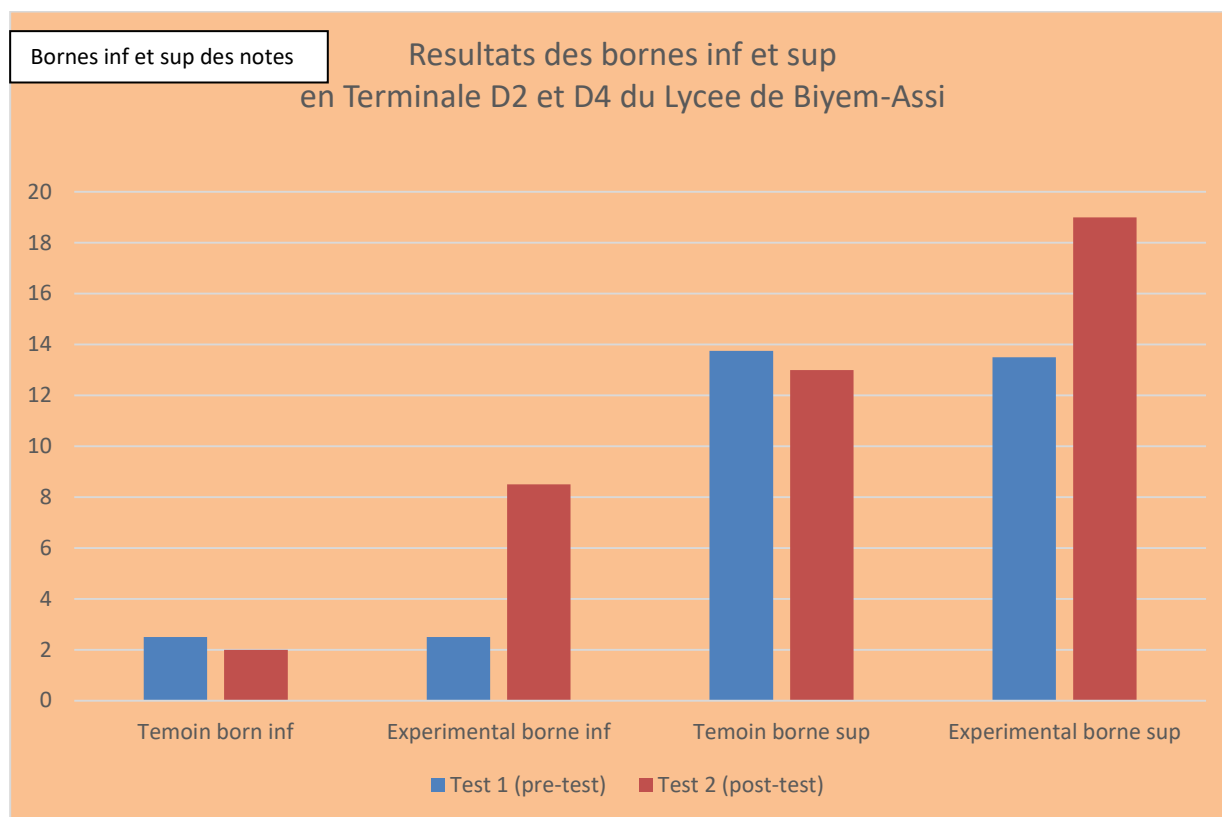
Graphique 18: Résultat des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi après modélisation via la plateforme numérique



Source : post-test auprès des élèves des Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Ce graphique présente le grand écart qui s'est creusé en termes de résultat entre le groupe témoin et le groupe expérimental après modélisation de l'information génétique par le biais de la plateforme numérique GENEDIDACT. Lors du pré-test, les élèves des deux groupes étaient au même niveau, et après avoir utilisé la plateforme numérique pour la modélisation en vue de gérer les conceptions, l'écart du taux de réussite entre le groupe témoin et le groupe expérimental s'est creusé de 67,9% en faveur du groupe expérimental.

Graphique 19 : Bornes supérieures et inférieures des notes des différents tests dans les Terminales



Source : post-test auprès des élèves de Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Ce graphique compare les bornes inférieures et supérieures des notes des élèves des différents groupes (Témoin et Expérimental) des Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, avant et après l'expérimentation. On observe dans ce graphique que lors du pré-test les bornes supérieures et inférieures dans les deux groupes étaient similaires. Mais après l'expérience de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique, les bornes supérieures et inférieures du groupe expérimental ont considérablement augmenté, alors que celles du groupe témoin sont restées statiques

Tableau 52: Résultats de l'évaluation après modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique en Terminale D du lycée de Mouko

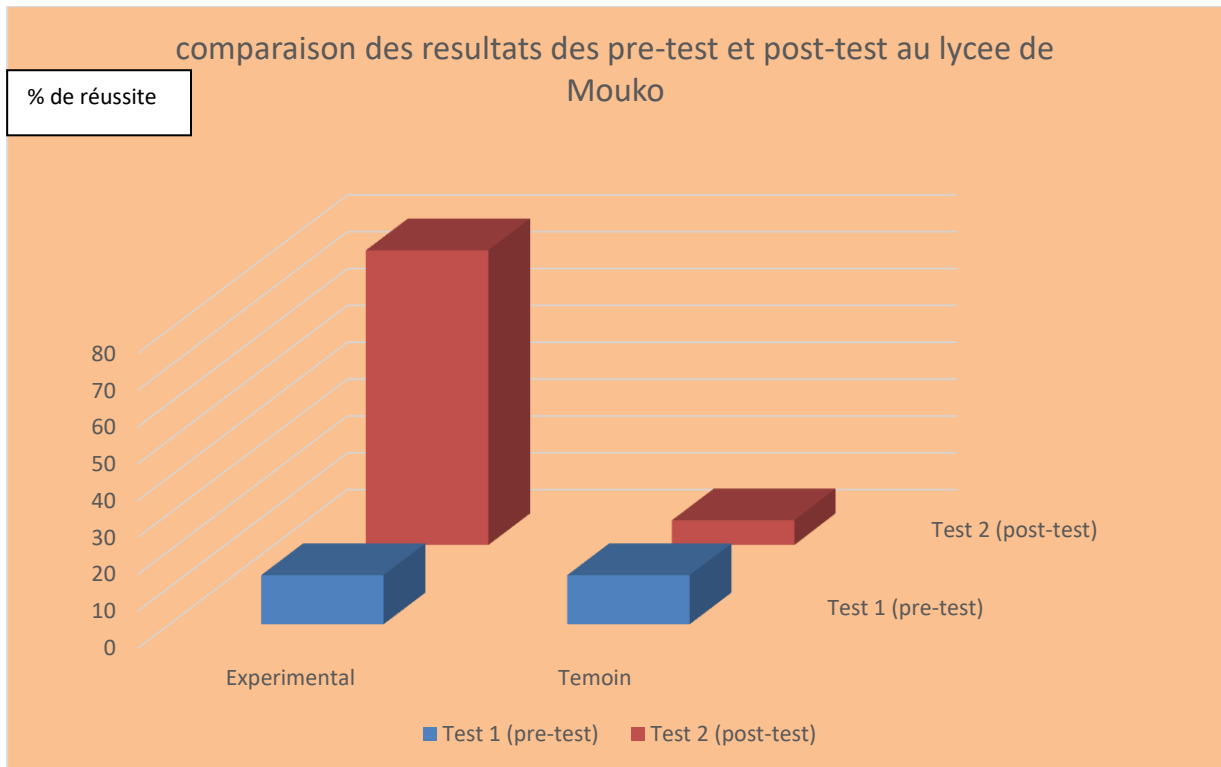
Groupe	Groupe expérimental de la Tle D du lycée de Mouko		Groupe témoin de la Tle D du Lycée de Mouko	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Nbr élèves évalués	15	15	15	15
Nbr de Notes > 10	02	12	02	01
% de réussite	13,3%	80%	13,3%	6,7%
Note/20 Borne supérieur	11,5	17	11,5	12
Note/20 Borne inférieur	01,5	07,5	02,00	02,00

Source : post-test auprès des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko, Février 2021

Ce tableau compare les résultats des différents groupes (Témoin et expérimental) d'une part et d'autre part ceux du pré-test et du post test en Terminale D au lycée de Mouko. Le constat ici est que, le nombre des notes supérieures à 10/20 dans le groupe témoin a plutôt diminué après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (test 2). Il est passé de deux (2) sur quinze (15) lors du pré-test à un (1) sur 15 lors du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique dans le groupe expérimental. Pour un pourcentage de réussite diminuant de 13,3% dans le pré-test à 6,7 % dans le post-test. Les bornes supérieures et inférieures sont restées presque stables dans ce même groupe témoin. En ce qui concerne la borne supérieure, elle a légèrement augmenté, elle est passée de 11,5/20 lors du le pré-test à 12/20 lors du post-test. Pour la borne inférieure, elle est restée stable, à 02/20 lors du pré-test et du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique dans le groupe expérimental.

Dans le groupe expérimental par contre, il y'a eu une grande augmentation du nombre d'élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 entre le pré-test et le post test après la phase expérimentale par le groupe expérimental. On est passé de deux (02) élèves au pré-test ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 à douze (12). Soit un pourcentage de réussite qui est passé de 13,3% au pré-test à 80% au post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique. Dans ce même groupe expérimental, la plus grande moyenne lors de l'évaluation est passée de 11,5/20 lors du pré-test à 17/ 20 lors du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique avec les élèves du groupe expérimental. La plus petite note lors de l'évaluation est passée de 01,5/20 lors du pré-test à 07,5/ 20 lors du post-test. Les résultats des élèves du groupe témoin et ceux du groupe expérimental qui semblaient identiques lors du pré-test (test 1) ont connu une nette différence lors du post-test (test 2). Lors du pré-test, le groupe témoin et le groupe expérimental avaient respectivement deux (02) élèves chacun ayant eu des notes supérieures ou égales à 10/20. Tandis que le taux de réussite du groupe témoin a plutôt régressé allant de 13,3% lors du pré-test à 6,7% lors du post-test, le pourcentage de réussite du groupe expérimental par contre a considérablement évolué du pré-test au post-test, allant de 13,3% à 80%

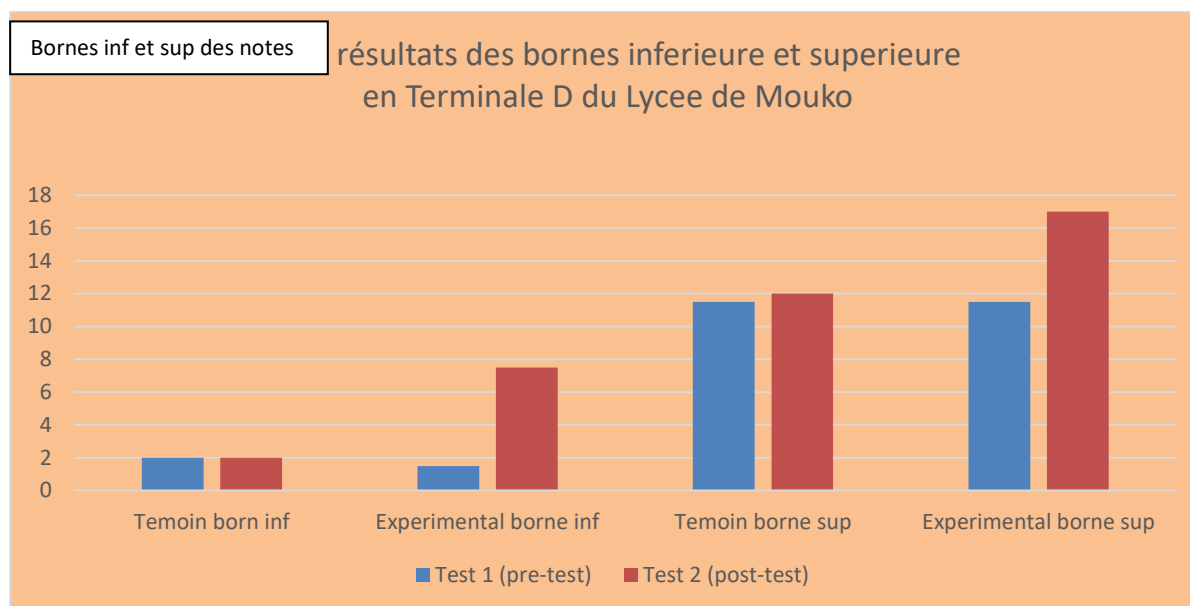
Graphique 20 : Résultat de la Terminale D du lycée de Mouko après modélisation via la plateforme numérique



Source : post-test auprès des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko, Février 2021

Ce graphique présente le grand écart qui s'est creusé en termes de résultat entre le groupe témoin et le groupe expérimental après modélisation de l'information génétique par le biais de la plateforme numérique GENEDIDACT. Lors du pré-test les élèves des deux groupes étaient au même niveau. Après avoir utilisé la plateforme numérique pour la modélisation en vue de gérer les conceptions, l'écart du taux de réussite entre le groupe témoin et le groupe expérimental s'est creusé de 73,3% (80%-6,7%) en faveur du groupe expérimental.

Graphique 21: Borne supérieure et inférieure des notes des différents tests en Terminale D du Lycée de Mouko



Source : post-test auprès des élèves de Terminales D du Lycée Mouko, Février 2021

Ce graphique compare les bornes inférieures et supérieures des notes des élèves des différents groupes (Témoin et Expérimental) en Terminale D du Lycée de Mouko avant et après l'expérimentation. On observe dans ce graphique que lors du pré-test les bornes supérieures et inférieures dans les deux groupes étaient presque similaires. Mais après l'expérience de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique, les bornes supérieures et inférieures du groupe expérimental ont considérablement augmenté. Alors que celles du groupe témoin sont restées constantes.

3.2.4. Récapitulatif des résultats des bornes supérieures et inférieures des Terminale D après modélisation via la plateforme numérique

Tableau 53: Comparaison des résultats des évaluations avant et après modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique en Terminale D des lycées de Biyem-Assi et Mouko

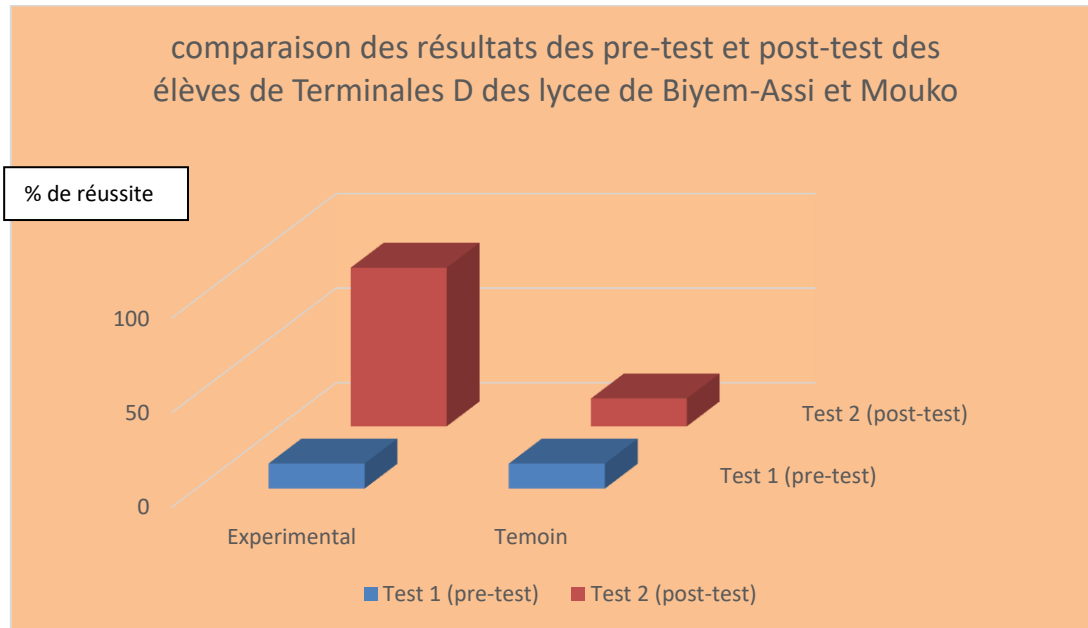
Groupe	Groupe expérimental des Tle D des lycées de Biyem-Assi et Mouko		Groupe témoin des Tle D des Lycées de Biyem-Assi et de Mouko	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Nbr élèves évalués	68	68	68	68
Nbr de Notes>10	09	57	09	10
% de réussite	13,2%	83,8%	13,2%	14,7%
Note/20 Borne supérieur	13,5	19	13,75	13
Note/20 Borne inférieur	01,5	07,5	02,00	02,00

Source : post-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Ce tableau comparatif représente le récapitulatif des résultats des évaluations des différentes Terminales avant et après la modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique. Le constat ici est que, le nombre de notes supérieures à 10/20 dans le groupe témoin a très légèrement augmenté après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique (test 2). Le nombre de moyennes supérieures ou égales à 10/20 est passé de neuf (9) sur soixante-huit (68) lors du pré-test à dix (10) sur soixante-huit lors du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique dans le groupe expérimental. Pour un pourcentage de réussite de 13,2% dans le pré-test à 14,7 % dans le post-test. Les bornes supérieures et inférieures sont restées presque stables. En ce qui concerne les bornes supérieures elles sont respectivement de 13,75/20 pour le pré-test et 13/20 pour le post-test. Ce qui est de la borne inférieure, elle est restée constante, à savoir 02/20 entre le pré-test et le post-test après séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique dans le groupe expérimental.

Dans le groupe expérimental par contre, il y'a eu augmentation du nombre d'élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 entre le pré-test et le post test après la phase expérimentale par le groupe expérimental. On est passé de neuf (9) élèves au pré-test ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 à cinquante-sept (57). Soit un pourcentage de réussite qui est passé de 13,2% au pré-test à 83,8% au post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique. Dans ce même groupe expérimental, la plus grande moyenne lors de l'évaluation est passée de 13,5/20 lors du pré-test à 19/ 20 lors du post-test après la séance de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique. La plus petite note lors de l'évaluation est passée de 01,5/20 lors du pré-test à 07,5/ 20 lors du post-test. Les résultats des élèves du groupe témoin et ceux du groupe expérimental qui semblaient identiques lors du pré-test (test 1) ont connu une nette différence lors du post-test (test 2). Lors du pré-test, le groupe témoin et le groupe expérimental avaient respectivement chacun neuf (9) élèves ayant eu des notes supérieures ou égales à 10/20, ce qui faisait un pourcentage de réussite de 13,2% dans chaque groupe. Tandis que le taux de réussite du groupe témoin est presque resté stable entre le pré-test et le post-test, le pourcentage de réussite du groupe expérimental par contre a considérablement évolué du pré-test au post-test.

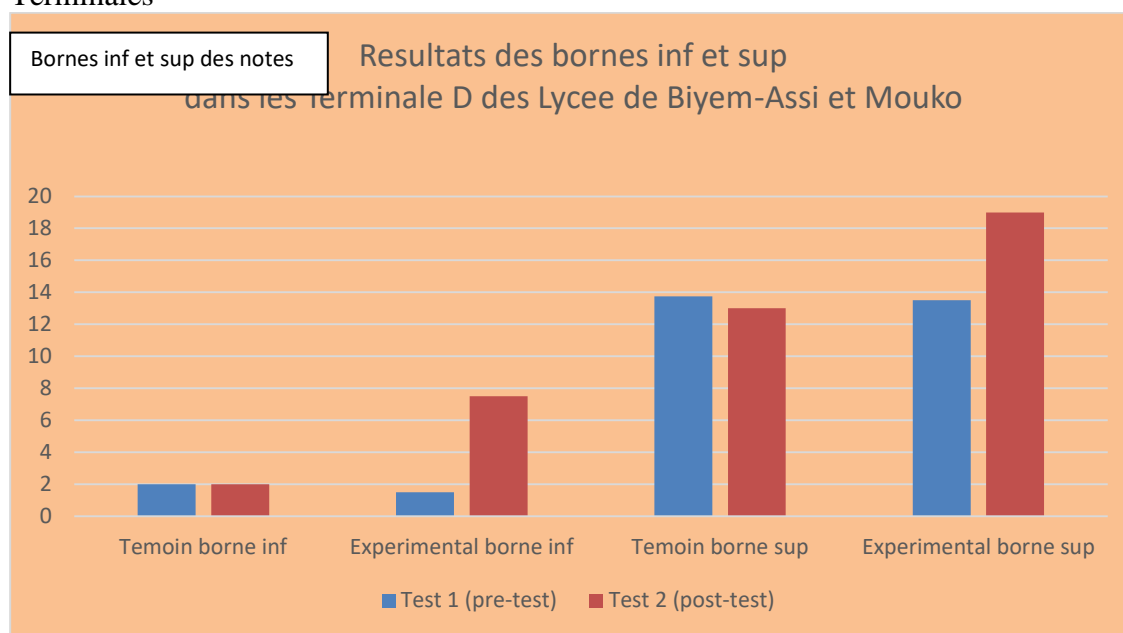
Graphique 22 : Résultat des Terminales D des lycées Biyem-Assi et de Mouko après modélisation via la plateforme numérique



Source : post-test auprès des élèves de Terminales D du Lycée de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Ce graphique présente le grand écart qui s'est creusé en termes de résultat entre le groupe témoin et le groupe expérimental après modélisation de l'information génétique par le biais de la plateforme numérique GENEDIDACT. Lors du pré-test les élèves des deux groupes étaient au même niveau. Après avoir utilisé la plateforme numérique pour la modélisation en vue de gérer les conceptions, l'écart du taux de réussite entre les groupes témoin et expérimental s'est creusé en faveur du groupe expérimental de 69,1%.

Graphique 23: Bornes supérieure et inférieure des notes des différents tests dans les Terminales



Source : post-test auprès des élèves de Terminales D du Lycée de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Ce graphique compare les bornes inférieures et supérieures des notes des élèves des différents groupes (Témoin et Expérimental) des Terminales D avant et après l'expérimentation. On observe dans ce graphique que lors du pré-test les bornes supérieures et inférieures dans les deux groupes étaient similaires. Mais après l'expérience de modélisation de l'information génétique via la plateforme numérique, les bornes supérieures et inférieures du groupe expérimental ont considérablement augmenté. Alors que celles du groupe témoin sont restées constantes.

Tableau 54: Distribution des notes du post-test par ordre décroissant après modélisation via la plate-forme numérique dans les groupes

	EXPERIMENTAL		TEMOIN	
	Test 1	Test 2	Test 2	Test 2
1	13,5	19	13,75	13,75
2	12,5	18	12,7	13,75
3	12	18	12	13,5
4	11,5	17,25	11,75	12
5	11	17	11	12
6	10,75	17	10,5	11,75
7	10	16,75	10	11,5
8	09,75	16,5	09,75	10
9	09,75	16,5	09,5	10
10	09,5	16,5	09,5	09,5
11	09,5	16,5	09,5	09,5
12	09,5	16,25	09,5	09,5
13	09	16	09	09,5
14	08,75	16	09	09,5

15	08,75	15	08,5	09
16	08,5	15	08,5	08,75
17	08,5	14,5	08,25	08,5
18	08	14,5	08	08,5
19	08	14,25	08	08,5
20	07,75	14,25	07,5	08,5
21	07,5	14	07,5	08,5
22	07,5	14	07,5	08,25
23	07,25	14	07,5	08
24	07	13,75	06,75	08
25	06,75	13,75	06,75	08
26	06,5	13	06,5	07,75
27	06	13	06	07,5
28	06	12,5	06	07,5
29	06	12	06	07,5
30	05,75	12	05,75	07,5
31	05,75	12	05,75	07,5
32	05,75	11,75	05,5	07
33	05,5	11,75	05,5	07
34	05,5	11,25	05,5	06,75
35	05,5	11,25	05,5	06,75
36	05,25	11	05,5	06,5
37	05,25	11	05,25	06,5
38	05	10,75	05	06
39	05	10,5	05	06
40	05	10,5	05	06
41	04,5	10	04,75	05,75
42	04,5	10	04,5	05,5
43	04,5	10	04,5	05,5
44	04	10	04,5	04,25
45	04	10	04	04
46	04	10	04	03,75
47	04	10	04	03,75
48	03,75	09	03,75	03,5
49	03,75	09	03,5	03,5
50	03,5	09	03,5	03
51	03	08,75	03,5	03
52	03	08,5	03	03
53	02,5	08,5	03	02
1	11,5	17	11,5	12
2	10	15	11	09
3	09	14	08,75	09
4	08	13,5	08	08,5
5	08	13,5	08	08,5
6	07,5	12,5	07,75	07,5
7	06,5	12	07,5	07,5
8	06,5	12	06	07,5
9	06	11,5	06	06
10	05	11	05,5	06
11	04	10	04,5	05,5
12	03,5	10	03,75	05,5
13	03,25	08,5	03	05,25
14	02	08	03	04
15	01,5	07,5	02,5	02

Source : post-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Après les phases de modélisation via la plate-forme numérique de prise en compte des conceptions dans le groupe expérimental, les notes dans le groupe-témoin varient entre 02/20 et 12/20 au lycée de Mouko, et entre 02/20 et 13,75/20 au Lycée de Biyem-Assi. Dans le groupe expérimental, la situation est plus reluisante car les scores varient entre 07,5/20 et 17/20 au Lycée de Mouko et entre 08,5/20 et 19/20 à Biyem-Assi. Cette situation s'explique par le fait que les apprenants du groupe expérimental ont été évalués après le passage de la phase expérimentale de modélisation via la plate-forme numérique de prise en compte des conceptions. Par conséquent, l'analyse des moyennes et des écarts-types (tableau 44) montre que les scores au post-test après modélisation via la plate-forme numérique de prise en compte des conceptions des élèves dans le groupe expérimental sont sensiblement élevés, par contre ces scores sont assez faibles dans le groupe-témoin ou de contrôle.

Tableau 55: Comparaison des moyennes au post-test des groupes au Lycée de Biyem-Assi après modélisation via le dispositif didactique de modélisation

Nombre d'observations : 53			
Variabes	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance
GROUPE DE CONTRÔLE	0,17	0,05	[0,07 ; 0,27]
GROUPE EXPERIMENTAL	0,89	0,04	[0,80 ; 0,97]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0		Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,00

Source : post-test auprès des élèves des Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Le tableau ci-dessus présente le test de proportion portant sur les élèves des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi. Il en ressort qu'après la mise en place du dispositif didactique de modélisation de la transmission de l'information génétique, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental est supérieur à celle dans le groupe témoin, soit 89% contre 17%. Ce résultat est confirmé par le test de proportion. En effet, la p-value est de $0,00 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %.

Tableau 56: Comparaison des moyennes au post-test des groupes au Lycée de Mouko après modélisation via le dispositif didactique de modélisation

Nombre d'observations : 15			
Variabes	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance
GROUPE DE CONTRÔLE	0,07	0,06	[-0,06 ; 0,19]
GROUPE EXPERIMENTAL	0,80	0,10	[0,60 ; 1,00]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0		Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,00

Source : post-test auprès des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko, Février 2021

Le tableau ci-dessus présente le test de proportion portant sur les élèves des Terminales D du lycée de Mouko. Il en ressort qu'après la mise en place du dispositif didactique de modélisation de la transmission de l'information génétique, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental est supérieure à celle dans le groupe témoin, 80% contre 7%. En effet, la p-value est de $0,00 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %.

Confirmation de l'hypothèse 2 :

Tableau 57: Comparaison des moyennes au post-test des groupes des Lycées de Biyem-Assi et Mouko après modélisation via le dispositif didactique de modélisation

Nombre d'observations : 68			
Variables	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance
GROUPE DE CONTRÔLE	0,15	0,04	[0,06 ; 0,23]
GROUPE EXPERIMENTAL	0,88	0,04	[0,79 ; 0,95]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0		Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,00

Source: post-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Le tableau ci-dessus présente le test de proportion portant sur les élèves des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi et ceux de Terminale D du lycée de Mouko. Il en ressort qu'après la mise en place du dispositif didactique de modélisation de la transmission de l'information génétique, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental, est supérieure à celle dans le groupe témoin, soit 88% contre 15%. Ce résultat est confirmé par le test de proportion. En effet, la p-value est de $0,00 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %. Donc l'hypothèse H2 est vérifiée. L'élaboration et l'implémentation du dispositif didactique de modélisation de la transmission de l'information génétique pourrait participer à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique en Terminale D.

Tableau 58: Comparaison des moyennes au post-test des groupes au Lycée de Biyem-Assi après la prise en compte des conceptions des élèves via la plate-forme numérique

Nombre d'observations : 53			
Variables	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance
GROUPE DE CONTRÔLE	0,17	0,05	[0,07 ; 0,27]
GROUPE EXPERIMENTAL	0,89	0,04	[0,80 ; 0,97]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0		Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,00

Source: post-test auprès des élèves des Terminales D2 et D4 du Lycée de Biyem-Assi, Février 2021

Le tableau ci-dessus présente le test de proportion portant sur les élèves des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi. Il en ressort qu'après la prise en compte des conceptions des élèves en génétique humaine via le numérique, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental est supérieure à celle dans le groupe témoin, soit 89% contre 17%. Ce résultat est confirmé par le test de proportion. En effet, la p-value est de $0,00 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %.

Tableau 59: Comparaison des moyennes au post-test des groupes au Lycée de Mouko après la prise en compte des conceptions des élèves via la plate-forme numérique

Nombre d'observations : 15			
Variabes	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance
GROUPE DE CONTRÔLE	0,07	0,06	[-0,06 ; 0,19]
GROUPE EXPERIMENTAL	0,80	0,10	[0,60 ; 1,00]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0		Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,00

Source : post-test auprès des élèves de Terminale D du Lycée de Mouko, Février 2021

Le tableau ci-dessus présente le test de proportion portant sur les élèves des Terminales D du lycée de Mouko. Il en ressort qu'après la prise en compte des conceptions des élèves en génétique humaine via le numérique, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental est supérieure à celle dans le groupe témoin, 80% contre 7%. En effet, la p-value est de $0,00 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %.

Confirmation de l'hypothèse 3 :

Tableau 60: Comparaison des moyennes au post-test des groupes des deux Lycées après la prise en compte des conceptions des élèves via la plate-forme numérique.

Nombre d'observations : 68			
Variabes	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance
GROUPE DE CONTRÔLE	0,15	0,04	[0,06 ; 0,23]
GROUPE EXPERIMENTAL	0,88	0,04	[0,79 ; 0,95]
Ho : diff=prop(0)-prop(1)=0		Ha : diff<0	Pr(Z<z)=0,00

Source : post-test auprès des élèves des Terminales D des Lycées de Biyem-Assi et Mouko, Février 2021

Le tableau ci-dessus présente le test de proportion portant sur les élèves des Terminales D2 et D4 du lycée de Biyem-Assi et ceux de Terminale D du lycée de Mouko. Il en ressort qu'après la prise en compte des conceptions des élèves en génétique humaine via

le numérique, la proportion des élèves ayant eu une note supérieure à 10 dans le groupe expérimental est supérieure à celle dans le groupe témoin, soit 88% contre 15%. Ce résultat est confirmé par le test de proportion. En effet, la p-value est de $0,00 < 0,05$ donc l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 5 %. Donc l'hypothèse H3 est vérifiée. L'élaboration et l'implémentation du dispositif numérique de prise en compte des conceptions pourraient participer à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique en Terminale D.

Conclusion du chapitre 7

Dans ce chapitre il était question de dresser un bilan global et détaillé des expérimentations réalisées dans le cadre de cette étude. L'objet était de montrer la pertinence des dispositifs d'enseignement sur l'évolution des conceptions des élèves en génétique. À cet effet, nous avons analysé dans un premier temps l'utilisation et la mise en œuvre des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions en génétique dans les groupes témoin et expérimental

Dans un second temps, il était question d'évaluer l'apport des dispositifs d'enseignement. À partir des analyses descriptives des résultats des différents tests de comparaison des moyennes, nous avons vérifié les différentes hypothèses de recherche formulées. Ces analyses, ont permis d'aboutir à la conclusion selon laquelle l'usage des dispositifs d'enseignement numériques et non-numérique de prise en compte des conceptions en génétique réduit les difficultés des élèves en génétique. L'analyse statistique des résultats des groupes témoins et expérimental permet de conclure que l'utilisation des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves favorise la compréhension des problématiques liées à l'enseignement de la génétique. Cette démarche d'enseignement via ces dispositifs s'appuie sur l'association d'une approche de modélisation numérique et non-numérique. Afin de confirmer ces résultats, il est important de les confronter à la littérature existante et aux cadres théoriques déjà établi sur les dispositifs d'enseignement de modélisation numérique et non numérique de prise en compte des conceptions en génétique.

CHAPITRE VIII :

DISCUSSION ET INTERPRÉTATION DES RESULTATS

La discussion est une « partie d'un rapport de recherche où on évalue et commente les résultats de ses observations et de ses analyses. Elle émet s'il y a lieu les réserves méthodologiques qui s'imposent » (Lenoir, 1995, p.32). L'optique visée est notamment de préciser la contribution de l'étude à l'avancement des connaissances, d'identifier les failles ou les réserves méthodologiques et de suggérer la direction à suivre pour compléter la recherche ou en entreprendre d'autres » (Lefrançois, 1991, p. 54). L'interprétation est l'« action d'attribuer un sens, une explication à des résultats d'observation ou d'analyse. L'interprétation a une connotation plus subjective, intuitive ou personnelle que l'explication » (Lefrançois, 1991, p. 105). Après avoir présenté les productions des apprenants, ainsi que leurs performances lors des différents tests d'apprentissage, nous avons procédé à la vérification des différentes hypothèses formulées. Ces hypothèses ont été confirmées à partir d'une confrontation statistique des performances des groupes témoin et expérimental au pré- test et au post-test. Il ressort clairement que l'usage des dispositifs d'enseignement numérique et non-numériques élaborés en génétique fondée sur la prise en compte des conceptions des élèves de Terminale D, réduit considérablement leurs difficultés. Au vu de la pertinence de ces résultats, il serait judicieux de les confronter au cadre théorique et épistémologique liées à l'élaboration des dispositifs d'enseignement de génétique.

Dans ce chapitre, il est question de confronter les résultats obtenus lors de l'élaboration et l'implémentation des dispositifs numérique et non-numérique de génétique et ceux obtenus lors de l'enseignement ordinaire. Le but de cette confrontation sera d'aboutir à une formalisation de l'utilisation des dispositifs d'enseignement numérique et non-numérique de génétique en vue de faire évoluer les conceptions des élèves et diminuer leurs difficultés. Ce chapitre sera structuré autour de trois points à savoir l'interprétation des résultats, la discussion de ces résultats et enfin les perspectives.

1. Interprétation des principaux résultats

Cette recherche menée dans le cadre d'une thèse en didactique de la biologie et spécifiquement dans le champ de la prise en compte des conceptions par le biais des dispositifs d'enseignement. Il s'est agi d'analyser l'apport de l'élaboration et de l'implémentation des dispositifs d'enseignement dans la prise en compte des conceptions des élèves en génétique. De plus, elle a questionné la nécessité de l'articulation d'une approche numérique et non-numérique de l'ingénierie didactique basée sur la prise en compte des conceptions des élèves en génétique en classe de Terminale D.

Avant d'aborder l'interprétation et la discussion des résultats obtenus au terme de la recherche, il est important de faire un bref rappel sur les aspects conceptuels, théoriques et méthodologiques qui ont guidé cette étude. La présentation du schéma général de la recherche s'articulera autour de quatre principaux points à savoir la problématique, le cadre conceptuel et théorique, l'approche méthodologique et les principaux résultats. La finalité de cette présentation sera de confronter les postures épistémologiques, théoriques et méthodologiques adoptées dans le cadre de la recherche à celles des travaux déjà menés dans le cadre de la didactique de la biologie en général et dans le cadre des recherches sur les dispositifs d'enseignement de la génétique en particulier.

La problématique se rapporte à l'élaboration et à l'implémentation du dispositif d'enseignement de génétique en vue d'éradiquer les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique. Elle est donc formulée de la façon suivante : **Quel dispositif d'enseignement élaborer et implémenter pour pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ?**

À partir de cette problématique, nous avons formulé une hypothèse principale qui se situe autour du lien de causalité qui existe entre l'élaboration et l'implémentation des dispositifs d'enseignement appropriés comme instrument d'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine. L'élaboration et l'implémentation de ces dispositifs contribuent à la mise en place d'une démarche expérientielle qui favorise l'éradication des difficultés d'apprentissage liées à leurs conceptions en génétique humaine.

Étant donné que cette recherche se situe dans l'axe épistémologique et praxéologique de la didactique, elle a été associée à la théorie de l'intervention éducative de Yves de Lenoir et la théorie des situations didactiques formalisée par Guy Brousseau (1978 ; 1982). La théorie de l'intervention éducative propose un cadre de référence pour la conception du dispositif d'enseignement favorisant une médiation pédagogique et didactique indispensable pour l'apprentissage. En outre, la démarche de l'enseignant en situation de classe est associée à cette théorie à travers le MIE 4 qui regroupe trois phases à savoir : l'investigation spontanée, la structuration régulée et l'investigation structurée. En ce concerne la démarche didactique mobilisée, elle est fondée sur la démarche des « 4i » qui consiste à apprendre la génétique à partir des pratiques de modélisation non-numérique et numérique.

Ce cadre de référence a permis de concevoir et expérimenter des dispositifs d'enseignement non-numérique et numérique de génétique favorisant l'éradication des conceptions des élèves liées à leurs conceptions en génétique. Afin d'opérationnaliser cette recherche, une méthodologie particulière a été adoptée.

Intégrée dans le champ de l'innovation pédagogique entre le numérique et le non-numérique dans l'enseignement de la génétique, la méthodologie de cette recherche est fondée sur l'ingénierie didactique et la posture de praticien-chercheur. Il s'agit d'une méthodologie caractérisée par une analyse à priori et à posteriori, un paradigme de validation interne à travers une comparaison statistique des performances dans le groupe-témoin et le groupe expérimental. Aussi, la posture adoptée consiste-t-elle à articuler la recherche entre le champ de la pratique professionnelle et de la recherche en didactique de la biologie. Le corpus de données est constitué des enregistrements vidéo-scopiques des séances didactiques, des questionnaires soumis aux enseignants et apprenants ainsi que des tests d'apprentissage. À partir de la méthodologie rappelée ci haut, les différentes hypothèses de notre recherche ont été vérifiées et nous avons pu dégager plusieurs conclusions. Ces conclusions portent sur l'élaboration et l'implémentation des dispositifs numériques et non-numériques en situation de classe de génétique en particulier et leur impact sur l'évolution des conceptions des apprenants en génétique. À partir des étapes de prise en compte des conceptions des élèves via les différents dispositifs élaborés et implémentés, les apprenants ont été exposés à différents modèles de transmission de l'information génétique. Il s'agit d'une modélisation des formes chromosomiques dans la transmission des caractères héréditaires chez les individus drépanocytaires, albinos et mongoliens en provenance de parents phénotypiquement

sains. À l'issue de l'expérimentation, les apprenants ont été soumis à un test d'apprentissage qui a démontré une évolution des performances entre le pré-test et les post- tests.

La comparaison statistique des performances des élèves au pré-test et aux post-tests dans le groupe-témoin et dans le groupe expérimental témoigne de l'apport significatif des dispositifs de modélisation non-numérique et numérique dans l'évolution des conceptions des élèves et l'éradication de leurs difficultés d'apprentissage en génétique humaine en classe de Terminale D. Ces trois résultats nous ont amené à conclure que l'élaboration et l'implémentation des dispositifs d'enseignement appropriés en génétique font évoluer considérablement les conceptions des élèves en éradiquant leurs difficultés dans l'apprentissage. Dans cette recherche, nous avons montré l'apport de ces dispositifs dans l'amélioration des performances scolaires des élèves de Terminale D en situation de classe de génétique. Le but de cette section sera d'interpréter les résultats de la sortie expérimentale présentée dans la suite de notre travail.

1.1 Interprétation des résultats de l'hypothèse spécifique 1

Dans cette étude, un dispositif didactique non-numérique de prise en compte des conceptions en génétique a été expérimenté auprès des apprenants de la classe de Terminale D. Ainsi, l'élaboration et l'usage d'un dispositif d'enseignement non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves pallient les difficultés d'enseignement liées à leurs conceptions en classe de génétique de Terminale D. En effet, ce dispositif fait évoluer les conceptions des élèves de Terminale D en génétique en réduisant considérablement leurs difficultés d'apprentissage.

1.1.1. Interprétation des résultats des pré-tests de l'expérience du dispositif non numérique de prise en compte des conceptions

Le dispositif non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves élaboré et expérimenté auprès des apprenants de la classe de Terminale D, favorise l'évolution des conceptions des élèves en génétique en palliant leurs difficultés d'apprentissage.

En Terminale D au lycée de Biyem-Assi, sur les 52 élèves évalués lors de ce pré-test, seulement six (6) élèves ont obtenus des notes supérieures ou égales à 10/20. Nous avons réparti ces six élèves de manière homogène dans les deux groupes à savoir trois (3) dans le groupe témoin et trois (3) dans le groupe expérimental. Les notes des élèves dans les deux groupes (témoin et expérimental) épousent une similarité avant la phase expérimentale de la

prise en compte des conceptions. On retrouve au total huit élèves dans le groupe classe ayant eu des notes inférieures à 04/20 lors du pré-test. Ceux-ci ont été répartis dans les deux groupes de manières équitables, à savoir quatre (4) dans le groupe témoin et quatre (4) dans le groupe expérimental. Dix (10) élèves ont obtenu des notes dans l'intervalle [4-6[dans le groupe classe. Ils ont été répartis de manière homogène dans les deux groupes à savoir cinq (5) dans le groupe témoin et cinq (5) dans le groupe expérimental. Dans ce même pré-test, quinze élèves ont obtenu des notes dans l'intervalle [6-8[. Ils ont été répartis dans les groupes témoin et expérimental respectivement sept (7) et huit (8) dans ces différents sous-groupes. Treize (13) élèves dans le groupe classe ont obtenu des notes dans l'intervalle [8-10[à savoir six (6) dans le groupe expérimental et sept (7) dans le groupe témoin. Les notes obtenues lors du pré-test sont une preuve que la compréhension des élèves de Terminale D en génétique est médiocre. Seul six (6) élèves sur les 52 élèves du groupe classe ont obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20, pour un pourcentage de réussite de 11,5% autant dans le groupe témoin que dans le groupe expérimental. Cette médiocre performance des élèves de Terminale D lors du pré-test, peut s'expliquer par le fait que les élèves éprouvent des difficultés en génétique liées à leurs différentes conceptions. En d'autres termes, la mauvaise performance des élèves de Terminale D lors du pré-test s'explique par le fait que leurs conceptions font blocage à l'apprentissage comme le relève Rumelhard. Pour lui, « il existe plusieurs conceptions du gène et de l'information génétique qui s'enchevêtrent » (Rumelhard, 1986 p. 42-44). Il relève que les conceptions en génétique amènent les élèves à éprouver des difficultés à s'approprier le savoir. Ces mauvais résultats lors du pré-test s'expliquent aussi à travers les travaux de Astolfi et Peterfalvi (1993) qui stipulent que c'est par le biais de la prise en compte des conceptions des élèves que les enseignants pourront faire apparaître des conflits cognitifs chez ces derniers et détecter les nœuds ou encore des difficultés qui permettront de visualiser l'objectif à atteindre. Pour ces auteurs, les conceptions ne s'opposent pas aux objectifs, bien au contraire, puisqu'elles représentent « le cœur même de l'objectif à atteindre » (Astolfi, Peterfalvi, 1993, p. 106)

1.1.2. Interprétation des résultats du post-test de l'expérience du dispositif non-numérique

Dans cette étude, un dispositif didactique non-numérique de prise en compte des conceptions en génétique a été expérimenté auprès des apprenants de la classe de Terminale D. Ainsi, l'élaboration et l'usage d'un dispositif d'enseignement non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves passent par les trois étapes à savoir : émergence des

conceptions, destruction des conceptions erronées et construction du savoir scientifique ou institutionnalisation.

a. Interprétation des résultats des tests après l'émergence des conceptions

Après la réalisation de la première expérience dans le groupe expérimental, une évaluation a eu lieu dans le groupe classe, incluant les élèves du groupe témoin et ceux du groupe expérimental. Entre le pré-test et l'expérimentation d'émergence des conceptions des élèves, il y'a une nette augmentation du nombre d'élèves ayant obtenu des notes supérieures ou égales à 10/20 dans le groupe expérimental. Dans le groupe témoin par contre, une augmentation n'a pas été observée. Les résultats des élèves du groupe témoin et ceux du groupe expérimental qui semblaient identiques lors du pré-test ont connu une nette différence lors du post-test après émergence des conceptions des élèves en faveur du groupe expérimental.

L'augmentation du pourcentage de réussite dans le groupe expérimental est liée au fait que l'émergence des différentes conceptions des élèves a corrigé les conceptions de ces derniers et nettement amélioré leurs performances des élèves en génétique. Ces résultats viennent répondre aux attentes de Giordan. La façon la plus courante pour Giordan (1996) de prendre en compte les conceptions, question d'améliorer le niveau des élèves est de créer le conflit cognitif en faisant tout d'abord émerger en début de séquence de cours les conceptions des apprenants. Car pour Giordan, l'émergence des conceptions des élèves, améliore le rendement scolaire. Les résultats ci-dessous de ces travaux répondent eux aussi aux hypothèses de recherche des travaux d'Astolfi et Peterfalvi (1993). Pour ces imminents chercheurs, c'est par la prise en compte des conceptions des élèves que les enseignants peuvent faire apparaître des conflits cognitifs qui permettront après avoir fait émerger les conceptions des élèves, de voir plus clair l'objectif à atteindre. Ainsi, il ne serait pas possible pour ces conceptions de s'opposer à ces objectifs, bien au contraire, on assistera nécessairement à la situation inverse, puisque ces conceptions représentent le « cœur même de l'objectif à atteindre » (Astolfi, Peterfalvi, 1993, p.106).

Le dispositif non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves dans sa première étape d'émergence des conceptions des apprenants de la classe de Terminale D, favorise l'évolution des conceptions des élèves en génétique en palliant à leurs difficultés d'apprentissage.

b. Interprétation des résultats des tests après destruction des conceptions erronées.

La deuxième séance d'expérimentation concerne la séance de déconstruction des conceptions erronées. Après déconstruction des conceptions erronées chez les élèves du groupe expérimental, les élèves du groupe classe à savoir, ceux du groupe expérimental et ceux du groupe témoin ont été soumis à une évaluation (test 3).

L'amélioration des résultats dans le groupe expérimental après la phase de déconstruction des conceptions erronées est atteinte. Ceci prouve la déconstruction des conceptions erronées corrige les difficultés d'apprentissage chez les élèves. Ces résultats viennent rejoindre ceux de De Vecchi et Carmona-Magnaldi. Le résultat de leurs travaux montre l'importance d'amener les élèves à prendre conscience de l'existence de leurs conceptions, mais aussi de celles de leurs pairs dans la réduction des difficultés d'apprentissage. Dans leurs travaux, ils relèvent que cette étape peut s'accompagner d'une confrontation entre élèves en vue de faciliter et favoriser la remise en cause de leurs conceptions par eux même, dans un temps ultérieur. Les différents travaux de De Vecchi et Carmona-Magnaldi soulignent que la déconstruction des conceptions erronées par le biais du conflit cognitif permet aux élèves d'expliquer la réalité. Cette phase d'expérimentation donne l'occasion aux apprenants d'entrer en contact avec le savoir réel. En ces termes, leurs travaux établissent le lien entre la déconstruction des conceptions erronées et l'amélioration des rendements scolaires. De Vecchi et Carmona-Magnaldi (1996) parlent alors de “ déconstruction ” des conceptions erronées des élèves qui réduit les difficultés d'apprentissage en améliorant les performances scolaires.

Nos résultats s'alignent sur les travaux d'Altolfi et Peterfalvi. Ces derniers précisent en effet que pour améliorer cet outil (prise en compte des conceptions), il ne suffit pas seulement de faire ressortir les conceptions des élèves en début de séquence de cours (émergence des conceptions). Il est nécessaire de les transformer, de les faire évoluer par le conflit cognitif. Pour Astolfi et Peterfalvi, ce conflit cognitif passe par la déconstruction des conceptions erronées qui est un facteur d'accession au savoir. C'est donc pour ces chercheurs une étape qui permet d'éradiquer les difficultés d'apprentissage.

c. Interprétation des résultats des tests après construction du savoir scientifique

Après construction du savoir scientifique et prise en compte totale des conceptions chez les élèves du groupe expérimental, les élèves du groupe classe (groupes témoin et expérimental) ont été soumis à une évaluation (test 4).

Au vu de ces résultats, on peut constater que le véritable problème des élèves était lié à la présence des conceptions erronées entraînant les difficultés d'apprentissage. Après une prise en compte complète des conceptions des élèves en génétique, on se rend compte que la totalité des élèves obtiennent la moyenne lors de l'évaluation. Nos résultats confirment donc ceux de Vosniadou (2002) pour qui, le dispositif de prise en compte des conceptions des élèves consiste en une assimilation du nouveau savoir aux structures existantes favorisant la réussite scolaire.

La théorie du « changement conceptuel » propose de faire passer une conception d'un état primitif à un état plus évolué et plus abstrait Johsua & Dupin (1999). Cette transformation ou changement conceptuel, pour Di Sessa (2002), consiste au passage d'un savoir fragmenté à un savoir structuré. Les résultats de notre étude viennent rejoindre ceux de Laugier et Lefevre ainsi que ceux de Di Sessa et ceux Vosniadou. Nous nous rendons compte que la construction du savoir scientifique est l'étape ultime du dispositif de prise en compte des élèves. Terminer cette étape signifie avoir amorcé le processus de prise en compte des conceptions des élèves.

Les résultats de nos travaux rejoignent ceux de De Vecchi et Carmona-Magnaldi (1996) qui dans leurs travaux, soulignent dans un dernier temps, qu'il s'agit pour l'enseignant de permettre aux élèves de construire un nouveau savoir (construction du savoir scientifique) ; afin de booster l'apprentissage chez ces derniers. Pour ces auteurs, il est clair que si l'étape de construction du savoir scientifique (dernière étape de prise en compte des conceptions des élèves) booste l'apprentissage, par conséquent, elle réduit les difficultés d'apprentissage en améliorant considérablement les résultats scolaires comme ce fut le cas dans nos travaux.

1.2 Interprétation des résultats de l'hypothèse spécifique 2

La deuxième hypothèse spécifique de cette recherche stipule que le travail de modélisation de la transmission de l'information génétique participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D. A partir de l'analyse des données du pré-test et du post- test, cette hypothèse a été vérifiée. Finalement, quel est le statut des simulations des pratiques de modélisation aux regards des expérimentations en génétique et quels sont les enjeux qui en découlent dans l'étude de la transmission de l'information génétique ?

1.2.1 Les pratiques de modélisation : une démarche de biologie expérimentale

Comme, nous l'avons mentionné dans la présentation de nos différents résultats, la simulation des pratiques de classe de génétique par le biais de la modélisation favorise l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D.

En effet, les travaux de modélisation qui sont des relations matérielles et idéelles que l'apprenant établit avec l'environnement numérique sont des éléments majeurs pour l'apprentissage. Ils sont une attraction importante pour les élèves, ils les motivent et les incitent à étudier les sciences (White, 1996). En effet, la construction d'un parcours de modélisation permet de confronter les élèves à l'apprentissage des phénomènes génétiques.

Pour Hibou et Py, (2006), l'enseignement de la génétique en milieu scolaire devrait s'appuyer sur les savoirs d'expérience acquis par les élèves sur la visualisation des phénomènes génétiques, soit par le biais de la modélisation ou dans l'expérimentation en atelier pratique. En outre, dans l'élaboration des dispositifs d'enseignement, l'établissement d'un modèle de l'élève, représentant un état de connaissance à un moment précis dans une situation précise est possible grâce à une panoplie d'informations. Soulignons que ces informations peuvent être de nature psychologique, comportementale et cognitive (Hibou et Py, 2006). Étant donné que nous considérons dans nos travaux, la modélisation comme un dispositif d'enseignement nécessaire pour pallier les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique, nous dirons que le dispositif de modélisation est

Considéré comme l'ensemble des processus de mise à jour du modèle de l'élève, il s'effectue à plusieurs niveaux : au niveau comportemental, il s'agit de traiter le comportement de l'apprenant et ses produits, mais non l'état mental qui l'a généré ; au niveau épistémique, il s'agit de traiter l'état des connaissances de l'apprenant ; au niveau stratégique, on s'intéresse aux buts et aux intentions (Hibou et Py, 2006, p.103).

Aussi, les pratiques de modélisation, qu'elles soient *in situ* ou via le digital sont-elle un dispositif didactique de prise en compte des conceptions des élèves qui contribue à un apprentissage de la génétique selon une approche expérimentale à partir de la confrontation des élèves aux pratiques de modélisation. C'est dans cet ordre d'idées que White (1996) démontre que les travaux de modélisation ont pour rôle majeur de permettre aux élèves de mener des activités pratiques tout en leur donnant de lier la théorie au réel.

1.2.2 Les travaux de modélisation comme dispositif efficace de prise en compte des conceptions en génétique

Les résultats obtenus dans l'hypothèse spécifique 2 trouvent leur fondement dans l'approche des Situations Didactiques proposée par Brousseau (1982). Selon d'Ham (2009), l'élaboration de protocoles de modélisation aide les élèves à mobiliser leurs connaissances en faisant le lien entre le registre expérimental et le registre empirique.

Le travail de modélisation permet de décrire chacune des actions de l'expérience à réaliser en vue de répondre au problème posé. Il suit un canevas général, qui pour la plupart du temps est élaboré à partir d'hypothèses de résolution du problème formulées par les apprenants en situation de classe de génétique. Le travail de modélisation généré va notamment dépendre du matériel présent lors de sa phase de réalisation. L'élaboration du travail de modélisation est une tâche qui allie réflexion et implémentation pour la construction du savoir scientifique en génétique en procédant à l'évolution des conceptions des élèves. Selon d'Ham (2009) et Girault et al, (2010), les travaux de modélisation sont exécutables. C'est-à-dire que l'organisation des actions définies et le protocole font l'objet d'une structuration qui respecte les contraintes tant temporelles que matérielles des travaux pratiques. Ils contribuent à faire évoluer les conceptions des élèves vers la construction du savoir scientifique en génétique (d'Ham ; 2009). Le protocole expérimental par le biais de la modélisation est communicable. Il prend un aspect facilement lisible, car adapté au niveau de l'exécutant, vu qu'il contient les types d'informations adaptés (Girault et al ; 2010),

De plus, l'usage du dispositif de modélisation comme outil de simulation des pratiques d'enseignement en génétique est lié à la prise en compte des conceptions des élèves en génétique et favorise l'évolution des conceptions des élèves en réduisant leurs difficultés d'apprentissage. Pour Marzin & Vries (2008), l'élaboration d'une expérience de modélisation permet aux élèves de mobiliser leurs conceptions et leurs connaissances en réalisant une activité scientifique. Elle conduit selon d'Ham (2009) à la fiabilité des connaissances construites en génétique par le biais du contrôle de l'exactitude des résultats obtenus (reproductibilité et justesse). Le dispositif de modélisation utilise l'usage des simulations digitales et virtuelles dans l'enseignement de la génétique (transmission de l'information génétique). Son usage favorise l'éducation à la citoyenneté numérique qui s'appuie sur les pratiques expérimentales via le numérique

et les formes d'expérimentation que peuvent développer les élèves en l'absence des salles de classe et de laboratoires physiques de génétique. Nos travaux rejoignent ceux de d'Ham (2009) et ceux de Marzin & Vries (2008), car ils vont mettre en évidence l'apport de la modélisation à la résorption des difficultés dans l'apprentissage et à l'évolution des conceptions des apprenants.

1.3 Interprétation des résultats de l'hypothèse spécifique 3

Dans cette étude, un dispositif didactique numérique de prise en compte des conceptions en génétique a été expérimenté auprès des apprenants de la classe de Terminale D. Ainsi, l'élaboration et l'usage d'un dispositif d'enseignement numérique de prise en compte des conceptions des élèves pallient les difficultés d'enseignement liées à leurs conceptions en classe de génétique de Terminale D. En effet, ce dispositif fait évoluer les conceptions des élèves de Terminale D en génétique en réduisant considérablement leurs difficultés à s'approprier le savoir scientifique.

Signalons ici que ce dispositif par le biais du digital propose une interface intuitive adéquate pour l'évolution des conceptions des élèves en génétique en classe de Terminale D. Bien que cette immersion dans le numérique ne laisse pas les élèves totalement libres dans ses productions écrites et graphique, elle leur transmet tout de même des stimuli sensoriels provenant du virtuel vers le réel (de l'ordinateur à l'apprenant) favorisant l'intérêt des élèves et l'évolution de leurs conceptions vers le savoir scientifique en génétique. Ainsi, le dispositif numérique se présente comme un dispositif de médiation entre le monde virtuel et l'apprenant. Il offre à celui-ci une interface innovante pour l'évolution de ses conceptions vers la construction du savoir scientifique en passant par l'émergence de ces conceptions et par la déconstruction des conceptions erronées.

Sur le plan didactique, ce dispositif numérique permet une médiation pédagogico-didactique favorisant une compréhension de la transmission de l'information génétique. Le dispositif didactique numérique fondé sur les dimensions didactiques (rapport au savoir, rapport aux savoirs et rapport de savoir en génétique) et psycho-pédagogiques (rapport à l'élève et aux élèves). La médiation pédagogico-didactique met en place des conditions d'apprentissage basées sur l'exposition sensorielle de l'élève aux informations liées à la génétique à partir du dispositif d'enseignement via le numérique. De plus, ce résultat s'inscrit dans le cadre du MIE 4 fondé sur la prise en compte des conceptions des élèves de Terminale D en situation de classe de génétique. Elle comporte une investigation spontanée

correspondant à la description et à la prise en compte des conceptions des élèves en génétique à partir du dispositif d'enseignement numérique. En conclusion, l'élaboration et l'usage du dispositif d'enseignement numérique éradique les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique en situation de classe de Terminale D. Ce dispositif d'enseignement numérique de génétique propose aux apprenants une interface virtuelle, des images et des phénomènes génétiques interactifs et contribuant ainsi à une exposition sensorielle qui favorise la prise en compte des conceptions des élèves de Terminale D en génétique.

1.3.1 Le dispositif d'enseignement numérique de génétique : un dispositif d'émergence et de déconstruction des conceptions erronées

Afin d'opérationnaliser notre dispositif numérique en situation de classe de génétique, un manuel d'utilisation du dit dispositif a été conçu et proposé aux apprenants pendant son implémentation. Il s'agit d'un support didactique qui permet à l'enseignant de fixer le contrat qui permettra à l'apprenant de parcourir le dispositif et de traduire sous forme textuelle et graphique ses conceptions initiales. De plus, cette prise en compte des conceptions des élèves en génétique via le dispositif d'enseignement numérique favorise une description de l'information génétique sur le vif à partir d'un ensemble d'informations recueillies et enregistrées de façon *virtuelle*. En situation d'enseignement-apprentissage, ce dispositif d'enseignement numérique de prise en compte des conceptions en génétique, joue un rôle important dans l'évolution des conceptions en génétique et dans la production et l'acquisition du savoir en génétique dans la mesure où l'apprenant matérialise de manière textuelle et graphique ses conceptions sur la transmission de l'information génétique. On peut conclure avec Gelman & Wellmann (1992) que les dispositifs d'enseignement numérique contribuent à la construction du savoir scientifique en génétique et en hérédité. Il faudrait qu'à chaque contenu, un dispositif adéquat soit utilisé pour l'émergence et la destruction des conceptions erronées. Ce dispositif d'enseignement numérique favorise la mise en place d'une activité sensorielle virtuelle pendant la manipulation du numérique fondée sur l'identification des sources, des phénomènes de la transmission génétique, la reconnaissance et la matérialisation de ces phénomènes et l'appréciation qualitative des phénomènes génétiques. C'est dans ce sens que De Vecchi et Carmona-Magnaldi (1996) stipulent que l'enseignement via le numérique permet aux élèves de construire un nouveau savoir (construction du savoir scientifique), en boostant l'apprentissage chez ces derniers. Pour ces auteurs, il est clair que si le dispositif numérique booste l'apprentissage et la construction du savoir scientifique, par

conséquent, il réduit les difficultés d'apprentissage en améliorant considérablement les résultats scolaires comme ce fut le cas dans nos travaux

1.3.2 La fiche du protocole d'utilisation du dispositif numérique : un dispositif d'apprentissage de la génétique

Afin d'opérationnaliser notre dispositif en situation de classe, une fiche du protocole d'utilisation du dispositif numérique a été conçue et soumise aux apprenants pendant l'implémentation du dispositif d'enseignement numérique. Il s'agit d'un support didactique qui aide les élèves à traduire sous forme écrite et graphique leurs conceptions en génétique. De plus, elle favorise une description des phénomènes de transmission de l'information génétique via le digital à partir d'un ensemble d'informations recueillies et enregistrés de façon virtuelle. En situation d'enseignement-apprentissage, ce dispositif joue un rôle important dans la production et l'acquisition du savoir en génétique dans la mesure où il aide l'élève à matérialiser par écrit et sous forme graphique ses conceptions. Il guide autant dans les modes d'utilisation du dispositif que dans la construction du savoir scientifique en génétique. On peut conclure avec Milar (2004) que la fiche de protocole en travaux pratique est un dispositif ayant pour objectif de faire manipuler les élèves. Elle aide aussi à apprendre une notion et à construire le savoir scientifique en faisant évoluer leurs conceptions. Cette fiche renvoie aux activités d'enseignement et apprentissage qui permettent aux élèves d'observer et manipuler des matériels et des objets réels (Millar, 2004). C'est dans ce sens que Dahmani, (2009, p.25) affirme que ce dispositif est

Une représentation graphique composée de signes iconiques (analogie de la réalité), de signes plastiques (couleur, forme, composition...) et la plupart du temps, de signes linguistiques (légendaire, titres...). Dans ce cas l'image peut simplement servir à répéter le texte (c'est la fonction d'illustration), ou le compléter (complémentarité), ou développer également des significations différentes (relation de distanciation) (Ibid, p.25).

Ce dispositif numérique d'enseignement de la génétique sert de base de données pour le questionnement des modalités de réception et appréciation des phénomènes génétiques pour une évolution des conceptions des élèves vers la construction du savoir scientifique. C'est dans ce sens que Mercier, (1998) propose une approche plus concrète du dispositif en le considérant comme le résultat virtuel, d'un travail d'ingénierie qui envisage les outils instrumentaux et sémiotiques. Il considère le dispositif dans le cadre de notre dispositif numérique comme le résultat virtuel d'un travail d'ingénierie qui prévoit sa mise à la disposition des élèves pour que le rapport de ces derniers au monde devienne source d'apprentissage Ibid (1998).

Ainsi, l'implémentation du dispositif d'enseignement numérique en situation de classe de Terminale D contribue efficacement à l'étude des problématiques liées à la transmission de l'information génétique à travers une diminution des difficultés d'apprentissage (Houdé, 2004 ; Potvin, 2011 ; Masson, 2012). En outre, elle favorise la collecte d'une série d'informations sur les phénomènes génétiques à partir des conceptions et du milieu d'apprentissage virtuel. Bref, l'immersion des apprenants dans le dispositif d'enseignement numérique contribue au développement des compétences et savoirs dans la transmission de l'information génétique à partir d'une navigation dans cet espace numérique d'apprentissage et de prise en compte des conceptions des élèves en génétique (Weisser, 2010). Cette navigation dans le dispositif numérique de prise en compte des conceptions repose sur une activité d'apprentissage virtuelle permettant aux élèves de mieux appréhender le phénomène de transmission de l'information génétique et permettant de pallier les difficultés d'apprentissage en faisant évoluer efficacement leurs conceptions en génétique. Grâce à ses fonctionnalités digitales, le dispositif d'enseignement numérique se présente comme une alternative aux dispositifs d'enseignement classique et non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves en génétique *in situ*. Il permet à l'élève de vivre une expérience numérique virtuelle dans le monde artificiel à travers les interfaces digitales du système virtuel du dispositif d'enseignement numérique, qui est un milieu favorable d'apprentissage pour pallier les difficultés d'apprentissage et faire évoluer efficacement les conceptions des élèves en génétique.

2 Discussion sur la théorisation d'une approche de la prise en compte des conceptions en génétique

Dans cette section, il est question de mettre en évidence les résultats théoriques en rapport avec les résultats obtenus dans cette recherche. C'est une phase de confrontation des résultats obtenus avec le cadre théorique et empirique présenté dans cette recherche. L'objectif de cette partie étant de montrer la validité des résultats de la recherche. Nous allons à cet effet, nous allons nous attarder sur les dispositifs d'enseignement mobilisés, les méthodes utilisées et les impacts sur l'apprentissage de la biologie et de la génétique en particulier.

2.1. Discussion sur les dispositifs d'enseignement dans la prise en compte des conceptions des élèves en génétique

Dans cette recherche, l'élaboration et l'usage des dispositifs d'enseignement de génétique contribuent à pallier les difficultés d'apprentissage et à faire évoluer leurs conceptions vers le savoir scientifique. L'analyse des données issues de l'expérimentation

a témoigné de l'amélioration des performances dans la description des phénomènes liés à la transmission de l'information génétique en particulier et à la description des phénomènes génétique de manière générale. En effet, les dispositifs numériques et non-numériques utilisés dans le cadre de l'enseignement de la transmission de l'information génétique pourraient être utilisés comme dispositif d'immersion dans le cadre des enseignements conventionnels. Mercier (1998) considère le dispositif d'enseignement comme le résultat virtuel, d'un travail d'ingénierie qui envisage les outils instrumentaux ou sémiotiques et allie les objets symboliques et matériels, se trouvant continuellement au service d'une intention éducative. Étant le résultat virtuel d'un travail d'ingénierie, il prévoit la mise à la disposition des élèves pour que son rapport au monde devienne source d'apprentissage en faisant évoluer les conceptions des élèves vers un savoir scientifique.

En effet lorsqu'on découvre l'environnement proche des dispositifs d'enseignement selon Weisser (2010), il en ressort que les dispositifs d'enseignements implémentés sont des dispositifs instrumentaux à portée didactique et pédagogique. Ils contribuent à la prise en charge des élèves en difficulté par les assistants d'éducation spécifiques à une discipline. Ils apparaissent comme aides aux devoirs, entretiens individualisés entre enseignant et élève, ateliers méthodologiques. Ils sont des dispositifs transversaux aidant à faire évoluer les conceptions des élèves vers la construction du savoir disciplinaire (Weisser ;2010). Il s'agit d'un environnement d'enseignement physique ou virtuel où les élèves en difficultés d'apprentissage réussissent à surmonter leurs difficultés en construisant le savoir scientifique. Pour Goffman, les milieux numériques et non-numériques sont des milieux construits pour l'apprentissage où interviennent élèves et tuteurs de manière massive dans leurs composantes socioculturelles. Ces dispositifs d'enseignement sont des « frames », considérées comme des cadres d'une expérience, des « sous-univers » dans lesquels nous vivons, (Goffman, 1974, p.12), délimités dans un cadre expérimental, tenant un rôle pertinent pour une activité d'enseignement et évoluant vers la construction du savoir disciplinaire (Goffman, 1974).

En outre, Bernier (2002) relève que les dispositifs d'enseignement possèdent des dimensions à savoir la dimension conventionnelle d'enseignement, la dimension d'enseignement via le numérique et la modélisation des objets sub-micro enseignés par le biais d'un protocole expérimental et d'un protocole d'interaction. Le numérique et la modélisation ont pour finalité la mise en place d'un environnement virtuel favorisant l'immersion à partir des interfaces graphiques et visuelles telles que l'écran qui jouent le

rôle de médiateur entre les apprenants et le contenu d'enseignement. Ils disposent d'interfaces intuitives favorisant la modélisation des objets biologiques et cellulaires afin de mieux se rapprocher du réel. Par conséquent, ces dispositifs d'enseignement ont pour fonction de déconstruire les conceptions erronées pour laisser place à la construction du savoir scientifique disciplinaire (Bernier ; 2002).

Les dispositifs d'enseignement de génétique jouent des rôles médiateurs dans la construction scientifique du réel : comme modes de représentation permettant d'approcher le réel de multiples manières (travail de mise en représentation) et comme modes de traitement permettant d'opérer sur la réalité, à d'autres niveaux, à d'autres échelles et selon d'autres points de vue que ceux auxquels l'imagination ne nous permet pas d'accéder. C'est parce qu'ils mettent le réel en représentation qu'ils peuvent mettre le sujet en action et lui apporter les instruments nécessaires à la construction du savoir en génétique. Bernier (2002) rejoint Rumelhard qui se base sur la structure matérielle du gène, pour la réalisation des dispositifs de modélisation. Il considère qu'un dispositif de prise en compte des conceptions en génétique doit répondre à deux actions : les actions d'exploration et d'interrogation. Ces actions permettent à l'élève en situation de classe d'interagir avec les outils qu'il a à sa disposition pour la résolution d'un problème. C'est dans cette logique qu'il stipule que « on crée une image matérielle, un "modèle concret" et non pas un modèle opératoire qui permettrait de penser une expérience » en vue de faire évoluer les conceptions en génétique vers le savoir scientifique (Rumelhard, 1986, p. 41-42), ce qui sous-entend que pour comprendre les concepts de gène et d'information génétique, il faut s'appuyer sur la théorie de l'information. Ces différentes recherches confirment donc les résultats obtenus dans cette étude montrant le potentiel indéniable des dispositifs d'enseignement numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions pour la mise en place d'un enseignement résolvant les difficultés d'apprentissage des élèves. Ces recherches renforcent la garanti de ces dispositifs quant à l'évolution les conceptions vers la construction du savoir scientifique. À cette potentialité des dispositifs appropriés de prise en compte des conceptions des élèves en génétique, est associée la fonction de simulation des phénomènes de transmission de l'information génétique indispensable pour une modélisation et une expérimentation en situation de classe de génétique.

Les dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves en génétique visent à immerger les apprenants dans un environnement propice de modélisation tant numérique que non numérique afin de gérer leurs difficultés

d'apprentissage et faire évoluer leurs conceptions vers le savoir scientifique en génétique. C'est dans ce sens qu'Astolfi et Peterfalvi (1993), considèrent les conceptions comme des connaissances acquises de la vie quotidienne et faisant l'objet d'une présence inédite. D'où la nécessité d'en tenir compte au cours de l'élaboration des dispositifs d'enseignement pour une prise en compte efficace en vue de renverser les obstacles s'opposant à la construction et à l'acquisition du savoir scientifique. D'après Laugier et Lefèvre (1993), les conceptions peuvent influencer l'interprétation de l'apprenant au cours d'un enseignement. Elles peuvent aussi influencer son observation face à des situations expérimentales au cours d'un travail scientifique, d'où l'intérêt de l'élaboration d'un dispositif d'enseignement de gestion efficace de ces conceptions à partir de l'expérimentation (Astolfi et Peterfalvi ;1993). Pour conclure, les dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves en génétique sont des protocoles d'enseignement dont l'objectif est de faire apparaître des conflits cognitifs après avoir fait émerger les conceptions et avant de procéder à leur déconstruction. Astolfi parle d'ailleurs de « travail intellectuel critique ». Il parle de « désorganiser » (Astolfi, 1992), « déconstruire » les conceptions existantes pour construire en lieu et place des connaissances nouvelles et scientifiquement acceptables. Pour Astolfi et Peterfalvi (1993), la transformation du système de conceptions initiales de l'élève en un système de concepts scientifiques demande d'effectuer un travail de construction et d'installation de nouvelles conceptions ou savoirs scientifiques, mais également un travail de déconstruction des conceptions erronées à partir d'un dispositif d'immersion et de prise en compte efficace de ces conceptions.

Ce dispositif doit nécessiter un travail de renoncement qui ne doit pas représenter une menace pour l'acquisition des connaissances chez l'apprenant. Selon Rumelhard, « faire apparaître les conceptions spontanées n'est qu'une étape (...), il faut aussi tenter de les déconstruire » (Rumelhard, 1985, p.61). Les résultats de nos travaux corroborent ceux de Astolfi et Peterfalvi (1993), en ce sens que nos différents dispositifs élaborés et implémentés ont réussi à déconstruire au cours des séquences d'enseignement les conceptions erronées et les ont profondément déstabilisées en les faisant évoluer vers le savoir scientifique. Pour Paccaud (1991), les dispositifs de prise en compte des conceptions sont censés faire évoluer les conceptions vers le savoir scientifique. Néanmoins certains chercheurs ne semblent pas totalement d'accord avec ces résultats. Pour une minorité de chercheurs, l'écran de l'ordinateur dans les dispositifs numériques ne contribue pas à une immersion totale du regard de l'apprenant et ce dernier est souvent distrait par son

environnement immédiat. En outre, Garcia-Debanc et Laurent (2003), montrent que les dispositifs d'enseignement numériques sont loin d'être un instrument efficace d'évolution des conceptions, car plongeant l'élève dans le virtuel au détriment du réel. Ils se limitent à deux sens à savoir la vue et l'ouïe lors de l'expérimentation. Ainsi l'expérimentation doit être adaptée à une découverte du milieu biologique d'une manière quasi phénoménologique par le sens, la vue, l'ouïe et le toucher. Partant, les perceptions de l'expérimentation en biologie sont limitées aux perceptions visuelles et sonores dans le cadre des dispositifs de prise en compte des conceptions numérique et de modélisation (Garcia-Debanc et Laurent ; 2003). D'où l'intérêt pour l'enseignant en situation de classe numérique de veiller à empêcher que les élèves soient distraits.

Giordan (1996) par contre met en avant le grand nombre d'erreurs ou d'idées fausses qui reviennent régulièrement chez les élèves en dépit de la mise en place d'un dispositif d'enseignement adéquat de prise en compte des conceptions. Pour lui, il n'existe pas de dispositif adéquat pour une prise en compte d'une efficacité 100%.

2.2. Discussion sur la méthodologie mobilisée en salle de classe

L'immersion des élèves de Terminale D dans l'environnement d'enseignement de la génétique au travers des dispositifs adéquats de prise en compte des conceptions des élèves se déroule pendant des périodes précises. Ces activités de prise en compte des conceptions des élèves doivent permettre aux apprenants de construire un savoir scientifique. Ils doivent redécouvrir le phénomène de transmission de l'information génétique chez des individus possédant des tares héréditaires en provenance des parents sains. Ce travail a nécessité le découpage des papiers pour la modélisation des chromosomes pour le dispositif non-numérique de prise en compte des conceptions et une exploration de la transmission de l'information génétique via le virtuel pour le dispositif numérique et de modélisation. Ces activités sur les plans réel et virtuel ont permis aux élèves de vivre une expérimentation. Mais ce temps relativement court de 45 minutes de manipulation environ ne favorise pas une véritable collecte des informations à partir des perceptions visuelles. Par conséquent, plusieurs informations liées au sujet d'étude de génétique n'ont pas pu être collectées par les élèves. C'est pour cela que Balacheff (1995) propose de laisser davantage de temps aux apprenants afin qu'ils puissent mieux formaliser leurs conceptions, les déconstruire par le biais du conflit cognitif. Selon l'auteur,

L'efficacité d'une augmentation de la durée de formalisation des conceptions est très discutable tant cette phase permet d'exprimer un ensemble de problèmes et d'opérateurs et de

demande un effort de concentration important en vue de construire un savoir réel. Il serait plus judicieux de laisser davantage de temps aux enfants pour élaborer des représentations graphiques qu'ils complèteront avec les représentations textuelles (Balacheff, 1995, p.224).

Il propose une méthode de prise en compte des conceptions d'une durée d'au moins deux heures afin d'amener les apprenants à s'imprégner suffisamment du savoir génétique mis en jeu et de produire des comptes rendus de la réalité virtuelle telle qu'elle se présente à eux. La méthodologie utilisée pour faire évoluer les conceptions des élèves vers le savoir en génétique dans cette recherche est celle de la modélisation des phénomènes génétique à l'instar de la transmission de l'information génétique par le biais des dispositifs non-numérique et numérique de prise en compte des conceptions des élèves. En réalité c'est une méthode adaptée aux approches expérimentale et numérique

En réalité, pour construire un EIAH en génétique, on a besoin de la collaboration des chercheurs informaticiens et didacticiens en biologie, car l'apport de chaque maillon est important lors de la conception de EIAH (Luengo, Vadcard & Balacheff, 2006). Pour ces chercheurs,

L'analyse didactique peut jouer un rôle fondamental dans la conception des différents supports informatiques. Une méthode est d'envisager la conception de l'environnement à partir de l'analyse didactique, en classe, du domaine (Luengo, Vadcard & Balacheff, 2006, p.53).

Pour que la compréhension et la cohérence soient mise en œuvre entre les différents agents des différents domaines, il est nécessaire que dans ce travail collaboratif entre différents chercheurs chacun ait connaissance des outils, méthodes et concepts manipulés par les autres (Grandbastien, 2006). Il conclut son étude en affirmant que cette méthodologie favorise les perceptions sur l'expérimentation des phénomènes de génétique ainsi qu'une prise en compte efficace des conceptions des apprenants.

Ducharme Geneviève (2017) propose une méthode couplée de modélisation et d'expérimentation de prise en compte des élèves basée sur un parcours effectif afin d'avoir des informations sur le vif. Cette méthode est accompagnée de graphiques et de dessins illustratifs. Elle permet aux élèves de s'exprimer de manière simultanée par les graphiques, les dessins et par les textes afin de prendre en compte la modélisation dans la construction du savoir scientifique en génétique. Cependant, la démarche non-numérique ne favorise pas toujours une meilleure construction du savoir dans la mesure où l'élève éprouve des difficultés à se représenter les niveaux symboliques, sub-micro et moléculaires (Venville & Tregust ; 1998). Il faudrait noter que les perceptions visuelles des éléments biologiques et cellulaires sont parfois difficiles à exprimer et à représenter par les apprenants. Ils ne

disposent pas d'un champ lexical approprié pour reproduire les phénomènes génétiques qu'ils ont entendus dans le cadre des explications de classe. Cette difficulté rend difficile l'articulation du savoir savant aux savoirs enseignés de la génétique.

Afin de résoudre ce problème, Bahar ; Johnstone & Hansell, (1999) proposent des dispositifs d'enseignement adéquats pour l'organisation de ces différents niveaux selon la perception visuelle que possède les élèves, ainsi que le degré d'abstraction, qu'ils doivent adopter pour travailler sur tous les niveaux : sur les niveaux Symbolique, Sub-micro et Macro, (Bahar, Johnstone & Hansell, 1999).

Ce sont des dispositifs qui favorisent « l'articulation de différents savoirs, le savoir expert de l'enseignant (la génétique raisonnée), les savoirs d'expérience des élèves et de l'enseignant (la génétique spontanée) ». Bref, les dispositifs que proposent Bahar, Johnstone & Hansell, (1999), permettraient une prise en compte adéquate des conceptions des élèves sur la transmission de l'information génétique en faisant appel aux perceptions visuelles, au vécu des apprenants ainsi qu'aux observations des caractères morphologiques, des choses vivantes dans la construction du savoir en génétique. Travailler avec les élèves par le biais des dispositifs de prise en compte de leurs conceptions et au travers d'une approche numérique et non-numérique, contribue à l'évolution des conceptions des élèves et au développement des savoirs en génétique. Ces dispositifs font appel aux dimensions symboliques, microscopique, macroscopique et idéale du monde vivant (Duncan et Reiser, 2007)

2.3. Discussion sur les théories mobilisées dans l'étude

Sur le plan théorique, cette étude repose sur la théorie de l'intervention éducative de Lenoir (2009), la Théorie des Situations Didactiques de Brousseau (Brousseau, 1982), et la théorie adossée sur la conception dialogique du langage de Bakhtine, (1984). Ces trois assises théoriques ont été les points d'ancrage de la conception et de l'expérimentation des dispositifs didactique de prise en compte des conceptions des élèves en génétique. Il est question dans cette partie d'analyser l'efficacité ou les limites de ces théories.

En ce qui concerne la théorie de l'intervention éducative de Lenoir (2009), elle a été mobilisée pour concevoir un environnement médiateur favorisant la prise en compte des conceptions des élèves en situation de classe de génétique en Terminale D et l'évolution de ces conceptions vers la construction du savoir scientifique. De plus, le MIE4 caractérisé par l'investigation spontanée, la structuration régulée et l'investigation structurée, a permis de mettre en place une démarche expérimentale de la biologie/génétique fondée sur l'association

entre la génétique théorique et la génétique expérimentale. Ainsi cette théorie s'est présentée comme un cadre de référence idéal pour opérationnaliser notre étude. En effet, Lenoir (2009) montre que l'intervention éducative en raison de la médiation pédagogique-didactique, renvoie à des actions où l'enseignant construit un environnement médiateur à travers un dispositif d'enseignement adéquat pour faciliter l'apprentissage des élèves et pour remédier à leurs difficultés d'apprentissage. Comme dans le cadre de cette étude, l'auteur montre que la prise en compte des représentations, des conceptions et des perceptions des apprenants dans le processus d'enseignement apprentissage est l'une des meilleures stratégies de construction des connaissances scientifiques. Il propose dans le MIE4 une démarche d'apprentissage qui part d'une investigation spontanée pour une structuration régulée. Dans le même ordre d'idée, Nkeck Bidias (2015) montre la place de cette théorie sur la conception des dispositifs didactiques pour l'enseignement des sciences relative à l'éducation et à l'environnement dans les ENIEG au Cameroun.

En résumé, l'intervention éducative a été mobilisée dans cette recherche comme cadre théorique de mise en place des dispositifs d'enseignement procéduraux et instrumentaux. Étant donné que ladite recherche vise à montrer l'importance de la médiation pédagogique-didactique dans l'apprentissage de la génétique à travers la conception d'un dispositif d'enseignement médiateur favorable à la mise en place des protocoles de modélisation des éléments et phénomènes biologiques et génétique à l'échelle moléculaire, microscopique et macroscopique.

Cette approche de modélisation numérique et non-numérique des dispositifs d'enseignement repose sur la théorie des situations didactiques de Brousseau (1982). En ce qui concerne l'apprentissage de la transmission de l'information génétique et selon une démarche biologique, il était question de proposer une démarche qui prend en compte les perceptions visuelles et le vécu des apprenants en situation d'expérimentation et de modélisation des éléments et des phénomènes génétiques. La théorie des situations didactique a été la mieux adaptée pour le diagnostic des conceptions des élèves en situation de classe de génétique. La présence de cette activité a nécessité de faire le diagnostic de conceptions avec des élèves de Terminale D. Ce diagnostic par le biais des situations didactiques a eu une influence positive sur nos résultats à travers les verbes d'action utilisés pour modifier l'information génétique puisque cette activité concernait la transition de l'information génétique. Les bases principales et les théories de cette démarche sont l'immersion, l'interaction, l'institutionnalisation et l'implémentation. Enfin, cette théorie est

d'un apport significatif dans l'élaboration de notre situation didactique. À cet effet, Balacheff (2005) affirme que

L'implémentation d'un diagnostic automatique permettrait aussi d'obtenir les conceptions des élèves à partir de l'ensemble de leurs productions. Ainsi le diagnostic s'appuie sur une analyse préalable des conceptions (Balacheff ; 2005 ; p125).

La mise en place d'un tel diagnostic automatique à travers la situation didactique a permis des révolutions sur des dispositifs d'enseignement numérique telles que la possibilité d'orienter l'élève vers le protocole correspondant au niveau de l'idée développée dans le graphique et issue du texte des idées. Elle a permis aux enseignants de partir de la génétique spontanée des apprenants pour les amener à construire des savoirs génétiques et à développer leur capacité à modéliser et aussi à diagnostiquer les conceptions après avoir effectué un état des lieux de la transmission de l'information génétique, ainsi que les difficultés évoquées par l'enseignement de ce phénomène.

Dans le même ordre d'idée, Gwenda-Ella Chapel (2006) a obtenu des résultats similaires dans son étude sur la pratique de la modélisation dans l'enseignement de l'information génétique. Elle établit un lien entre la possibilité de modéliser une situation d'enseignement et les interactions entre la transmission du savoir, les conditions de transmission du savoir et les différents acteurs en jeu. Sa démarche renferme un ensemble de paramètres dont le regroupement permet la description et la modélisation d'une situation didactique à savoir : le contrat didactique, les variables didactiques et le milieu. Ces différents paramètres interviennent dans notre situation (Gwenda-Ella Chapel, 2006). À cet effet, Brousseau (1998) affirme que

Une situation didactique est une situation que l'enseignant ou le chercheur prennent la peine d'établir, bien que n'intervenant pas en tant qu'acteur. L'élève construit lui-même son savoir en se servant de la mise en œuvre d'une action spécifique répondant au problème (Brousseau, 1998, p132).

Gwenda-Ella Chapel, (2006) relève que l'enjeu est de diagnostiquer les conceptions des élèves sur les anomalies chromosomiques et les maladies génétiques d'une part et sur l'information génétique d'autre part.

En outre, elle montre que le milieu joue un rôle capital étant donné qu'il constitue la situation et lui donne la possibilité d'avoir un cadre et des limites. De plus, il fournit à l'élève une certaine adaptation par le biais des interactions en réponse à une ou plusieurs actions (Gwenda-Ella Chapel, 2006). Le milieu est générateur de déséquilibres, de difficultés et de contradictions pour l'élève dans l'apprentissage des constituants

microscopiques du vivant. Les rétroactions que génère le milieu sont des informations négatives ou positives renvoyées à l'apprenant en réponse à l'apprentissage des notions de chromosomes, de gènes, d'allèle et d'ADN qui sont des éléments participant à la transmission de l'information génétique. L'action de l'élève évolue grâce aux rétroactions. Le milieu d'apprentissage façonné par le dispositif d'enseignement de génétique n'émet pas uniquement les rétroactions, mais il permet aussi aux élèves d'obtenir un retour de leurs productions sur la transmission de l'information génétique en permettant en même temps de valider la procédure utilisée, indépendamment de l'intervention de l'enseignant dans ses dispositifs d'enseignement en situation de classe de génétique. Le milieu peut donc transiter de milieu d'évolution à milieu de validation étant donné, qu'il n'est plus uniquement générateur d'évolution des conceptions, mais aussi de validation du savoir acquis (Gwenda-Ella Chapel, 2006). À cet effet, Brousseau (1978) affirme que

Qu'importe la situation, les exigences du milieu permettent à l'élève de répondre au problème bien qu'elles correspondent aux choix de l'enseignant. En conclusion, la création, la mise en place et l'analyse d'une situation et de son milieu dépendent de l'influence existante entre l'élève et l'enseignant dans le contrat didactique (Guy Brousseau, 1978, p96).

Dans le partage des responsabilités que propose Guy Brousseau dans le contrat didactique, il circonscrit aussi les limites des responsabilités des uns et des autres en considérant le contrat didactique comme l'ensemble des obligations réciproques et des « sanctions » que chaque partie de la situation didactique prend en compte.

Balacheff (2005), considère que les dispositifs d'enseignement en didactique répondent à quatre types d'actions, dont les actions d'exploration et d'interrogation. Ces actions permettent à l'utilisateur (enseignant/élève) d'interagir avec les données à partir d'une interface utilisateur. Cette interface des dispositifs de modélisation numérique favorise la navigation et l'immersion du regard de l'élève dans un environnement numérique. Ces recherches confirment donc les résultats obtenus dans cette étude montrant le potentiel des dispositifs d'enseignement adéquats pour l'organisation de ces différents niveaux biologiques selon la perception visuelle que possède les élèves, ainsi que le degré d'abstraction, qu'ils doivent adopter pour travailler sur tous les niveaux qu'il est nécessaire de bien ressortir au travers des dispositifs d'enseignement adéquats de génétique. Il s'agit des niveaux : Symbolique, Sub-micro et Macro (Bahar, Johnstone & Hansell, 1999). À cette potentialité des dispositifs d'enseignement de génétique est associée la fonction de simulation des pratiques biologiques indispensables pour une expérimentation de ces différents niveaux. C'est un

protocole expérimental dont l'objectif est l'exposition sensorielle des apprenants en situation de classe de génétique à une image numérique à partir des interfaces visuelles.

Pour Balacheff (2005), les interfaces visuelles et interactives des dispositifs d'enseignement devraient favoriser l'immersion totale dans la modélisation ainsi que l'interaction entre ces dispositifs et l'utilisateur. Or l'écran de l'ordinateur pour les dispositifs d'enseignement ne contribue pas à une immersion totale dans l'expérimental. L'apprenant est souvent distrait par l'environnement numérique. En outre, Balacheff (2005) montre que les dispositifs d'enseignement sont plus adaptés à une découverte des phénomènes de transmission de l'information génétique, ce qui facilite la compréhension de la transmission de l'information génétique qui se fait par le biais des chromosomes porteur de l'ADN et des gènes dépositaires de l'information génétique.

L'une des théories qui a été choisie dans le cadre de nos travaux de manière implicite, mais incorporé dans la théorie de l'intervention éducative est le socioconstructivisme. Cette théorie est développée par l'école russe de psychologie et les travaux de Vygotsky (1896-1934). Le socioconstructivisme a fait l'objet de notre intérêt dans le cadre de nos travaux de recherche parce que l'élaboration et l'apprentissage insistent sur le rôle des différences créées entre les sujets apprenants et leur environnement d'apprentissage dans un processus actif leur permettant de développer des connaissances. Les dispositifs d'enseignement de génétique que nous avons implémenté prennent en compte le fait que les connaissances se construisent par l'apprenant « qui apprend mieux au contact des autres et en échangeant ses expériences avec les autres » (Legendre 2005, p 1245). C'est en quoi consistent nos travaux de recherche sur les conceptions et l'élaboration de dispositif d'enseignement. Nous essayons d'amener les apprenants à construire eux même leurs connaissances au travers de l'interaction avec leurs pairs.

Le modèle cK ϕ est présent tout au long de notre étude. Il n'a pas seulement été utilisé lors de la création de la situation didactique pour formaliser les connaissances en jeu, mais il a également été utilisé pour la création des grilles d'analyse des productions des élèves ainsi que lors de la modélisation des conceptions des élèves et de la construction de l'outil de diagnostic des conceptions. Le modèle cK ϕ a été créé pour la modélisation des conceptions lors de la résolution du problème. Il a été nécessaire de prendre en compte certaines contraintes pour le rendre applicable à notre situation et à la notion biologique étudiée.

L'application à notre situation a demandé une adaptation des paramètres du quadruplet à l'élaboration d'expérience et notamment de protocole. Dans notre situation, les dispositifs d'enseignement que nous avons créé à partir de ce modèle, nous ont permis d'identifier des actions (un verbe d'action agissant sur un objet biologique) comme étant des opérateurs du modèle.

Les systèmes de conceptions lors de la modélisation ont été assimilés au type de production : texte pour l'énoncé des idées, la légende et le protocole, et graphique pour le schéma. Enfin, les contrôles du modèle correspondent aux éléments de connaissances que les élèves donnent pour justifier l'expérience qu'ils ont choisi de réaliser, essentiellement dans l'énoncé des idées.

Utiliser ce modèle pour la réalisation de nos différents objectifs a permis également, que la modélisation des concepts avec lesquels nous avons travaillé, notamment la modification de l'information génétique, soit possible. Dans notre cas, la modélisation a été réalisable car la notion que nous avons choisie est une notion bien définie, qui ne fait pas appel à de nombreuses connaissances « à tiroir », qui ne sont pas imbriquées les unes dans les autres. Pour adapter le modèle cK ϕ à la notion biologique sur laquelle nous avons travaillé, nous avons modélisé toutes les connaissances liées à la notion en jeu dans le cadre de notre situation et de notre problème. Nous avons ainsi envisagé toutes les combinaisons possibles entre les verbes d'action et les objets biologiques dégagés de notre analyse du savoir. Pour que la modélisation de toutes ces combinaisons soit complète, principalement en ce qui concerne les contrôles, nous avons développé des actions et des conséquences qui ne sont pas, parfois, biologiquement ou éthiquement correctes ou irréalistes pour ces élèves.

Grâce au développement et à l'adaptation du modèle cK ϕ à notre situation et aux concepts biologiques, nous avons utilisé dans notre étude une optique de systématisation du diagnostic, même si cela a été fait par une personne humaine, le chercheur.

3. Pertinence dégagée par l'étude

Cette recherche vise à mieux comprendre l'impact de l'usage des dispositifs d'enseignement de génétique sur l'évolution des conceptions des élèves en situation de classe de Terminale D. Plusieurs types de données à la fois quantitatives et qualitatives ont été collectés à partir d'outils et de méthodes variées. L'analyse de ces dispositifs a abouti à la

conclusion selon laquelle l'élaboration et l'usage des dispositifs d'enseignement appropriés pallie les difficultés d'apprentissage des élèves liées à leurs conceptions en situation de classe de génétique en Terminale D. Dans cette partie, il sera question pour nous de présenter la pertinence dégagée par l'étude sur les plans curriculaire, pédagogique et didactique.

3.1 Pertinence sur le plan curriculaire

Les contenus liés à la génétique, ainsi que les démarches pédagogiques mobilisées dans l'étude de ces contenus didactiques découlent des prescriptions des différents programmes de biologie en vigueur. Les résultats découlant de l'enquête menée auprès des enseignants ainsi que ceux de l'analyse des différents programmes de biologie dans les Terminales scientifiques démontrent que les conceptions en génétique sont orientées vers une approche objective. De plus, les démarches mobilisées dans les dispositifs d'enseignement de ces contenus sont essentiellement théoriques, réalistes et verbales. Par conséquent, les activités d'enseignement-apprentissage sont centrées sur des savoirs intellectuels sous forme de récitation (Bahar, Johnstone & Hansell, 1999). Face à cette situation, cette étude s'est interrogée sur la nécessité d'une nouvelle appropriation des contenus des programmes en génétique ainsi que des démarches qui sont prescrites pour l'enseignement de ces contenus.

En effet, il n'est pas question de critiquer les contenus des programmes de génétique en classe de Terminale scientifique étant donné qu'ils offrent des passerelles pour un enseignement-apprentissage de la génétique selon une approche expérimentale. Il s'agit plutôt de renouveler le type de dispositif d'enseignement dans l'enseignement de la génétique qui est considérée comme une réalité matérielle qui s'offre à la vue et dont l'enseignement se limite à des approches livresques et énumératives. Cette réappropriation des phénomènes de transmission de l'information génétique est d'autant plus pertinente que l'approche pédagogique en vigueur dans l'enseignement de la génétique (APC) préconise une entrée par des situations de vie, explorant le quotidien et le milieu de vie de l'apprenant. Par conséquent, l'approche expérimentale fondée sur une démarche biologique et concernant notre sujet biologique sur la modification de l'information génétique permet la mise en œuvre et la réalisation d'expériences réelles ou par simulation par les élèves. En outre, cette étude permettra une meilleure structuration du cours de génétique dans le programme de la biologie, car elle permet par le biais des dispositifs d'enseignement élaborés de mettre à leur disposition un environnement pseudo- expérimental avec la proposition d'une liste d'éléments biologiques moléculaires et microscopiques utiles pour l'appropriation des

phénomènes génétiques par l'apprenant. Les élèves se retrouvent donc dans une situation où ils élaborent une expérience tout en sachant qu'ils ne vont pas la réaliser, comme c'est le cas d'une expérience de pensée.

3.2 Pertinence sur le plan pédagogique

La pertinence pédagogique de cette étude se rapporte spécifiquement à la formation professionnelle des enseignants de biologie à l'usage du digital et l'intégration des dispositifs d'enseignement numériques et non-numériques de prise en compte des conceptions des élèves en génétique, ainsi que l'intégration des approches expérientielles et virtuelles dans l'enseignement de la biologie en général et de la génétique en particulier. Les enquêtes de terrain nous ont révélé que la prise en compte des conceptions des élèves en biologie en général et en génétique en particulier est quasiment absentes dans les pratiques de classe. Les enseignants ne maîtrisent ni l'usage des dispositifs d'enseignement de modélisation via le numérique, ni l'usage des dispositifs d'enseignement de modélisation via le numérique de prise en compte des conceptions des élèves. De plus, la plupart de ces enseignements sont calqués sur une approche dite objective qui limite la construction des savoirs

Ainsi, cette étude pourrait constituer un matériau pour la formation initiale des enseignants dans les ENS et la formation continue lors des journées pédagogiques et lors des séminaires pédagogiques. À cet effet, la démarche proposée pourrait être intégrée dans des modules de formation sur l'élaboration des dispositifs d'enseignement de modélisation tant numérique que non-numérique dans l'enseignement de la biologie. Cette formation sur l'élaboration et l'usage de ces dispositifs d'enseignement sera intégrée dans un contexte marqué par la nécessité d'intégrer le digital dans les pratiques didactiques et dans l'enseignement de la biologie à partir des approches expérientielles et expérimentales. Ces formations pourront être d'un grand apport pour un renouvellement des pratiques d'enseignement de la biologie et des démarches d'étude des niveaux moléculaires et microscopiques du vivant et nécessitant une modélisation. Enfin, cette étude permet d'introduire de nouvelles approches et des innovations pédagogiques dans l'enseignement de la biologie qui a longtemps été marquée par des approches traditionalistes, objectives, livresques et énumératives. Elle propose une approche expérientielle et expérimentale à travers l'élaboration et l'usage des dispositifs d'enseignement numérique (virtuel) et non-numérique (réel) ainsi que les approches interdisciplinaires.

La modélisation que nous avons réalisée pourrait être transposée à d'autres domaines sous certaines conditions. Les conditions à mettre en œuvre pour développer un tuteur informatique s'appuyant sur cette modélisation sont à définir dans le prolongement de cette étude.

3.3 Pertinence sur le plan didactique

La didactique de la biologie est notre champ de recherche scientifique. Elle s'intéresse aux situations d'enseignement et au processus d'acquisition des savoirs biologique en général et des savoirs en génétique en particulier. Ainsi, la pertinence de cette recherche se situe à la fois dans les situations d'enseignement- apprentissage et dans le processus de construction des savoirs.

Au niveau de la conception et de l'élaboration des situations des dispositifs didactique, les résultats de cette recherche sont d'un grand apport dans le renouvellement des démarches d'enseignement, dans le renouvellement des dispositifs d'enseignement et celui des situations didactiques d'étude des thématiques dans la biologie scolaire de manière spécifique et dans les SVTEEHB de manière plus globale. Il est question de proposer une nouvelle démarche d'enseignement de la biologie à travers l'introduction progressive des dispositifs de modélisation numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves. Cette introduction contribuera à l'enseignement-apprentissage de la biologie à travers le numérique et le non-numérique. Ainsi la modélisation des phénomènes et des microparticules biologiques favoriserait la compréhension des phénomènes biologiques que l'apprenant développe dans son imagination.

L'analyse des conceptions issues de notre travail mène à des obstacles que les élèves auront à surmonter pour maîtriser la notion de modification de l'information génétique et savoir à réinvestir. Ce travail propose des remédiations, dans les perspectives, afin d'amener les élèves à dépasser les obstacles.

C'est dans ce sens que Astolfi (1992, p.103) affirme que Les dispositifs de prise en compte des conceptions des élèves ont pour but d'aider l'élève à remettre en cause les connaissances initiales. Ils doivent posséder l'étape de déconstruction des conceptions erronées, étape très importante où l'enseignant amène les élèves à prendre conscience du fait que leurs conceptions doivent être remises en question. Il doit donc créer un contexte favorable à cette remise en cause. On parle d'ailleurs de « travail intellectuel critique ». Il parle alors de « désorganiser » (...) « déconstruire » les conceptions existantes pour construire

en lieu et place les connaissances nouvelles par le biais d'un dispositif (Astolfi, 1992, p.103) comme l'expliquent Astolfi et Peterfalvi (1993). C'est dans la même lancée que Rumelhard (1985) affirme que la transformation par le dispositif de prise en compte des conceptions des élèves du système de conceptions initiales de l'élève en un système de concepts scientifiques demande « d'effectuer un travail de construction et d'installation de nouvelles conceptions ou savoir scientifique, mais également un travail de déconstruction des conceptions erronées » (Rumelhard, 1985, p.61). Ce travail est un travail de renoncement qui peut représenter une menace pour l'acquisition des connaissances chez l'apprenant. Selon Rumelhard, « faire apparaître les conceptions spontanées n'est qu'une étape (...), il faut aussi tenter de les déconstruire » (Ibid, 1985, p.61).

En bref, l'élaboration et l'usage du dispositif de prise en compte des conceptions des élèves en génétique comme dispositif d'enseignement de modélisation numérique et non-numérique pourrait apporter un souffle nouveau dans la conception des situations didactiques dans l'enseignement de la biologie. Pour ce qui est du processus de construction des savoirs biologiques, cette étude est une contribution à une théorisation de prise en compte des conceptions pour un apprentissage de la biologie selon une approche expérimentale. Les résultats découlant de l'expérimentation des dispositifs d'enseignement ont favorisé la formalisation d'une démarche d'apprentissage et de prise en compte des conceptions qui pourraient être intégrée dans l'enseignement de la biologie. Cette approche expérimentale et expérientielle favorise la construction du savoir biologique à partir d'une démarche de modélisation des microéléments et phénomènes biologique en rapport au monde vivant.

En conclusion, cette recherche qui s'inscrit dans le cadre de l'ingénierie didactique et de l'innovation pédagogique dans l'enseignement de la génétique en particulier et de la biologie et des SVTEEB en général, est d'une pertinence à la fois curriculaire, didactique et pédagogique. Elle questionne et analyse la nécessité de renouveler le processus de construction des savoirs biologiques qui a longtemps été axé sur le registre de la biologie raisonnée avec une quasi-absence de la prise en compte des conceptions des élèves. Or les théories des Situations Didactique et de l'intervention éducative à travers le MIE4 démontrent clairement que les conceptions, les perceptions et le vécu des apprenants sur les phénomènes génétiques et biologique doivent être le point de départ de la construction des savoirs par le biais de la modélisation à travers des dispositifs tant numérique que non-numérique. Il faudrait ajuster l'apprentissage de la biologie dans les démarches qui prennent en compte les dimensions moléculaires, micro et macro des éléments et phénomènes

biologique. Cette façon de faire la biologie repose plus sur les savoirs que sur l'expérience qui n'est accessible à partir d'une expérimentation et une modélisation des éléments et phénomènes non accessibles à l'œil nu par les élèves.

Cette étude repose donc sur une double approche celle d'enseigner « autrement » de développer des pratiques transversales comme l'usage des TICE. Selon Leininge-Frezal (2015, p.165), « enseigner autrement signifie rompre avec des pratiques jugées inefficaces et « traditionnelles » qui relèveraient d'une pédagogie transmissive, centrée sur les contenus et non sur les apprentissages. Le cours magistral (dialogué ou non) est l'exemple type des pratiques remises en cause autant dans le supérieur que dans le secondaire ».

4. Difficultés rencontrées et suggestion de pistes de recherche

La réalisation de ce travail de recherche n'a pas été une tâche facile. Nous nous sommes heurtés à des difficultés de divers ordres que nous avons pu surmonter. Il s'agit des difficultés liées à la collecte et à l'analyse de ces données. En outre, les résultats de cette recherche ouvrent un nouveau champ scientifique pour les recherches en didactique de la biologie.

4.1. Difficultés rencontrées

La production des savoirs scientifiques nécessite au préalable le respect d'un canevas conçu et approuvé par la communauté scientifique. Afin d'y arriver, le chercheur doit suivre scrupuleusement un ensemble d'étapes indispensables pour la scientificité de la recherche. Ces étapes sont jonchées d'un ensemble de difficultés que le chercheur doit braver dans le souci de produire un bon travail scientifique. Le but de cette partie sera de présenter l'ensemble des difficultés auxquelles nous avons fait face au cours de ce travail.

4.1.1. Au niveau de la collecte des données secondaires

Étant donné que notre recherche porte sur l'élaboration et l'usage des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves en génétique, l'accès aux données liées à cette recherche n'a pas été facile. Il faudrait signaler que les recherches en didactique de la biologie au Cameroun sont très récentes par conséquent, nous avons fait face à la rareté des ouvrages, des thèses et des mémoires traitant des aspects de notre recherche dans les bibliothèques. Il a fallu que nous utilisions les données produites dans les pays telles que la France et le Canada pour les adapter au contexte local. La plupart des mémoires et des thèses ont été consultées sur internet.

4.1.2. Au niveau de la collecte des données primaires et l'expérimentation.

En ce qui concerne la collecte des données sur le terrain et l'expérimentation, les difficultés étaient multiples. La première difficulté se situe dans la collecte des données dans un contexte marqué par la pandémie de covid19 dans lequel les emplois de temps des établissements ont connu un bouleversement avec le système de mi-temps. Cette situation ne nous a pas permis de réaliser nos enquêtes de terrain comme prévu dans le chronogramme. En outre l'accès aux l'établissement d'enseignement secondaire publics était très difficile car la plupart des chefs d'établissement ne voulaient pas nous admettre dans leur structure. Il a fallu compter sur nos contacts personnels. Il faudrait aussi signaler que plusieurs enseignants n'ont pas voulu être filmés lors de leur séance didactique ce qui ne nous a pas permis d'atteindre le nombre d'enregistrements vidéo-scopiques voulu.

La deuxième difficulté se situe au niveau de l'expérimentation. Compte tenu du fait que l'un de nos dispositifs implique l'usage de plusieurs ordinateurs, il a été difficile pour nous de développer le dispositif de modélisation numérique de prise en compte des conceptions. Développer ce logiciel nous a alors pris beaucoup de temps. Il a aussi été difficile pour nous d'avoir assez d'ordinateurs pour favoriser le travail individuel des apprenants. Face à ce problème nous avons eu recours à un emprunt d'ordinateur afin de permettre à tous nos élèves du groupe expérimental de travailler tout en respectant les mesures barrière.

4.1.3. Au niveau de l'analyse des données

L'analyse des données de l'enquête de terrain a été très difficile au vu de la nature des données qui faisait appel à une panoplie d'outils d'analyse tels que l'analyse de contenus, l'analyse des enregistrements vidéo-scopiques à partir du synopsis et l'analyse statistique. Il a fallu se former sur certaines méthodes qui étaient nouvelles pour nous telles les méthodes d'analyse des interactions verbales à partir du synopsis et l'analyse statistique des données dans le cadre d'une étude quasi expérimentale. Malgré ces difficultés, nous avons pu élaborer un travail scientifique qui répond aux canevas prescrits.

4.2. Suggestions et de pistes de recherche

La dernière partie de ce chapitre est consacrée aux suggestions et pistes de recherches futures. Il sera question de proposer l'intégration du digital comme dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement théorique et expérimental

de la biologie scolaire, ainsi que la démarche expérimentale dans les pratiques d'enseignement de la biologie d'une part. Et d'autre part, proposer des pistes de recherches pour les études futures en didactique de la biologie.

4.2.1. Suggestions pour une intégration du digital et de la modélisation dans l'enseignement de la biologie scolaire

L'élaboration et l'usage du digital comme dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement théorique et expérimentale de la biologie scolaire, est une opportunité/ quasi absente dans les pratiques d'enseignement de la biologie car, la plupart de ces pratiques restent marqués par l'usage des outils classiques d'enseignement. Plusieurs obstacles à la fois humains, techniques et économiques limitent l'intégration des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves en génétique en particulier et en biologie de manière générale. Ces obstacles limitent l'intégration du digital et du virtuel dans la prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement de la biologie au Cameroun. Il s'agit entre autre des difficultés d'accès aux ordinateurs, du manque de temps, des problèmes de connexion Internet, de l'absence du matériel informatique fiable, des obstacles à l'élaboration et à l'utilisation de ces dispositifs d'enseignement, du manque d'exemples d'applications pédagogiques, de l'inadaptation des programmes et du problème de formation des enseignants. Face à ces problèmes, il serait important de mettre en place des stratégies en vue de favoriser une intégration des approches de modélisation et expérimentales numériques et non-numérique dans l'enseignement de la biologie.

- **La formation initiale et continue des enseignants de biologie**

La formation professionnelle des enseignants de biologie à l'élaboration et à l'usage pédagogique des dispositifs d'enseignement numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions d'une part et l'intégration des démarches de modélisation et expérimentale dans l'enseignement de la biologie d'autre part est l'une des solutions majeures à mettre sur pied au Cameroun. Il s'agit précisément de proposer des modules de formation sur le développement des logiciels informatiques d'enseignement de la biologie et sur l'élaboration et l'usage pédagogique des dispositifs d'enseignement numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions dans l'enseignement de la biologie dans la formation initiale et continue enseignants. De plus, la formation en didactique de la

biologie dans les ENS et les Facultés des sciences de l'éducation devrait comporter des contenus axés sur l'approche expérimentale et de modélisation via le numérique des phénomènes biologiques afin d'outiller les futurs enseignants du Cameroun à l'usage du virtuel en classe de génétique en particulier et en classe de biologie de manière générale. Ensuite la formation des enseignants doit être axée sur l'intégration des démarches de modélisation et expérimentale dans l'enseignement de la biologie.

En outre, la formation continue des enseignants sur le terrain lors des journées pédagogiques et des séminaires devrait comporter des aspects sur la démarche de modélisation, expérimentale et expérientielle de prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement de la biologie. Les conseillers pédagogiques et les inspecteurs doivent montrer aux enseignants des techniques et des démarches favorisant la prise en compte des conceptions des élèves dans la construction du savoir biologique dans un contexte marqué par l'approche par les compétences qui recommande l'entrée par les situations problèmes.

- **La conception et la mise à la disposition des enseignants des ressources pédagogiques et des exemples de dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions.**

Cette tâche incombe aux inspections pédagogiques qui doivent mettre en place des ressources didactiques et des exemples de dispositifs de modélisation de prise en compte des conceptions des élèves à la fois numérique et non numérique pour une étude expérimentale de la génétique en particulier et de la biologie en général. Il faudrait constituer des équipes de recherche pédagogique dans les facultés de sciences de l'éducation et des inspections qui pourront concevoir et expérimenter une variété de ressources et de dispositifs pédagogiques de modélisation de prise en compte des conceptions des élèves tant numérique que non-numérique, susceptibles de favoriser la mise en place des expérimentation virtuelles pour un apprentissage des objets et phénomènes biologiques des niveaux moléculaire et microscopique et selon une approche expérimentale. De façon concrète, nous proposons une collaboration entre les inspections pédagogiques et les facultés de sciences de l'éducation dans laquelle des didacticiens de la biologie et des enseignants pourront mener des recherches collaboratives en vue de mettre en

place de nouveaux dispositifs d'enseignement et de nouvelles ressources didactiques pour les enseignants.

- **L'électrification et l'équipement conséquent des établissements en ordinateurs.**

Dans la plupart des établissements scolaires et particulièrement dans les zones rurales, les enseignants font face au manque d'équipements informatiques et au faible accès à l'électricité. Or l'intégration des dispositifs de modélisation numérique de prise en compte des conceptions des élèves en dépend énormément. Lors de notre expérimentation nous avons utilisé une partie de notre propre matériel informatique. Mais tout enseignant ne peut pas se donner le luxe d'acheter des ordinateurs pour mettre en place ces situations d'enseignement-apprentissage.

L'analyse de la situation des établissements scolaires au Cameroun montre une disparité dans la mise en place des centres multimédias. La majorité des établissements des zones urbaines disposent des ordinateurs fonctionnels au détriment des établissements des zones périurbaines et rurales qui font face à l'insuffisance voir à l'absence des équipements informatiques tels que les ordinateurs. De plus, lorsque ces centres multimédias existent, ils sont utilisés exclusivement pour les cours d'informatiques.

Également, les problèmes liés à l'accès à l'énergie électrique rendent non fonctionnels certains centres et découragent les enseignants à l'usage des dispositifs de modélisation numérique de prise en compte des conceptions dans l'enseignement de la biologie. Il faudrait donc construire plus de centres multimédias dans les établissements scolaires à travers une coopération État-APEEE-Élites et interconnecter les établissements scolaires au réseau électrique ou alors encourager la consommation des nouvelles formes d'énergies telles l'énergie solaire.

- **Une adaptation des programmes aux nouveaux outils et démarches pédagogiques.**

L'introduction de l'approche par les compétences dans l'enseignement de la biologie s'est accompagnée d'une révision des programmes d'étude. S'il est vrai que ce changement de paradigme pédagogique a mis en place de nouvelles démarches pédagogiques telles que le travail en groupe, les enquêtes, les jeux de simulation entre autres, il faudrait également reconnaître que les outils et les démarches fondées sur l'usage des dispositifs de

modélisation numérique de prise en compte des conceptions de salle de classe restent quasiment absentes.

La crise du COVID 19 a démontré la nécessité pour les systèmes éducatifs de s'arrimer au numérique. À cet effet, l'usage des dispositifs de modélisation numérique en situation de classe et l'intégration du virtuel dans l'expérimentation dans l'enseignement se présentent comme des solutions pour mieux s'adapter à un contexte sanitaire dans lequel les mouvements et les déplacements en groupe sont limités. Il serait donc judicieux d'intégrer de nouvelles démarches et nouvelles ressources pédagogiques de prise en compte des conceptions adaptées au numérique dans le programme afin d'arrimer les apprenants et les enseignants à la révolution technologique et de contribuer par la même occasion au développement des compétences numériques.

4.2.2. Pistes de recherche futures

Cette recherche s'inscrit dans un contexte marqué par le développement des outils d'enseignement de prise en compte des conceptions et des outils de virtualité et leur libéralisation dans plusieurs secteurs de la vie dont celui de l'éducation. Dans l'enseignement de la biologie, discipline expérimentale, l'imagerie numérique ainsi que l'usage des interfaces de modélisation virtuelle offrent de nouvelles possibilités pédagogiques à travers la mise en place des dispositifs d'enseignement de modélisation numérique.

Au terme de cette étude, nous espérons que notre travail de recherche pourra nourrir une réflexion sur le renouvellement des pratiques de classe, en particulier en ce qui concerne les pratiques instrumentées dans l'enseignement de la biologie et le changement de paradigme épistémologique dans la biologie scolaire.

Les premières pistes de réflexion découlant de cette recherche portent sur le renouvellement des pratiques de classe des enseignements à travers, l'introduction des pratiques instrumentées mobilisant les technologies du numérique et du diagnostic des conceptions. De façon spécifique, il s'agira des recherches sur les environnements numériques et leur apport dans la mise en place des dispositifs numériques de diagnostic des conceptions pour l'enseignement de la biologie. On peut citer entre autres les dispositifs de modélisation numériques de la réalité virtuelle permettant l'identification d'un individu à partir d'une analyse ADN, et pouvant offrir une compétence dans le cadre d'une enquête policière.

La deuxième piste de recherche pourrait s'appesantir sur une étude comparative entre les expériences liées à l'élaboration et à l'usage des dispositifs non-numérique de prise en compte des conceptions à partir de la modélisation à main levée et les expériences liées à l'élaboration et à l'usage des dispositifs numériques de prise en compte des conceptions à partir de la modélisation virtuelle des objets et phénomènes biologiques. Cette comparaison permettra d'évaluer l'apport de ces deux dispositifs d'enseignement dans la prise en compte des conceptions des élèves en génétique du vivant et à la construction des savoirs biologiques par l'apprenant.

Enfin, l'apprentissage expérimentale et expérientielle de la génétique de manière particulière et de la biologie de manière générale pourrait être associé à d'autres modalités pédagogiques telles que les laboratoires virtuels et les jeux de simulation afin d'évaluer leur apport dans l'apprentissage de la biologie. Ces démarches pourraient être mobilisées dans la conception des dispositifs d'enseignement didactiques et pédagogiques de nature expérimentale et expérientielle dans l'enseignement de la biologie.

Conclusion Partie 3

Parvenu au terme de cette partie qui portait sur la présentation, l'interprétation et la discussion des résultats de la recherche, nous avons d'une part présenté le processus de conception des dispositifs d'enseignement proposé à travers une analyse des préalables, une analyse à priori et la conception proprement dite de modèle didactique. D'autre part, il était question de présenter le résultat de l'expérimentation en insistant sur les activités didactiques menées tout au long de l'expérimentation ainsi que l'analyse des résultats des tests d'apprentissage. Les résultats obtenus ont été confrontés à la littérature et aux théories existantes sur la prise en compte des conceptions des élèves en génétique humaine. Ainsi, l'usage des dispositifs de modélisation numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions diminuent les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique. Cette modalité pédagogique permet d'intégrer l'expérience de prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement de la génétique. Elle implique un renouvellement de l'enseignement de la biologie à travers le passage d'une biologie marquée des approches dites objectives et des dispositifs classiques à une biologie basée sur la prise en compte des conceptions des élèves. Cependant, l'intégration de ces dispositifs d'enseignement présente

des limites liées à la non-maitrise par les enseignants de l'outil informatique, à l'insuffisance du matériel informatique dans certains établissements scolaires, aux effectifs pléthoriques, aux problèmes d'accès à l'électricité et à internet.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette thèse porte sur l'élaboration des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves de Terminale D en difficulté d'apprentissage, difficultés liées aux conceptions initiales en génétique. Le travail a consisté à élaborer et à expérimenter des dispositifs de modélisation numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves en génétique à partir d'une démarche de la biologie expérientielle. Cette étude aborde une problématique à cheval entre l'approche non-numérique via l'enseignement direct (l'usage pédagogique de la salle de classe) et l'approche numérique via l'enseignement indirecte (modélisation des situations de classe à partir du digital). Ce tableau dressé, il est important de revenir sur les principaux points qui ont été abordé afin de les expliciter. Cette présentation sera articulée autour des aspects théoriques, méthodologiques et empiriques.

Cette thèse de didactique de la biologie s'inscrivait dans un double champ de recherche sur l'élaboration et la mise sur pied des dispositifs d'enseignement en génétique scolaire. Il s'agit de l'ingénierie didactique qui repose sur l'approche numérique de prise en compte des conceptions des élèves en génétique faisant appel aux outils de modélisation numériques illustrant la réalité virtuelle pour l'étude des phénomènes génétiques. Elle repose également sur l'approche non-numérique à partir des dispositifs de modélisation non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves en génétique et qui tient compte les perceptions, les représentations initiales de ceux-ci dans l'étude des objets et des phénomènes génétiques. Fondée sur la nécessité de mobiliser les deux types de dispositifs de prise en compte des conceptions des élèves en génétique à savoir les dispositifs de modélisation non-numérique (usage de la pédagogie en salle de classe) et les dispositifs de modélisation numérique (usage de la pédagogie par l'utilisation de l'outil de digitalisation). Ce travail vise principalement à apporter des éléments de réponse aux hypothèses formulées au début de notre recherche d'une part et d'autre part à favoriser l'intégration constante de la prise en compte des conceptions des élèves. Il vise aussi de manière progressive l'intégration de la digitalisation dans l'enseignement de la génétique scolaire afin de contribuer à l'amélioration des pratiques d'enseignement en biologie et d'ouvrir de nouvelles pistes de recherche sur ces questions au Cameroun où les recherches en didactique de la biologie sont très récentes.

La problématique de cette étude s'articule sur la nécessité d'intégrer une approche de prise en compte des conceptions des élèves par le biais des dispositifs de modélisation de

prise en compte des conceptions des élèves en vue de pallier les difficultés d'apprentissage en génétique. Elle analyse particulièrement l'apport des dispositifs de modélisation numérique et non numérique de prise en compte des conceptions des élèves selon une démarche expérimentale dans l'enseignement de la génétique.

D'une façon générale, cette recherche a été menée dans un contexte marqué par l'influence négative des conceptions initiales des élèves dans le processus enseignement/apprentissage de la génétique. Ces conceptions, loin de les aider, entravent la plupart du temps l'apprentissage des élèves. Par conséquent, de nouveaux paradigmes épistémologiques et didactiques de prise en compte des conceptions des élèves se construisant dans la génétique scolaire tendent à reconsidérer les méthodes et techniques d'enseignement de la biologie/génétique qui ont longtemps été abordé selon une approche classique.

Il faudrait donc délimiter les frontières entre la conception biocentrique de l'enseignement de la génétique qui privilégie les dispositifs classiques d'enseignement et la conception anthropocentrique valorisant l'élève et ses interactions sur son vécu et ses expériences par une prise en compte minutieuse de ses conceptions initiales. Cette reconsidération de l'enseignement de la génétique dans la biologie scolaire devrait préalablement passer par la « modélisation » des objets et des phénomènes biologique/génétique et par la « représentation digitalisée » des objets et des phénomènes biologique/génétique rendant plus efficace la prise en compte des conceptions des élèves à partir des dimensions symbolique et technologique dans l'enseignement de la génétique.

Ainsi naîtra dans l'enseignement de la biologie et de la génétique francophone, les approches de modélisation dite classique (modélisation non-numérique) et celle liée au digital (modélisation numérique) qui considèrent les objets et phénomènes génétiques comme une réalité matérielle et immatérielle qui se construit à partir des perceptions mentales et représentatives de l'observateur (Gwenda-Ella Chapel, 2006). Dans la biologie scolaire, ce renouvellement des approches d'étude des phénomènes génétiques s'est accompagné de la mise en place des nouvelles démarches et des dispositifs d'enseignement prenant en compte les conceptions des élèves. Celui-ci permet aux apprenants de construire des savoirs biologiques à partir d'une association entre les savoirs découlant de l'expérience et des savoirs de la génétique scientifique (Lhoste Y.2008 : Gwenda-Ella Chapel, 2006). Il s'agit entre autres des expériences directes telles que la culture, les médias, les contes, les livres scolaires etc... ainsi que des expériences indirectes qui impliquent une médiation entre le

sujet observant et l'objet d'étude de la génétique tels que les projections virtuelles des objets/phénomènes génétiques et les simulations à partir des outils numériques et non-numériques tels que la réalité virtuelle, la modélisation des objets et phénomènes génétiques.

L'idée émise dans cette étude soutient que l'élaboration et l'usage des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves en classe de génétique de Terminale D peut aider à faire évoluer les conceptions initiales des élèves vers le savoir scientifique en génétique en résolvant l'épineux problème de l'apprentissage en génétique. Il permet en effet de modéliser des objets et phénomènes génétiques par l'utilisation de la pédagogie numérique et non-numérique des pratiques d'enseignement de génétique et d'immerger l'apprenant dans un environnement numérique (Potvin, P. ; 2011.), afin de lui faire vivre une expérience susceptible de favoriser une meilleure compréhension des phénomènes génétiques.

L'essor des dispositifs de modélisation non-numérique et numériques de prise en compte des conceptions des élèves et leur intégration progressive dans l'enseignement de la biologie offre de nouvelles perspectives pour la mise en place des approches par objectifs et par les compétences. En effets, ces approches, facilitent la mise en place des dispositifs de modélisation non-numérique de prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement pouvant s'associer aux dispositifs de modélisation numérique de prise en compte des conceptions qui sont quasi inexistantes dans les pratiques d'enseignement en biologie.

C'est dans ce contexte particulier que le sujet de cette thèse a été formulé afin d'apporter une modeste contribution dans la formalisation d'une approche non-numérique et numérique de prise en compte des conceptions des élèves en génétique dans l'enseignement de la biologie au Cameroun. Le problème de cette recherche se rapporte principalement à la volonté de rattacher les techniques et méthodes d'enseignement aux problématiques actuelles de la biologie scolaire contemporaines qui renvoient à la nécessité d'intégrer de nouvelle démarche d'enseignement de la biologie en général et de la génétique en particulier. Il s'agit particulièrement de questionner le statut et l'apport des dispositifs de modélisation de prise en compte des conceptions dans la construction des savoir scientifique en génétique et de la nécessité de quitter des approches dites classiques et objectives aux approches non-numériques et numériques de prise en compte des conceptions. Cette démarche implique l'association des dispositifs d'enseignement non-numériques et numériques de prise en

compte des conceptions et valorisant une biologie spontanée fondée sur les représentations et les conceptions initiales ainsi qu'une biologie raisonnée mobilisant les concepts, les notions, les objets et phénomènes génétiques dans la construction des savoirs en biologie scientifique. Elle implique donc un renouvellement du paradigme épistémologique de la génétique universitaire et scolaire entraînant un passage des approches objectives qui privilégient la dimension matérielle des objets (gènes, chromosomes, caryotypes, noyau, cellules etc...) et phénomènes génétiques aux approches numérique et non-numériques qui valorisent la dimension modélisable des objets et phénomènes génétique. Elle favorise l'évolution des conceptions initiales vers la construction du savoir scientifique en biologie de manière générale et en génétique en particulier.

Sur le plan didactique et pédagogique, ladite recherche s'intègre dans le champ de l'innovation pédagogique et de l'ingénierie didactique dont l'objectif est de proposer des dispositifs d'enseignement numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions dans l'enseignement de la biologie. Il s'agit particulièrement de montrer l'apport d'une intégration du digital dans les approches dites classiques d'enseignement en y ajoutant le volet prise en compte des conceptions initiales des élèves dans l'enseignement de la biologie. Dans un contexte marqué par l'intégration du numérique en éducation, l'apport des dispositifs de modélisation numériques constituent un défi essentiel pour l'éducation biologique et le renouvellement des pratiques d'enseignement en classe de génétique.

Il ne s'agit pas d'encourager l'usage unique du digital dans l'enseignement de la biologie et dans la prise en compte des conceptions en génétique étant donné que son intégration fait face à des difficultés pédagogique-didactiques, techniques et humaines. Il faudrait plutôt proposer des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions associant la pédagogie classique (non-numérique) à la pédagogie digitalisée (numérique) qui sont quasi absente dans les pratiques d'enseignement dans la biologie scolaire. En effet les pratiques d'enseignement de prise en compte des conceptions devraient s'adapter aux évolutions technologiques et techniques qui ont lieu dans le monde éducatif.

1. Les aspects épistémologiques de l'étude

Sur le plan épistémologique, cette recherche s'est approprié les problématiques de la génétique scolaire et savante contemporaine. Elle s'appuie sur des concepts piliers de la génétique scolaire et savante à savoir la théorie de l'évolution, le support génétique, l'information génétique, la transmission des caractères héréditaires construits dans

l'enseignement par le biais des dispositifs d'enseignement appropriés de prise en compte des conceptions. De façon générale, la production du savoir en génétique dans le cadre scolaire et universitaire connaît depuis un certain nombre d'années un renouvellement de paradigmes épistémologiques marqués spécifiquement par l'introduction de nouvelle démarche d'étude ainsi qu'une vulgarisation des nouveaux dispositifs de production du savoir dans la transmission de l'information génétique en particulier et de manière générale dans l'ensemble des phénomènes génétiques.

De façon spécifique, l'émergence des nouvelles problématiques liées à l'élaboration des dispositifs d'enseignement en génétique (dispositifs servant d'interface enseignant/savoir/élève) ont entraîné la mise en place de nouveaux paradigmes épistémologiques et didactiques. Ces paradigmes se proposent de limiter les frontières entre la conception matérielle du gène/information génétique s'intéressant essentiellement à la nature du matériel. Cette nature porte l'hérédité, la conception mécaniste qui le considère comme une entité à part entière et isolée dans le chromosome et la conception fonctionnelle du gène et de l'information génétique. Elle joue un rôle assez important au niveau de l'information génétique et dans le gène à la fois dans la transmission et la stabilité des caractères d'une génération à l'autre. De ces trois conceptions naîtra ainsi dans l'enseignement de la génétique l'approche de modélisation numérique et non-numérique en génétique qui considère les objets et phénomènes génétiques comme une réalité matérielle et fonctionnelle qui se construit à partir des perceptions visuelles de l'observateur et des expérimentations (Vignais, 2001 ; Fayolle, 2009)

Dans la prise en compte des conceptions des élèves dans la génétique scolaire, ce renouvellement s'est accompagné de la mise en place de nouveaux dispositifs didactiques permettant aux apprenants de faire évoluer leurs conceptions et construire des savoirs en génétique à partir d'une association du savoir découlant de l'expérience environnementale (culture, médias etc...) et du savoir de la génétique scientifique (Vignais, 2001 ; Marty, 2003 ; Fayolle, 2009).

L'idée émise dans cette étude est que les dispositifs de modélisation numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions sont des dispositifs didactiques adéquats pour faire évoluer les conceptions initiales des élèves en génétique. Ils sont des outils dynamiques pour construire le savoir scientifique en génétique scolaire (Mongio Onobiondo & Nkeck B, 2023). L'essor des dispositifs numériques et non-numériques de prise en compte des

conceptions des élèves en génétique et leur intégration progressive dans l'enseignement de la génétique offrent de nouvelles perspectives pour la mise en place des approches par les compétences.

2. Les aspects liés à la méthodologie de la recherche

D'un point de vue méthodologique, cette thèse s'est appuyée sur une recherche de l'ingénierie didactique fondée sur la posture de praticien chercheur. En effet, nous avons mobilisé les principales étapes de l'ingénierie didactique à savoir l'analyse des préalables, l'analyse à priori, la conception, l'analyse à posteriori et la validation à partir d'une comparaison statistique des performances entre le groupe-témoin et le groupe expérimental. Cette ingénierie didactique a été associée à une posture de praticien-chercheur qui a permis d'articuler la recherche entre le champ de la pratique professionnelle en tant qu'enseignant de biologie et d'informatique au secondaire et celle d'un apprenti chercheur en didactique de la biologie.

Les corpus de données ont été recueillis à partir d'une observation des séances didactiques portant sur la transmission de l'information génétique ; d'un vaste questionnaire auprès des enseignants de SVTEEHB et sur les élèves de la classe de Terminale D ; et enfin des tests d'apprentissage associés à un questionnaire pré-expérimentation pour cerner où se trouvent les conceptions initiales des apprenants sur la partie génétique. De plus, ce corpus composite a été analysé sous le prisme de la question des dispositifs d'enseignement numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions à partir des méthodes qualitatives et quantitatives. Il s'agit d'une analyse du discours génétique pour parvenir aux pratiques d'enseignement et d'une analyse statistique descriptive et explicatives des données issues des questionnaires et des tests.

3. Les aspects liés aux résultats de l'étude

Au niveau des résultats obtenus, le croisement des analyses qualitatives et quantitatives des données issues des enregistrements des séances, des enquêtes statistiques et des séances expérimentales a permis d'aboutir à plusieurs résultats. Dans un premier temps, l'analyse des préalables basés sur l'analyse des séances ordinaires, des séances didactiques sur la transmission de l'information génétique chez les individus albinos, drépanocytaires et mongoliens en provenance des parents phénotypiquement sains, les conceptions des élèves en génétique et l'usage des dispositifs de modélisation numérique et non-numérique de prise en

compte des conceptions nous ont permis d'appréhender les postures épistémologiques, didactiques et pédagogiques des enseignants dans l'enseignement de la biologie. Ces pratiques d'enseignement reposent principalement sur une démarche dite objective de prise en compte des conceptions caractérisée par l'utilisation des dispositifs d'enseignement appropriés et des approches par objectifs couplées à celles par les compétences, palliant les difficultés d'apprentissages liées aux conceptions initiales.

Dans les phases d'analyse à priori et de conception, des dispositifs didactiques de modélisation numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions en génétique a été élaboré à partir du modèle cK ϕ de Balacheff de la biologie expérimentielle. Ces dispositifs de modélisation portaient sur l'enseignement de la transmission de l'information génétique en classe de Terminale D. Au terme de cette expérimentation, nous avons procédé à la validation interne de ces dispositifs d'enseignement numérique et non-numérique de prise en compte des conceptions à partir d'une confrontation de l'analyse à priori et à postériori ainsi qu'une confrontation statistique des résultats des différents tests (pré-test et post-test) entre le groupe expérimental et le groupe témoin. À l'issue de cette recherche, trois principales conclusions peuvent être dégagées.

La prise en compte non-numérique des conceptions des élèves comme dispositif d'enseignement réduit considérablement les difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine ; la modélisation de la transmission de l'information génétique comme dispositif didactique participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique en Terminale D ; L'élaboration et l'implémentation du dispositif numérique participe à l'éradication des difficultés d'apprentissage liées aux conceptions des élèves en génétique en Terminale D. Cependant les dispositifs classiques d'enseignement gardent toujours leur plus-value car l'usage des dispositifs de modélisation numérique se heurte encore à des limites. Parmi ces limites, nous avons la difficulté à faire émerger toutes les conceptions des élèves, la non-disponibilité du matériel numérique dans la plupart des établissements scolaires, l'inadéquation entre le temps imparti à l'enseignement de la biologie et le temps nécessaire pour les séances de modélisation numérique. À cela s'ajoute les difficultés techniques, technologiques, financières et humaines qui limitent l'usage de ces dispositifs didactiques dans l'enseignement de la biologie au Cameroun.

Les conclusions de la présente recherche se proposent d'apporter des pistes de recherche et des perspectives dans le cadre de la pratique professionnelle et de la recherche en didactique

de la biologie.

4. Les pistes de recherche en didactique de la biologie

Dans l'enseignement de la biologie, cette recherche propose aux enseignants une démarche d'enseignement de la biologie en prenant en compte les conceptions premières de la réalité chez les élèves, conceptions qui leur sont le plus souvent préjudiciables plutôt qu'elles ne les aident dans leurs apprentissages. Cette démarche mobilise les expériences quotidiennes, les conceptions initiales des apprenants ainsi que les enseignements scolaires dans la construction du savoir biologique d'une part, d'autre part elle permet le renouvellement des pratiques d'enseignement de la biologie à travers l'introduction des outils numériques et des technologies de l'information biologique qui présentent des potentialités énormes dans l'optimisation du processus d'enseignement- apprentissage. Au niveau de la recherche en didactique de la biologie, cette thèse ouvre de nouvelles perspectives de recherche dans le champ des approches expérimentales et numériques des phénomènes biologiques et plus particulièrement sur l'usage des dispositifs d'enseignement de prise en compte des conceptions des élèves.

L'association des approches numériques et non-numériques à travers les dispositifs d'enseignement en génétique offre des grandes perspectives dans le domaine de la didactique de la biologie. Ce domaine prometteur a un fort potentiel didactique et notre thèse n'en a présenté qu'une partie qui mérite d'être prolongée dans le cadre des recherches ultérieures.

En définitive, cette recherche est le résultat d'une longue période de réflexion sur les pratiques d'enseignement et d'innovation pédagogique dans l'enseignement de la biologie au Cameroun. Elle découle des réflexions d'un praticien qui s'est longtemps interrogé sur les stratégies et les dispositifs didactiques susceptibles d'améliorer l'enseignement-apprentissage de la biologie. Ces interrogations débutent en Master par un mémoire portant sur la gestion des représentations initiales des élèves en génétique favorisant l'amélioration des performances scolaires. Au terme de cette étude, nous sommes arrivés aux conclusions selon lesquelles il faudrait intégrer et associer des dispositifs de modélisation numériques et non-numérique de prise en compte des conceptions initiales. Il faudrait aussi mettre l'accent sur les dispositifs de modélisation numérique qui pourraient combler le déficit des ressources telles que les manuels scolaires, les planches etc... dans les établissements scolaires et contribuer à la mise en place de nouvelles pratiques innovantes en classe de génétique en particulier et de biologie de manière générale.

Ces interrogations ont facilité la formalisation de cette recherche qui apporte un plus dans le champ de l'enseignement de la biologie en général et des pratiques didactiques liées à l'enseignement de la génétique en particulier. Enfin, ce travail est une forme d'interpellation des enseignants de SVTEEHB et des inspecteurs pédagogiques à un renouvellement des pratiques/dispositifs d'enseignement et un changement de paradigmes d'enseignement de la biologie. Elle vise particulièrement une intégration rapide de la prise en compte des conceptions et une intégration progressive des TIC dans les pratiques d'enseignement dans un contexte marqué par l'essor des technologies en éducation ainsi que le passage des démarches dites classiques et objectives aux démarches de modélisation numérique et de prise en compte des conceptions dans l'enseignement de la biologie.

BIBLIOGRAPHIE

- Albert Camus (1951). L'Homme révolté, Paris, *Les Editions Galimard*, p. 379
- Albarello, L. (2004). Devenir praticien-chercheur : Comment réconcilier la recherche et la pratique sociale. Bruxelles : *De Boeck Supérieur*.
- Allenbach, M. (2012). Formateur et chercheur : synergies, défis et réflexions épistémologiques. *Formation et pratiques d'enseignement en question*, n°14, p.141-61. [En ligne]. Récupéré le 14 mars 2020 dans Revue des HEP
- Artigue, M. (2011). Enseignement et apprentissage de l'algèbre. In A. Mercier, & R. Jost (Eds). *Actes des auditions du comité scientifique*. Lyon : ENS IFé, pp. 118-123).
- Aster (1989) Didactique et histoire des sciences dans la recherche en didactique des sciences expérimentale n°33, 227-253. Paris, *INRP (Institut Nationale de Recherche pédagogique)*.
- Astolfi et Peterfalvi (1993), obstacles et construction de situation didactique en sciences expérimentale. Paris *INRP (Institut Nationale de Recherche pédagogique)*.
- Astolfi, J.P. et Develay, M. (1989). La didactique des sciences. Que Sais-je ? *P.U.F.* Paris
- Astolfi, J-P. (1997). L'erreur, un outil pour enseigner. Issy-les moulineaux : ESF
- Astolfi, J-P. et al. (1997). Mots-clés de la didactique. *Bruxelles : De Boeck*.
- Astolfi, J-P, Peterfalvi, B (1993) Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentale, Paris *INRP (Institut Nationale de Recherche pédagogique)*.
- Bachelard, G, (1938). La formation de l'esprit scientifique. Paris : *vrin*.
- Bahar, M., Johnstone, A.H., Hansell, M.H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, vol. 33 (2), 84-86.
- Bakhtine M. (1978). Esthétique et création du roman. Paris : *Gallimard*.
- Bakhtine M. (1984). Esthétique de la création verbale. Paris : *Gallimard*.
- Balacheff, N. (1995). Conception, connaissance et concept. In : Grenier D. (ed.) *Didactique et technologies cognitives en mathématiques*, séminaires 1994-1995, 219-244. Grenoble : Université Joseph Fourier.
- Barth Britt-Mari (1987). L'apprentissage de l'abstraction. Paris : *Retz*.

- Bauer, M ; Durant, J ; & Hansen, A. (1996). Public understanding of the new genetics. In T. Marteau & M. Richards (Eds.), *The troubled helix: Social and psychological implications of the new human genetics* (pp. 235-248). *Cambridge University Press*.
- Ben Jemaa, A. (2017). Une ingénierie didactique fondée sur une démarche d’investigation avec stimulation pour enseigner les ondes au lycée. [Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale – *Brest/Université virtuelle de Tunis*]
- Bernié, J.-P. (2002). L’approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ?, *Revue Française de Pédagogie*, 141, 77-88.
- Boulot, (2012). Sciences – *sciences et philosophie*. Encyclopoedia Universalis. Repéré à <http://www.universalis.fr/encyclopedi/sciences-sciences-et-philosophie/>
- Boyer (2000), Rôle important du système scolaire et principal concepts scientifiques des élèves *OpenEdition Journals*
- Bressoux, P. (2001). Réflexions sur l’effet-maitre et l’étude des pratiques enseignantes. *Les Dossiers des sciences de l’éducation*, 5, 35-52
- Brousseau, G. (1988). Représentation et didactique du sens de la division, *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques*. In actes du colloque de sèvres Mai 1987, *la pensée sauvage édition p.47-64*.
- Brousseau, G. (1998). Théorie des situations didactiques. Ed. *La Pensée Sauvage*, Grenoble.
- Bru, M. (2006). Les méthodes en pédagogie. Paris : *Presses universitaires de France*.
- Bruno Latour, 1987, *Sciences in Action*, *Harvard University press*, qui sera traduit et publié en français
- Campbell, N. A., & Reece, J.B. (2004). *Biologie*. Adaptation et révision scientifique de Richard Mathieu, Ed. *De Boeck*, 2^{ème} édition.
- Carey, S ; Jaakkola, R ; & Slaughter, V. (1999). Constructing a coherent theory: children's understanding of life and death. In M. Siegal & C. C. Peterson (Eds.), *Children's understanding of Biology and Health* (pp. 71-96). Cambridge : *Cambridge University Press*.
- Charles DE Gaulle (1959). Mémoire de guerre, le salut, *Dans la Fabrique du chef d'œuvre* p.395 à 414.

- Chevallard, Y. (1985). La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné. (Grenob Chevallard, Y. (1985). La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné. (Grenoble) : *la Pensée sauvage*.
- Chevallard. Y. (1989). La transposition didactique. Grenoble : La découverte. *la Pensée sauvage*
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27- 43.
- Clanet, J. (2012). L'effet des pratiques enseignantes sur les apprentissages des élèves ; Quel modèle pour quelle intelligibilité, *Questions vives*, vol 6, n° 18, pp. 15-37
- Clark, F. ; & Ecablas, P. R ; & Stamm, K. R. (2000). Mass communication and public understanding of environmental problem: The case of global warming. *Public understanding of Science*, 9, 219-237.
- Clark, R. E., Feldon, D., Van Merriënboer, J. J. G., Yates, K., Early, S. (2006). Cognitive task analysis. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. J. G. van Merriënboer, & M. P. Driscoll (Eds.) *Handbook of research on educational communications and technology* (3rd ed.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Clément ,P. (1996 c). Une typologie des images scientifiques, illustrée par des images d'ADN. *L.I.R.D.I.M.S.* université Claude Bernard.
- Clément P. (1998). La biologie et sa didactique, dix ans de recherche. *Aster*, n° 27, p. 57-89.
- Clément, P., Grim F. (1998). Jugement sur la taxonomie et projet de recherche sur son enseignement. In A., Giordan, J.-L., Martinand, et D., Raichvarg (éds.). Actes des 20èmes *JIES*. Paris DIRES-Université Paris.
- Clough, E. E., & Wood-Robinson, C. (1985). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*, 19(4), 304-310.
- Coquidé M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, n° 26, p. 109-132.
- Cordier, F., Denhière, G. (1990). Les connaissances concernant les catégories naturelles. In Richard, J.-F., Bonnet, C., Ghiglione, R. *Traité de psychologie cognitive tome II : Le traitement de l'information symbolique* (PP.41-45). Paris : Dunod.
- Couturier, Y. (2001). Construction de l'instruction de l'intervention par des travailleuses sociales et infirmière en CLSC et possibles interdisciplinaires. *Thèse se doctorat en*

sciences humaines appliquées, Université de Montréal.

- Couturier, Y. (2005). La collaboration entre travailleuses sociales et infirmière. Elément d'une théorie de l'intervention interdisciplinaire. Paris : *L'Harmattan*
- Dahm, R. (2008). La première découverte de l'ADN. *Pour la science*, vol.371, 24-28
- Dahmani, H. R. (2009). Etude des spécificités iconiques et fonctionnelles des images scientifiques (représentations figuratives et graphiques) et de leurs utilisations didactiques pour l'amélioration des apprentissages en biologie au secondaire et à l'université : cas des molécules. *Thèse de doctorat*, Université de Bordeaux II.
- De Bruyne, P., Herman, J. et de Schoutheete, M. (1974). Dynamique de la recherche en sciences sociales : les pôles de la pratique méthodologique. Paris : *Presses universitaires de France*.
- De Vecchi et Carmona-Magnaldi (1996) démarche de prise en compte des conceptions des élèves, Paris *Hachette*, 1996
- De Vecchi G et Carmona-Magnaldi (1996), Faire construire des savoirs, Paris, *Hachette*, 1996
- De Vries, E. (2006). Représentation et technologie en éducation. *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches*, Université Pierre Mendès France, Grenoble II.
- Deadman, J. A., & Kelly, P. J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12, 7-15.
- Demers, M. (1993). Le projet de recherche au Ph. D. Pierrefonds: *Éditions Hélio*.
- Deschamps P, (2015) Conception d'un dispositif d'apprentissage en ligne, selon le modèle ADDIE, portant sur la compétence en asepsie du programme collégial Technique de denturologie. *Essaie de maîtrise en éducation*, université de Sherbrooke, Sherbrooke.
- d'Ham, C. (2009). La construction de protocole expérimental : objet et moyen d'apprentissage. *Les cahiers pédagogiques, dossier « Faire des sciences physiques et chimiques », vol.469*.
- Di Sessa (2002), passage d'un savoir fragmenté à un savoir structuré. *RDST (Recherche en didactique des Sciences et Technologies)*
- Dimopoulos, K., & Koulaidis, V. (2003). Science and technology education for citizenship: The potential role of the press. *Science Education*, 87, 241-256.

- Disessa, A.A. (2008). A Bird's –Eye View of the “Pieces” Vs “coherence” controversy (From the “piece” side of the Fence). In S-vosniadou (Ed), *International Handbook of Research on Conceptual change* (PP. 35-60). New York : Routledge
- Donovan, J., Venville, G (2007). Developing year two students' theory of biology with concepts of gene and DNA. *International Journal of Science Education*, vol.29 (9), 1111- 1131.
- Dubois Michel, introduction à la sociologie des sciences et de la connaissance, *PUF*, Paris, 1999.
- Ducharme Geneviève (2017) Conception d'une activité d'enseignement d'attitude professionnelles dans le programme collégial commercialisation de la mode selon l'alignement pédagogique et le modèle ADDIE. *Revue Internationale sur le travail et la société*.
- Ducrot O. (1984). Le dire et le dit. Paris : Éd. de Minuit.
- Duguet, A. et Morlaix, S. (2012). Les pratiques pédagogiques des enseignants universitaires : Quelle variété pour quelle efficacité ? Questions Vives [En ligne], Vol.6 n°18 | 2012, mis en ligne le 26 mai 2014, consulté le 24 novembre 2014. URL : <http://questionsvives.revues.org/1234> ; DOI : 10.4000/questionsvives.1234.
- Duit , R & Treagust, D.F.(2003). Conceptual change : A powerfull framework for improving science teaching and learning. *International Journal of science Education*, 25(6), 671-688.
- Duncan, R. G., Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: students' understandings of molecular genetics, *Journal of Research in Science Teaching*, vol.44 (7), 938-959.
- Elliott, W., & Rosenberg, W. L. (1987). Media exposure and beliefs about science and technology. *Communication Research*, 14, 164-188.
- Erickson, G. L ; Hobbs, E. D ; & Kargbo, D. B. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14(2), 137-146.
- Fabre, M. & Fleury B. (2006). La pédagogie sociale : inculcation ou problématisation. L'exemple de l'enseignement agricole français. *Recherches en éducation*, 67-68. Nantes. Accessible à <http://www.recgercges-en-education.net/spip.php?Article111>.
- Fayolle, H. (2009) Analyse des obstacles liés à la construction du concept d'ADN. *Mémoire de Master 2 Recherche*, Université Joseph Fourier, Grenoble I.
- Ferréol G. et Deubel, Ph. (1993). Méthodologie des sciences sociales. Paris: *Armand Colin*.

- Fortin C. (1994). Du bon usage des conceptions en biologie de l'évolution in Giordan A. Conceptions et connaissances. Berne : *Peter Lang*, p. 157-170. Réédition en 2000.
- Fourez G. (1991). Des finalités des cours de sciences. *Les Cahiers Pédagogiques*, n° 298, p. 33-36.
- Fox Keller E. (2003). Le siècle du gène. Paris : *Gallimard*.
- François F. (1989). Langage et pensée : dialogue et mouvement discursif chez Vygotski et Bakhtine. *Enfance*, vol. 42, n° 1-2, p. 39-48.
- François F. (1998). Le discours et ses entours. Paris : *L'Harmattan*.
- Freitag, M. (1986). Dialectique et société. Tome 1 – Introduction à une théorie générale du symbolique. Paris/Montréal : *L'âge d'homme/Éditions coopératives Albert Saint-Martin*.
- Frewer, L., Hedderley, D., Howard, C., & Shepherd, R. (1996). What determines trust in information about food-related risks? Underlying psychological constructs. *Risks analysis*, 16(4), 473-486.
- Frewer, L., Howard, C., & Shepherd, R. (1997). Public concerns in the United Kingdom about general and specific applications of genetic engineering. *Science, Technology and Human Values*, 22, 98-124.
- Ferréol G. et Deubel, Ph. (1993). Méthodologie des sciences sociales. Paris: *Armand Colin*.
- Gohier, C. (2000). Le cadre théorique. In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (dir.), Introduction à la recherche en éducation (p. 99-125). Sherbrooke: *Éditions du CRP*.
- Garcia-Debanc et Laurent (2003), préparation écrite dans la confrontation des conceptions entre élèves. *Aster: Recherche en didactique des sciences expérimentales*.
- Gaujal, S. (2016). L'enseignement à l'école par la pratique artistique. [Thèse de doctorat, Université Sorbonne Paris Cité/ Université Paris Diderot].
- Gelman, S. & Wellmann, H. M. (1992). Cognitive development : Foundational theories of core domains. *Annual Reviews of Psychology*, 43, 337-375.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Macro, submicro, and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. Dans J. K. Gilbert & D F. Treagust (dir.), *Multiple Representations in Chemistry Education* (p. 1-8). The Netherlands: Springer.

- Giordan (1996) *Dans erreurs et idées fausses chez les apprenants. Les Editions de l'Atelier notre histoire*
- Giordan André, De Vecchi Gérard (1987). Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Neuchâtel, Paris : *Delachaux et Niestlé*.
- Giordan, J.-L., Martinand, et D., Raichvarg (éds.). Actes des 17^e JJES (pp.4&è-422). Paris : *DIRES- Université Paris 7*.
- Girault, I., d'Ham, C., Ney, M., Sanchez, E., Wajeman, C., (sous presse, 2011) Characterizing the 'experimental procedure' in science laboratories: a preliminary step toward student design experiment. *International Journal of Science Education*.
- Glynn, C ; Griffin, R. J ; & McLeod, J. (1987). Communication and energy conservation. *Journal of Environment Education, 18*, 28-37.
- Gohier, C. (2000). Le cadre théorique. In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (dir.), Introduction à la recherche en éducation (p. 99-125). Sherbrooke: *Éditions du CRP*.
- Gouvernement du Québec (1998). Dossier. L'effet -enseignant. *Vie Pédagogique, 107*, 21-48.
- Grandbastien, M., Labat, J.M. (2006). Introduction. Environnements informatiques pour l'apprentissage humain, 97-115. Direction : Grandbastien M. et Labat J.M.. *Ed. Lavoisier*.
- Grize J.-B. (1996). Logique naturelle et communication. Paris : *PUF*.
- Grove-White, R., MacNaghten, P., Mayer, S., & Wynne, B. (1997). Uncertain World: Genetically Modified Organisms, Food, and Public Attitudes in Britain. Lancaster: *CSEC*.
- Gutheil, G ; & Keil, F. C ; & Vera, A. (1998). Do houseflies think? Patterns of induction and biological beliefs in development. *Cognition, 66*, 33-49.
- Gwenda-Ella Chapel, (2006). Modélisation et diagnostic des conceptions d'élèves de niveau seconde sur l'information génétique, lors de l'élaboration d'expérience à l'aide de LabBook. *Thèse de Doctorat, Université de Nantes*
- Hackling, M. W., & Treagust, D. F. (1984). Research data necessary for meaningful review of Grade Ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching, 21*, 197-209.
- Haguenauer, C (1991). Le concept de cycle, indicateur de la connaissance. Des sciences de la nature à l'écologie forestière. *Thèse de doctorat, Université Nancy1*

- Henderson, B. J., & Maguire, B. T. (2000). Three lay mental models of disease inheritance. *Social Science & Medicine*, 50, 293-301.
- Hibou, M., Py, D. (2006). Représentation des connaissances de l'apprenant. Environnements informatiques pour l'apprentissage humain, 97-115. Direction : Grandbastien M. et Labat J.M.. *Ed. Lavoisier*.
- Houdé, O. (2004). La psychologie de l'enfant (6è ed). Paris : *presse Universitaires de France*
- Huberman, A. M. et Miles, M. B. (1991). *Analyse des données qualitatives. Recueil de nouvelles méthodes* (Trad. C. De Backer et V. Lamongie). Bruxelles-Montréal: De Bœck Université/ *Éditions du Renouveau pédagogique*
- Hugonie, G. (2007). Le « terrain » pour les didacticiens de la géographie. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 4, pp.486-492. Recupéré le 24 décembre 2019 dans le site de Persée.
- Inagaki, K., & Hatano, G. (1999). Children's understanding of mind-body relationships. In M. Siegal & C. Peterson (Eds.), *Children's understanding of Biology and Health* (pp. 23-44). Cambridge : Cambridge University press
- Jaubert M. (2007a). Langage et construction de connaissances à l'école. Pessac : *Presses universitaires de Bordeaux*.
- Jean Piaget & Alina Szeminska, La genèse du nombre chez l'enfant, Neuchâtel, *Delachaux et Niestlé*, 4è édition, 1967 ; psychologie et épistémologie
- Johannsen W. (1911). The genotype conception of heredity. *American Naturalist*, n°45, p. 129-159.
- Johnson, S. C., & Solomon, G. E. A. (1997). Why dogs have puppies and cats have kittens: The role of birth in young children's understanding of biological origins. *Child Development*, 68(3), 404-419.
- Johsua & Dupin (1999) dans *La théorie du changement conceptuel*. HAL ID: sic
- Johsua Samuel, Dupin Jean-Jacques (1989). Représentations et modélisations : le "débat" scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique. Berne : *Peter Lang*.
- J-P, Astolfi ; Peterfalvi, B (1993) Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentale, Paris: *Aster 16 (16)*
- Karmiloff-Smith, A. (1986). From meta-processes to conscious access: Evidence from children's metalinguistic and repair data. *Cognition*, 95-147

- Karsenti, T. (2003a). Favoriser la motivation et la réussite en contexte scolaire : les TIC feront-elles mouches. *Vie pédagogique*, 127, 27-32. Récupéré 05 février 2020 du site : http://www.viepedagogique.gouv.qc.ca/numeros/127/vp127_27-31.pdf
- Karsenti, T. (2009). (éd.). *Intégration pédagogique des TIC en Afrique : Stratégies d'action et pistes de réflexion*. Ottawa. Récupéré le 21 mai 2020 dans le CRDI <http://www.crdi.crifpe.ca/karsenti>
- Krickeberg K. et Ziezold H. (1980). Méthodes stochastiques. Introduction aux probabilités et à la statistique. Traduction par Rocher B. et Sylvain F. *Collections DIA*. France.
- Lacoste, Y. (1977). L'enquête et le terrain : un problème politique pour les chercheurs, les étudiants et les citoyens. *Hérodote*, 8, 3-21.
- Laszlo, P. (2012) Science. Encyclopaedia. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/science/>
- Laugier et Lefèvre (1993), processus de déconstruction des conceptions erronées des élèves.
- Laugier et Lefèvre (1993), Influence des conceptions sur l'interprétation de l'apprenant et sur son observation. *Aster: Recherche en didactique des sciences expérimentales*.
- Laugier et Lefèvre (1993), Influence des conceptions dans l'interprétation et observation face à des situations expérimentales. *Aster: Recherche en didactique des sciences expérimentales*
- Le Jossic A. (2008). La transmission de l'information génétique en classe de première S : apprentissage et problématisation. In Y. Lhoste (dir.). Problématisation et apprentissage en SVT. *HAL Open science*.
- L'école primaire. Dans B. Grusson, D. Forest, & M. Loquet, *Jeux de savoir étude de l'action conjointe en didactique* (pp. 19-45). Rennes: *Presses universitaires de Rennes*
- Lefrançois, R. (1991). Dictionnaire de la recherche scientifique. Lennoxville: *Éditions Némésis*.
- Lefrançois, R. (1992). Stratégies de recherche en sciences sociales. Applications à la gérontologie. Montréal: *Presses de l'Université de Montréal*.
- Legendre, R. (1993). Dictionnaire actuel de l'éducation (2^e éd.). Montréal: *Guérin*.
- Leininger-Frézal, C. (2015). L'étude de cas : une approche pertinente pour enseigner le développement durable ? Présenté à *Colloque international de didactique de l'histoire*, de la géographie et de l'éducation à la citoyenneté

- Lenoir, Y. (1991). Des conceptions de l'intervention éducative en sciences humaines dans l'enseignement au primaire au Québec et quelques implications. *Pédagogie*, 4, 43-102.
- Lenoir, Y. (1991). Relation entre interdisciplinarité et intégration des apprentissages dans l'enseignement des programmes d'études du primaire au Québec. *Thèse de doctorat (nouveau régime)* en sociologie, Université de Paris VII.
- Lenoir, Y. (1996). Médiation cognitive et médiation didactique. In C. Raisky et M. Caillot (dir.), *Le didactique au-delà des didactiques. Débats autour de concepts fédérateurs* (p. 223-251). Bruxelles : *De Boeck*.
- Lenoir, Y. (2004). L'intervention éducative : de sa conceptualisation à son actualisation. <http://www.usherb.ca/crie>.
- Lenoir, Y. (2005). Comment caractériser la fonction enseignante ? *Puzzle*, 19, 5-18.
- Lenoir, Y. (2007). Entrevue avec Marc Bru. Des pratiques d'enseignement en évolution. *Formation et profession* 12(2), 7-13
- Lenoir, Y. (2009). L'intervention éducative, un construit théorique pour analyser les pratiques d'enseignement. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 12 (1), 9–29. Récupéré le 20 juillet 2020 <https://doi.org/10.7202/1017474ar>
- Lenoir, Y. (2014). Les médiations au coeur des pratiques d'enseignement-appren-tissage : une approche dialectique. Des fondements à leur actualisation en classe. Éléments pour une théorie de l'intervention éducative. Longueuil : *Group éditions Éditeurs*.
- Lenoir, Y. et Vanhulle, S. (2006). Etudier la pratique enseignante dans sa complexité : une exigence pour la recherche et la formation à l'enseignement. in A. Hansni, Y. Lenoir et J. Lebeaume (dir), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies au secondaire dans le contexte des réformes par compétences* (p. 193-245). Québec : *Presse de l'Université du Québec*.
- Lenoir, Y., Larose, F., Deaudelin, C., Kalubi, J.-C. & Roy, G.-R. (2002). L'intervention éducative : clarifications conceptuelles et enjeux sociaux. Pour une reconceptualisation des pratiques d'intervention en enseignement et en formation à l'enseignement. *Esprit critique*, 4(4). Récupéré dans le 19 mars 2020 dans

- Lewis, J, Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance – do students see any relationship ? *International Journal of Science Education*, vol.22 (2), 177- 195.
- Lenoir, Y. (1993). Entre Hegel et Descartes: de quels sens peut-il être question en didactique? *In* Ph. Jonnaert et Y. Lenoir (dir.), *Sens des didactiques et didactique du sens* (p. 29-99). Sherbrooke: *Éditions du CRP*.
- Lenoir, Y. (1996). La recherche collaborative, les facultés d'éducation, le milieu scolaire et les organismes subventionnaires: un concept à clarifier, une situation fragile, des rapports interinstitutionnels précaires! *In* Y. Lenoir, M. Laforest et M. Tardif (dir.), *La bureaucratisation de la recherche en éducation et en sciences sociales* (p. 205-232). Sherbrooke: *Éditions du CRP*.
- Lenoir, Y. (2002). La question éthique en supervision de stages en enseignement: quelle éthique et pour qui? *In* M. Boutet et N. Rousseau (dir.), *Les enjeux de la supervision pédagogique des stages* (p. 197-216). Québec: *Presses de l'Université du Québec*.
- Lenoir, Y., Biron, D., Biron, H., Brillon, G., de Broin, L. et Paillé, P. (1992). L'interdisciplinarité pédagogique au primaire: étude de l'évolution des représentations et des pratiques chez des titulaires du premier cycle du primaire dans le cadre d'une recherche-action-formation. *Groupe de recherche interdisciplinaire en didactique des disciplines (GRIDD)*, Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
- Lenoir, Y. (1995). *Petit glossaires des termes et expressions liés à la recherche scientifique*.
Faculté d'éducation université de Sherbrooke
- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195-206.
- Lewis, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance: Do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22(2), 177-195.
- Lhoste Y. & Gobert J. (2009). L'espèce, outil / obstacle pour comprendre l'évolution des espèces : l'exemple d'une problématisation scolaire en première ES. *Sixième rencontre scientifiques de l'ARDIST*, Nantes, 14 - 19 octobre 2009.
- Lhoste Y. & Roland A. (2009). Modélisation de la transmission de l'information génétique en classe de 3e : pour quels apprentissages ? *In* M. Coquidé. *La génétique*. Paris : Vuibert : *Adapt-Snes*

- Lhoste Y. (2008). Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la Vie. *Thèse de doctorat en sciences de l'éducation* sous la direction de Orange C., Université de Nantes.
- Lhoste Y., Le Jossic A., Maunoury A. & Roland A. (2007a). Apprentissage du concept de mitose par des élèves de 3e et de 1reS : impact d'un dispositif de formation continue d'enseignants sur les apprentissages des élèves. *Colloque international des IUFM du Pôle Nord-Est : Les effets des pratiques enseignantes sur les apprentissages des élèves*, Besançon, 14 et 15 mars 2007 (actes sur cédérom).
- Lhoste Y., Le Jossic A., Maunoury A. & Roland A. (2007a). Apprentissage du concept de mitose par des élèves de 3e et de 1reS : impact d'un dispositif de formation continue d'enseignants sur les apprentissages des élèves. *Colloque international des IUFM du Pôle Nord-Est : Les effets des pratiques enseignantes sur les apprentissages des élèves*, Besançon, 14 et 15 mars 2007 (actes sur cédérom).
- Lhoste Y., Peterfalvi B. & Orange C. (2007b). Problématisation et construction de savoirs en SVT : quelques questions théoriques et méthodologiques. *Congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Strasbourg, 28-31 août 2007 (actes sur cédérom).
- Lhoste, Y. et Orange, C. (2015). Quels cadres théoriques et méthodologiques pour quelles recherches en didactique des sciences et des technologies ? *In la revue RDST* 11-2015, 9-78.
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, M. C., Klaasen, W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12, 67- 78.
- Luengo, V., Vadcard, L., Balacheff, N. (2006). Les EIAH à la lumière de la didactique. Environnements informatiques pour l'apprentissage humain, 47-68. Direction : Grandbastien, M. et Labat, J.M.. *Edition. Lavoisier*.
- Mace, G. (1988). *Guide d'élaboration d'un projet de recherche*. Québec: *Presses de l'Université Laval*.
- Macintyre, S., Reilly, J., Miller, D., & Eldridge, J. (1998). Food choice, food scares and health: The role of the media. In A. Murcott (Ed.), *The Nation's Diet: The Social Science of Food Choice*. London: *Longman*.
- Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in student compréhension of genetic concepts *Journal of Biological Education*, vol. 35, 200-205.

- Marbach-Ad, G., Rotbain, Y., Stavy, R. (2005). Understanding molecular genetic through a drawing-based activity. *Journal of Biological Education*, vol.39 (4), 174-178.
- Marbach-Ad, G., Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, vol.34 (4), 200-205.
- Marco Renzo Dell'Omodarme (2015) épistémologie des savoirs situés : de l'épistémologie de Jean Piaget aux savoirs critiques. *EAS (Ecole des arts de la Sorbonne)*
- Martins, I., & Ogborn, J. (1997). Metaphorical reasoning about genetics. *International Journal of Science Education*, 19(1), 47-63.
- Marty, B. (2003). Le premier âge de l'ADN. Paris, Vuibert.
- Marzin, P., de Vries, E. (2008). How can we take into account student conceptions of the facial angle in a palaeontology laboratory work? *Proceedings of ICLS conference*.
- Masson, S. (2012). Etude des mécanismes cérébraux liés à l'expertise scientifique en électricité à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. *Thèse en didactique des sciences*, service des bibliothèques, université de Montréal, Québec. En ligne [http : www. Archipel. Uqam.ca /4876/1/D2287.pdf](http://www.Archipel.Uqam.ca/4876/1/D2287.pdf)
- Maurice Gagnon. Epistémologie génétique, science et philosophie 1977 Jean Piaget, Willem Evert Berth & Wolfe Mays, 1987, Epistémologie génétique et recherche psychologique. *Société de philosophie du Québec*.
- MELS, (1998). Sciences de la nature, programme d'études préuniversitaire 200. B0. Québec : *Gouvernement du Québec*.
- Meyer M. (1979). Découverte et justification en sciences. Paris : *Klincksieck*.
- Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. High school science laboratories: role and vision. *National academy of sciences, Washington DC*.
- Miller, J. D. (2000). The public understanding of science and technology in the United States: A report to the National Science Foundation. Science and Technology Indicators. Washington, DC: *National Science Foundation*.
- Miller, J., & Pifer, L. (1993). Public Understanding of Biomedical Science in the US. Chicago: *Chicago Academy of Sciences*.
- Mongo Onobiono & Nkeck B. (2022). Prise en compte et évolution des conceptions des élèves de Terminale D en génétique humaine. *Révue Della/Afrique*
- Morane, M. (1994). Histoire de la biologie moléculaire. Paris, *la Découverte*

- Morf, Albert, Grize, Jean-Blaise and Pauli, Laurent, (1969). Pour une pédagogie scientifique, In *Dialectica*, 23(1), 24–31, March 1969. *Article first published on line: 31 MAY 2007*
- Ngnoulaye,J.(2010). Étudiants universitaires du Cameroun et les technologies de l'information et de la communication : usages, apprentissages et motivations. [*Thèse de doctorat*, Université de Montréal]
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707-730.
- Nkeck Bidias 2015 Enseignement et apprentissage des sciences et développement de la didactique pour l'école primaire *Akeng Reve gabonaise de recherche en éducation* (3) hors thématique ; L'HARMATTAN.
- Nkeck Bidias R.S. (2019). Conditions de la réussite éducative et spécificités d'émergence d'un pays : le cas du Cameroun. *Canéjan*, France. 2019
- Nkeck Bidias, R.S. (2014). Dispositifs didactiques pour une plateforme d'enseignement et de formation en éducation à l'environnement. Sous la coordination de Nguema Endamne, G. (dir.) *Akeng Revue gabonaise de recherche en éducation* (3) hors thématique ; L'HARMATTAN.
- Nkeck Bidias, R.S. (2014). Représentations sociales d'enseignants et de parents en regard de l'éducation à l'environnement, à la santé et à la citoyenneté au Cameroun. *Dans REVUE RAFEC* (2) Edition LAFIASO : COTONOU / BENIN.ISSN 1840-7668
- Nkeck Bidias, R.S. (2015). Formation professionnelle et pratique enseignante de l'instituteur débutant. *Revue JERA/RARE* (7),125-143.*Editions Universitaires de Côte d'Ivoire*.
- Nkeck Bidias, R.S. (2018). Le travail par projets interdisciplinaire en formation à l'enseignement dans le préscolaire, Dans Cécile Gardiès (dir.), *Savoirs au travail, savoirs en partage en éducation et formation*, Dijon, *Éditions Éducagri (Collection Agora recherche)* : 35-51.
- Nonnon E. (1999). L'enseignement de l'oral et les interactions verbales en classe : champ de référence et problématiques. *Revue française de pédagogie*, n° 129.
- Not, L. (1979). *Les pédagogies de la connaissance*. Toulouse : *Privat*.
- Not, L. (dir.) (1984). *Une science spécifique pour l'éducation ?* Toulouse : Université de Toulouse-le-Mirail.
- Not, L. (dir.) (1987). *Enseigner et faire apprendre. Eléments de psycho-didactique générale*. Toulouse : Privat
- O'Neil W.M. (1972). L'hérédité et la théorie génétique. In *Faits et théories*. Paris : *Armand Colin*.

- Orange C. (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire évoluer les représentations ou construire des raisons? *Actes des premières journées scientifiques de l'ARDIST*, Cachan, novembre 99, p. 88-93. Disponible sur Internet : <http://www.stef.ens-cachan.fr/docs/listdocs.htm> (consulté le 2 avril 2007).
- Orange C. (2000). Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre. *Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation* non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C. (2002). L'expérimentation n'est pas la science. *Les Cahiers Pédagogiques*, n° 409, p. 19-20.
- Orange C., Lhoste Y. & Orange-Ravachol D. (2009). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. In C. Buty & C. Plantin (dir.). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Lyon : *INRP*, p. 75-116.
- Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. In Aster N° 40, 3-11. Paris: *INRP*.
- Orange, C. (2010). Situations forcées, recherches didactiques et développement du métier d'enseignant. Dans *Recherches en éducation. La culture professionnelle des enseignants : entre savoirs, recherches et pratiques. Hors-série n°2. – Octobre 2010. Numéro coordonné par Denis Simard. CREN, Université de Nantes. France.*
- Orange, C. (coord) Boilevin, J. M., Toussaint, R. M. J., Lavergne, M.-H., Albe, V., Girault, Y., Lapérouse, C., Beorchia, F., Lhoste, Y., Orange-Ravachol, D., Rumelhard, G. Problèmes et problématisation dans l'enseignement scientifique, *Revue ASTER. IRNP. N° 40. 2005.* pp. 1-7.
- Pekdag, B., Le Maréchal, J.-F. (2003). Changement conceptuel et hyperfilm : cas de l'apprentissage des acides et des bases en classe de Première S. *Actes des 3^{èmes} journées de l'ARDIST*.
- Pfriedrichsen, P., Stone, B., Brown, P. (2004). Examining Students' conceptions of Molecular Genetics in an Introductory Biology Course for Non-Science Majors : A Self Study. *Proceeding of NARST*.
- Philip N. (2011). Génétique des populations. *Université Médicale Virtuelle Francophone*. Marseille. France.
- Pichot A. (1999). *Histoire de la notion de gène*. Paris : *Flammarion*.
- Postic, M. (1986). La relation éducative (3^e éd.). Paris : *presse Universitaire de France* (1^{re}

- éd. 1979).
- Potvin, p. (2011). Manuel d'enseignement des sciences et de la technologie : pour intéresser les élèves du secondaires, 207-225. Québec : *Multi Monde*.
- Prain, V., Hand, B., Hohenshell, L.M. (2001). Ecrire pour apprendre les sciences au lycée : stratégies d'écriture d'élèves. *Aster n°33*, 49-79. Paris, *INRP*.
- Rey, L. (2000). Génie génétique: Masculin, féminin? Berne: *Académie suisse des sciences naturelles ASSN*.
- Richards, M. P. M. (1996c). Families, kinship and genetics. In T. Marteau & M. Richards (Eds.), *The troubled helix: Social and psychological implications of the new human genetics* (pp. 249-273). Cambridge: *Cambridge University Press*.
- Richards, M. P. M. (1997). It runs in the family: lay knowledge about inheritance. In A. Clarke (Ed.), *Culture, Kinship and Genes*. (pp. 175-194). Basingstoke: *Macmillan Press*.
- Richards, M. P. M., & Ponder, M. (1996). Lay understanding of genetics: a test of a hypothesis. *Journal of Medical Genetics*, 33, 1032-1036.
- Rumelhard G. (1986). La génétique et ses représentations dans l'enseignement. Berne : *Peter Lang*
- Rumelhard G. (1992). L'enseignement de la biologie comme culture. *Aster*, n° 15, p. 145-167.
- Sanchez, E. (2008). Les globes virtuels, des outils pour l'enseignement secondaire. In *Géomatique expert n°62*, Avril-Mai 2008. Récupéré le 25 janvier 2019 de *éductice*.
- Santini, J. (2012). Densité, spécificité et distance dans la dialectique jeu d'apprentissage/jeu épistémique et efficacité des pratiques professorales une étude de cas en géologie: *Peter Lang*
- Schmidt, H.-J (1996, April, 1996). Students' understanding of molecular structure and properties of organic compounds, Communication présenté à *annual Meeting of the National Association for research in Science Teaching*. St. Louis (MO)
- Schneeberger P., Robisson P., Liger-Martin & J. Darley B. (2007). Conduire un débat pour faire construire des connaissances en sciences. *Aster*, n° 45, p. 39-64.
- Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner. How Professional Think in Action*. Etats-Unis
- Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes: *Presses universitaires de Renne*

- Séré, M.-G., Beney, M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, vol.11, 75-102.
- Serge Robert, La logique de la découverte scientifique, Ottawa, PUO, 1993, cité dans Marcel Thouin, Introduction aux sciences de la nature, concepts de base, percées historique, et conceptions fréquentes, sainte-Foy, *Editions Mutimonde*, 1996, p.16
- Shaw, A. (2002). "it just goes against the grain". Public understandings of genetically modified (GM) food in the UK. *Public understanding of Science*, 11, 273-291.
- Solomon, G. E. A., Carey, S., Johnson, S. C., & Zaitchik, D. (1996). Like father, like son: Young children's understanding of how and why offspring resemble their parents. *Child Development*, 67, 151-171.
- Solomon, G.E.A., Carey, S., Johnson, S.C., & Zaitchik, D. (1996). Like father, like son: Young children's understanding of how and why offspring resemble their parents. *Child Development*, 67, 151-171.
- Solomon, G.E.A., Johnson, S.C., Zaitchik, D., & Carey, S. (1996). Like father, like son : young children's understanding of how and why offspring resemble their parents. *Child Development*, 67, 151-171.
- Sommer, N. (1999). Perception du génie génétique par le public sous l'angle d'une perspective genre: Rapport final. Berne: *Académie suisse des sciences naturelles ASSN. Forum recherche génétique*.
- Spallanzi, C., Biron, D., Larose, F., Lebrun, J., Lenoir, Y., Masselter, G. et le Roy, G.-R (2001). Le rôle du manuel scolaire dans les pratiques enseignantes au primaire. Sherbrooke : *Edition du CRP*.
- Springer, K. (1999). How a naive theory of biology is acquired. In M. Siegal & C. Peterson (Eds.), *Children's Understanding of Biology and Health* (pp. 45-70). *Cambridge University Press*
- Springer, K., & keil, F.C. (1989). On the development of biologically specific beliefs : The case of inheritance. *Child Development*, 60, 637-648.
- Springer, K. (1999). How a naive theory of biology is acquired. In M. Siegal & C. Peterson (Eds.), *Children's Understanding of Biology and Health* (pp. 45-70). *Cambridge University Press*.
- Stavy, R., Marbach-Ad, G. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, vol. 34 (4), 183-189.

- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplets". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.
- Thouin, (2009). Epistémologie, sciences et technologies, Notes de cours (DID 6009). *Document inédit*
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J.-F., Buty, C. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several european countries. *Science Education*, vol.22 (19), 483-508.
- Todorov T. (1981). Mikhail Bakhtine. Le principe dialogique. Paris : *Éd. Le Seuil*.
- Treagust, D., Tsui, C.-Y. (2007). Understanding genetics : analysis of secondary students' conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.44(2), 205-235.
- Triquet, E. (2001). Ecrire et réécrire des textes explicatifs à partir d'une visite au muséum. *SFIC-CP-DirSIC éd*
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic and molecular structure in chemical education: A critical analysis from various perspectives of science education. *Journal of Chemical Education*, 74(8), 922-925.
- Turney, J. (1995). The public understanding of genetics: where next? *European Journal of Genetics Society*, 1, 5-20.
- US General Social Survey. (1990). *US General Social Survey*. Chicago: *National Opinion Research Centre*.
- Van der Maren, J.-M. (1991). *ÉDU 6650-6651. Méthodes de recherche en éducation*. Montréal: *Département d'études en éducation et d'administration de l'éducation, Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal*.
- Varéla, F. (1989). Autonomie et connaissance. Essai sur le vivant. *Paris : Le Seuil*.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.
- Verbunt, G. (1994). Les obstacles culturels aux apprentissages. *CNDP : Paris*.
- Vignais, P. (2001). La biologie des origines à nos jours. Paris, *EDF sciences*.
- Volochinov (1977). Marxisme et philosophie du langage. Paris : *Éd. de Minuit*.
- Vosniadou (2002), *changement du nouveau savoir aux structures existantes International journal of science education*, vol.18 (7), 761-774.
- Vygotski (1934), *conceptions erronées des élèves dans l'apprentissage. EDF sciences*.
- White, R. (1996). The link between the laboratory and the learning. *International journal of science education*, vol.18 (7), 761-774.

- Williams, J. M., & Affleck, G. (1999). The effects of an age-appropriate intervention on young children's understanding of inheritance. *Educational Psychology*, 19 (3), 259-275
- Wood-Robinson, C. (1994). Young people's ideas about inheritance and evolution. *Studies in science education*, 24, 29-47.
- Zouhaier Harrath (2018) apprentissage de l'immunologie du secondaire au supérieure en Tunisie : Impact d'un enseignement par Situation-Problème. *Thèse de Doctorat*.

ANNEXES

ANNEXE 1 : GLOSSAIRE DES TERMES DE GENETIQUE FREQUEMMENT UTILISES

Le glossaire est présenté par ordre alphabétique.

Acides aminés

Composants des protéines. Molécules qui se combinent pour former les protéines chez les êtres vivants. Il existe 20 acides aminés différents (Alanine, Arginine, etc.). Un groupe donné de trois bases représente un acide aminé particulier. Par exemple, GUC correspond à l'acide aminé « valine », CAC est l'acide aminé « histidine ». Quand le ribosome lit une copie du gène par groupe de trois bases, il sait exactement lesquels des vingt acides aminés il doit associer et dans quel ordre. Ainsi, une protéine déterminée voit finalement le jour.

Adénine / thymine/ cytosine / guanine

Les quatre éléments constitutifs des gènes, les bases. On peut les comparer à 4 lettres qui composeraient l'alphabet génétique. L'Adénine et la Thymine, ainsi que la Guanine et la Cytosine, se complètent à la manière d'une clef et d'une serrure. A et T, ainsi que G et C forment une paire de bases ; elles sont complémentaires, elles maintiennent ensemble les 2 brins de l'ADN : A d'un brin « s'associe » toujours avec T sur l'autre brin, et C toujours avec

G. D'autres combinaisons, par exemple A et G ou C et T ne sont pas possibles. Ainsi, en connaissant l'ordre des bases sur l'un des brins du filament génétique (de l'ADN), on peut en déduire l'ordre des bases sur l'autre brin. Par exemple, si l'on lit ATGGTGGACCTGACT, l'ordre des bases de l'autre brin sera TACCACCTGGACTGA.

ADN

Acide désoxyribonucléique. Appellation de la substance chimique qui compose les gènes, c'est-à-dire qui constitue le matériel héréditaire de base de tous les organismes vivants. C'est le support chimique de l'information génétique héréditaire, transmise des parents aux descendants. C'est l'information dont les cellules ont besoin pour se reproduire et produire des protéines. L'ADN est une très longue molécule en forme de double hélice : l'ADN est composé de deux brins reliés entre eux par les constituants Adénine et Thymine d'une part et Guanine et Cytosine d'autre part, qui s'enroulent en hélice. L'ADN est présent dans les cellules de tous les êtres vivants ; chez les animaux et les végétaux, l'ADN se trouve dans le noyau des cellules. En comparant les 4 bases aux 4 lettres de l'alphabet génétique, on peut dire

que dans chaque noyau de chaque cellule de l'être humain se cache un livre écrit avec les lettres A, T, C et G.

Allèles

Un même gène peut avoir différentes formes ; ces différentes formes sont les allèles. Un être humain a pour chacun de ses gènes, 2 allèles, chacune provenant de l'un de ses parents. Des allèles différents produisent des variations des caractéristiques héritées telles que la couleur des yeux ou le groupe sanguin. Certaines formes d'allèles sont récessives et d'autres sont dominantes. Pour certains gènes, le phénomène d'empreinte (imprinting) est le phénomène biochimique qui détermine laquelle des 2 allèles sera active chez l'individu.

Ce glossaire a été réalisé en reprenant les textes de différents glossaires, trouvés sur Internet, comme ceux consultables à : http://www.gene-abc.ch/lex/index_f.html (15.02.2003); <http://www.dictionnaire-biologie.com> (19.05.2006).

ARN

Acide ribonucléique. Nom de la substance chimique qui compose les copies des gènes. Les gènes dans le noyau sont faits d'ADN. Les copies des gènes, par contre, sont composées d'ARN, avec les quatre constituants A, U, G et C. Ainsi, au lieu de la Thymine, on trouve de l'Uracile (U) dans l'ARN.

Avant qu'une cellule puisse lire un gène, elle doit produire une copie de ce gène dans le noyau. Les deux brins du filament génétique (ADN) se séparent à l'endroit où se trouve le gène, de sorte que les lettres A, C, G et T sont libres. Le duplicateur (ARN polymérase) dans le noyau utilise alors un des brins comme l'original qu'il copie lettre par lettre. Il y a une différence entre la copie du gène et son original : au lieu de la Thymine, on trouve l'Uracile. La copie du gène émigre ensuite du noyau cellulaire vers le cytoplasme et les ribosomes (« usines ») qui lisent la copie et fabriquent la protéine correspondante. En résumé, la cellule fabrique dans le noyau une copie d'ARN (avec les composants A, C, G et U) à partir d'un gène original d'ADN (avec les composants A, C, G et T). La copie émigre vers les ribosomes.

Base

Petite molécule incluse dans les nucléotides. Il existe 4 bases différentes : Adénine, Thymine, Guanine et Cytosine. Chaque brin d'ADN est formé de deux brins constitués de l'enchaînement de nucléotides, enroulés en hélice. Les bases maintiennent ensemble les deux brins de l'ADN (A d'un brin s'associe toujours à un T sur l'autre brin, et C toujours avec G).

Biotechnologie

Ensemble des méthodes et techniques utilisant comme outils des organismes vivants (cellules, bactéries, etc.) ou de parties de ceux-ci (gènes, enzymes, etc.). A côté de la biotechnologie "classique" (fabrication du pain ou de la bière à l'aide de levures par exemple), est apparue la biotechnologie "moderne", principalement basée sur la connaissance des gènes (voir par exemple, les OGM).

Caractères héréditaires

Les caractères héréditaires sont les caractères qui peuvent être transmises des parents aux enfants, i.e. caractères génétiquement déterminés (par exemple, Couleur des yeux, groupe sanguin, etc.). Les caractères héréditaires se distinguent des caractéristiques apprises. Certaines caractéristiques sont à la fois déterminées par les gènes (héréditaires) et par le milieu. Il est par exemple admis scientifiquement que l'intelligence, le talent musical, etc. sont déterminés à la fois par les gènes et l'environnement. Il n'existe pourtant aucun « gène de l'intelligence » ou tout autre du même type. Les capacités intellectuelles, la créativité, les dons musicaux, pour ne citer qu'eux, sont transmis par de nombreux gènes, qui, pris isolément, n'exercent qu'un effet plutôt limité.

Cellule (au sens biologique)

La plus petite unité capable de vivre de manière autonome. Tous les organismes vivants sont composés de cellules ; c'est l'unité de base de tout être vivant. Les organismes les plus simples ne sont constitués que d'une seule cellule. Les bactéries par exemple sont unicellulaires. Elles n'ont pas de noyau (elles sont dites procaryotes): leur ADN est ainsi répandu dans toute la cellule, qui ne contient pas tous les organites que des cellules eucaryotes (avec noyau). Les êtres vivants plus développés, c'est-à-dire les plantes, les animaux et l'homme sont pluricellulaires, composés d'une grande quantité de cellules (pour les êtres humains, entre 60'000 à 100'000 milliard). Les cellules humaines et animales se ressemblent beaucoup. Les cellules végétales aussi: elles ont une membrane plus épaisse que les cellules humaines et possèdent en plus des chloroplastes qui transforment l'énergie solaire en énergie lumineuse (photosynthèse).

En principe, toutes les cellules de l'homme sont construites sur le même modèle : elles sont entourées d'une enveloppe (la membrane cellulaire). L'intérieur de la cellule est composé du noyau cellulaire, qui contient les chromosomes, et donc les gènes, et du cytoplasme qui contient les organites. C'est dans le cytoplasme que se déroule l'essentiel des réactions

chimiques nécessaires au fonctionnement de la cellule, comme, par exemple, la synthèse des protéines.

Parmi les organites, les ribosomes produisent les protéines (usines à protéines) en lisant la copie du gène, fabriquant les acides aminés et les mettant bout à bout, les lysosomes ont pour fonction l'élimination des substances ("poubelle"), les mitochondries produisent l'énergie ("piles"), le réticulum endoplasmique transporte les substances, etc. Les globules rouges n'ont pas de noyau.

Une cellule est composée d'eau (77%), de protéines (14%), et d'autres substances, tels que ADN, ARN, sel, graisse, sucre (9%).

Parmi les 100 billions de cellules du corps humain, on distingue environ 250 types de cellules différentes (cellules nerveuses, osseuses, musculaires, globules rouges et blancs du sang, etc.) qui ont des formes et des fonctions différentes. Mais, chaque cellule d'un être vivant contient les mêmes gènes. Par exemple, une cellule cardiaque chez l'homme a les mêmes gènes qu'une cellule nerveuse ou musculaire. Les gènes ne sont pas des particules individuelles et libres dans le noyau, mais ils sont « emballés » dans ce que l'on nomme les chromosomes.

Cellule souche

Cellules qui ont deux caractéristiques particulières. Elles peuvent se renouveler d'elles-mêmes par division et multiplication et elles peuvent devenir, après maturation, des types de cellules variés et munis de fonctions différentes et spécifiques (par exemple, cellules fonctionnelles du cœur, du muscle ou du foie). Par exemple, les cellules souches du sang donnent aussi bien des globules rouges que des globules blancs. De sa conception à sa mort, l'organisme contient des cellules souches, mais chez l'adulte, leur capacité de différenciation est réduite. Globalement, on peut ainsi distinguer les cellules souches totipotentes, pluripotentes, et multipotentes. Les cellules souches totipotentes (qui peuvent produire tous les tissus et tous les organes et donc engendrer un être humain dans sa totalité) ne se trouvent que chez l'embryon (jusqu'à 8 cellules). Les cellules pluripotentes produisent 200 types de cellules différentes, mais ne peuvent pas produire la totalité d'un être humain : elles sont constituées par les cellules embryonnaires entre 16 et 32 cellules. Enfin, les cellules multipotentes sont les cellules souches sanguines, les cellules souches du système nerveux, ou encore du système musculaire. Elles ont un pouvoir de différenciation plus réduit que celui des cellules souches embryonnaires. L'utilisation des cellules souches à des fins thérapeutiques ouvre la voie à la

thérapie cellulaire, qui consiste à greffer des cellules souches pour régénérer un tissu ou un organe endommagé.

Chromosome

Un chromosome contient un filament génétique entortillé, fait d'ADN. Une cellule du corps humain contient, dans son noyau, 46 filaments génétiques ou chromosomes. Quand on observe un noyau cellulaire au microscope, on n'aperçoit généralement rien de plus qu'une tâche sombre. Par contre, quand une cellule est en train de se diviser, on distingue à partir d'un certain moment les chromosomes, qui ressemblent à des structures en forme de X. Le filament génétique est un échafaudage de protéines autour desquelles est entouré un très long et très fin filament qui contient une série de gènes. Chaque chromosome est formé d'une molécule d'ADN enroulée autour de protéines.

Chaque cellule du corps humain possède deux exemplaires de chaque chromosome ($2 \times 23 = 46$ chromosomes): ces cellules sont dites diploïdes. Les chromosomes se présentent donc par deux. Des 23 paires chromosomiques de l'être humain, une seule détermine le sexe de l'individu. Chez les filles, cette paire est composée de deux chromosomes X, alors que les garçons possèdent un chromosome X et un chromosome Y. La division de ces cellules conduit à deux cellules génétiquement identiques. Les cellules sexuelles (gamètes) sont dites haploïdes, c'est-à-dire qu'elles n'ont que 23 chromosomes. Elles résultent de la méiose (mode particulier de division cellulaire).

Clonage

Procédé qui permet la fabrication par reproduction d'une copie génétiquement identique à l'original. Dans la nature, le clonage est un mécanisme largement répandu (par exemple, la reproduction des organismes unicellulaires, des bactéries par exemple, peut être considérée comme du clonage), mais chez les êtres humains et les animaux (c'est-à-dire lorsque la reproduction est sexuée), ce phénomène est une exception : seuls les vrais jumeaux, dits monozygotes car issus du même œuf, sont des clones. Les clones sont des organismes génétiquement identiques (par exemple, jumeaux identiques chez l'homme ; bactéries et autres cellules qui se sont formées par division d'une seule bactérie ou d'une seule cellule).

Le principe du clonage in vitro (en laboratoire) consiste à remplacer le noyau d'un ovule, par le noyau d'une cellule de l'organisme à cloner. On stimule ensuite l'ovule transformée pour qu'il devienne un embryon. Le clonage reproductif consiste à pousser le développement à son

terme, c'est-à-dire jusqu'à la naissance en introduisant l'embryon dans l'utérus d'une mère porteuse. Le clonage thérapeutique repose sur la congélation de l'embryon pour stopper son développement et pouvoir utiliser ses cellules en cas de déficits des cellules de l'organisme mère en évitant des rejets (toutes les cellules provenant alors d'un même organisme).

Code génétique

Le langage de la copie du gène (ARN, composé de A, U, C et G) est traduit par le ribosome en langage des protéines (composé d'acides aminés). L'information de la copie du gène se présente sous forme de groupes de trois lettres qui définissent chacun un acide aminé donné. Cette clef de déchiffrement s'appelle « code génétique ». Plusieurs groupes de 3 bases peuvent coder pour un même acide aminé (redondance du code génétique), ainsi certaines mutations n'ont aucune conséquence (lorsque deux codons (i.e. 2 combinaisons de 3 bases sur l'ADN codant pour un acide aminé) correspondent au même acide aminé

Ce code (A, C, G et T) est commun à tous les êtres vivants: chez tous les êtres vivants, un même triplet correspond à un même acide aminé.

Crossing over

Aussi appelé recombinaison, c'est un processus d'échange de matériel génétique entre chromosomes homologues pendant la méiose. Phénomène qui se produit parfois pendant la formation des cellules sexuelles (méiose) : une paire de chromosomes (l'une provenant de la mère et l'autre du père) se brise et des segments passent de l'une à l'autre.

Division cellulaire

Processus par lequel une cellule-mère donne naissance à deux cellules-filles permettant ainsi la multiplication des cellules. La 1ère étape de cette division (méiose ou mitose) consiste à répliquer, copier l'ADN: l'ADN se scinde en deux brins, chaque brin séparé servant de modèle pour fabriquer un brin complémentaire. Deux nouvelles molécules d'ADN en résultent. Des erreurs pendant la réplication peuvent se produire qui sont des mutations (elles sont héréditaires si elles se produisent pendant la méiose (production de gamètes) et produisent des maladies héréditaires).

Empreinte génétique

Portion d'ADN spécifique à chaque individu. Certaines séquences de bases permettent la fabrication de protéines (ce sont les gènes), mais il existe sur l'ADN des portions qui ne codent pour aucune protéine. Certaines d'entre elles sont spécifiques à chaque individu et constituent sa signature génétique (empreinte génétique). L'empreinte génétique d'un individu

provient des multiples combinaisons possibles des empreintes génétiques de ses 2 parents. La probabilité pour que deux êtres humains est la même empreinte est quasiment nulle (sauf pour de vrais jumeaux). On peut ainsi à partir d'un échantillon d'ADN déterminer les caractéristiques d'une empreinte et par comparaison attribuer la paternité d'un enfant, etc.

Fécondation

Processus propre à la reproduction sexuée, où deux gamètes se rencontrent pour former un œuf qui pourra se développer et donner naissance à un bébé. C'est donc la fusion d'un ovule (23 chromosomes) et d'un spermatozoïde (23 chromosomes). Il en résulte un œuf fécondé (46 chromosomes), c'est-à-dire une cellule, qui va se multiplier par division cellulaire. A partir d'un seul œuf fécondé se développe un être humain avec environ 10000 milliards de cellules (1 + 14 zéros !). L'œuf se divise en 2 cellules qui font de même de leur côté et ainsi de suite. Chaque cellule a 46 chromosomes, dont une moitié vient du père (par le spermatozoïde) et l'autre de la mère (par l'ovule).

Gamètes

Cellules sexuelles, cellules germinales. Les ovules chez la femme et les spermatozoïdes chez l'homme. Elles possèdent un exemplaire de chaque chromosome (23 chromosomes): elles sont dites haploïdes. Tous les autres types de cellules du corps humain possèdent deux exemplaires de chaque chromosome (46 chromosomes ou 23 paires de chromosomes): elles sont dites diploïdes.

Gène

Une section définie de l'ADN. Les gènes sont des filaments qui sont reliés entre eux (le long filament de gènes qui en résulte forme l'ADN). Les gènes reliés sont enroulés pour former les chromosomes. Le gène est le support matériel de l'hérédité. L'homme possède environ 30000 gènes (certaines espèces animales ou végétales possèdent plus de gènes que l'homme). Un même gène peut avoir différentes formes ; ces différentes formes sont les allèles. Des allèles différents produisent des variations des caractéristiques héritées telles que la couleur des yeux ou le groupe sanguin. Les gènes ne possèdent pas tous le même nombre de constituants A, T, C, G, ni dans le même ordre. Un gène court fait la longueur de quelques 500 éléments, un long en compte plusieurs centaines de milliers. La séquence des constituants A, T, C et G peut être comparée à une phrase qui dit comment telle protéine doit être fabriquée. On peut dire qu'un gène est le plan de construction d'une protéine.

Les cellules ne sont pas toujours en train de « lire tout le livre, toutes les phrases ». Une cellule particulière ne lit que les gènes (phrases) avec les informations qui lui sont

nécessaires sur le moment pour pouvoir remplir sa fonction dans le corps. Une cellule musculaire ne lit pas les mêmes gènes qu'une cellule nerveuse.

Génétique

L'étude scientifique de l'hérédité : comment des traits ou des caractéristiques particulières sont transmis des parents aux enfants. La génétique moléculaire concerne l'étude de la structure moléculaire de l'ADN et de l'information encodée, ainsi que des bases biochimiques de l'expression des gènes et de leur régulation.

Génie génétique

L'ensemble des procédés pour isoler, lire, copier, transformer, réordonner des gènes ou pour transférer un gène d'un être vivant à un autre. Il est par exemple possible de transférer un gène humain sur une bactérie. Grâce à ce nouveau gène, la bactérie produit alors la protéine humaine correspondante. On utilise entre autres des protéines qui permettent de couper, modifier, multiplier les molécules d'ADN.

Génome - décryptage du génome

La totalité des gènes d'un être vivant s'appelle génome. Le génome est l'ensemble de l'ADN contenu dans le noyau de chacune des cellules d'un organisme. Il correspond à l'ensemble des bases de l'ADN. Le génome humain est une chaîne de 3,4 milliard de bases. Les génomes de deux personnes diffèrent en moyenne d'une base sur mille). Chaque cellule d'un être vivant contient les mêmes gènes. Le *Human Genome Organisation* = Projet Génome Humain a pour but de caractériser tous les gènes de l'être humain, c'est-à-dire de connaître la composition d'un gène (bases) et sa localisation exacte sur un chromosome.

Génotype

Les gènes portés par un individu (à distinguer du phénotype qui correspond à la traduction de ces gènes en caractéristiques physiques ou physiologiques). Le génotype d'un individu correspond à l'information génétique portée par ses gènes, qu'elle soit ou non exprimée sous forme de protéines. Le génotype est l'ensemble des allèles paternel et maternel de tous les gènes d'un individu.

Hérédité

Transmission des gènes des parents à leurs enfants. Alors que les cellules du corps possèdent deux exemplaires de chaque chromosome ($2 \times 23 = 46$ chromosomes) - et donc de chaque gène - les cellules sexuelles humaines n'ont qu'un exemplaire de chaque chromosome (23 chromosomes). Lors de la fusion de l'ovule (23 chromosomes) et du

spermatozoïde (23 chromosomes) naît un œuf fécondé (46 chromosomes) à partir duquel se développera un enfant. De cette manière, les enfants héritent pour moitié de gènes de la mère et pour moitié de gènes du père.

Méiose

Un type de division cellulaire qui aboutit à une cellule fille contenant la moitié des chromosomes de la cellule mère (de départ). Le nombre de chromosomes est ainsi réduit de moitié. Autrement dit, ce type particulier de division cellulaire intervient dans la préparation des gamètes (cellules sexuelles). A partir d'une cellule diploïde, elle se divise en 4 gamètes. Lors de cette division, chaque paire de chromosomes de la cellule de départ échange des morceaux d'ADN. Ces chromosomes sont ensuite distribués au hasard dans l'un des 4 gamètes qui sont donc tous génétiquement différents les uns des autres et différents de la cellule d'origine. C'est ce qui explique la diversité de l'espèce humaine.

Mitochondries

Voir Cellule.

Molécule

Élément de base de la matière, qu'elle soit inerte ou vivante. Une molécule de n'importe quelle substance est l'unité physique la plus petite de cette substance particulière. Une molécule est un assemblage d'atomes disposés toujours selon la même architecture. Les molécules sont la base de la matière vivante ou non. La plupart des molécules du vivant (ADN, protéine) sont de grosses molécules (des macromolécules), mais ne diffèrent pas dans leur principe des molécules de la matière inerte.

Mutant

Résultat d'une mutation, c'est-à-dire d'une modification spontanée de l'ADN ou provoquée par des influences extérieures (par exemple agents chimiques, rayons, virus). La mutation est un changement du nombre, de l'arrangement ou de la séquence de molécules d'un gène. C'est une modification de la séquence des bases de l'ADN (altération d'une base, remplacement d'une base par une autre, insertion ou suppression d'une base). Elles peuvent se produire à cause de facteurs extérieurs (UV, agents chimiques, etc.), mais aussi être dû à un défaut de copie de l'ADN lors de la division cellulaire. Certaines mutations peuvent n'avoir aucun effet (redondance), mais d'autres peuvent entraîner une modification de la protéine codée par le gène, voire l'absence de la protéine. Les altérations produites par mutation se transmettent des cellules mères aux cellules filles. Si elles se produisent dans les cellules sexuelles, elles se transmettent des parents aux enfants.

OGM

Organisme génétiquement modifié = organisme transgénique. Organisme sur lequel a été transféré de l'ADN étranger à l'aide des méthodes du génie génétique. Les nouveaux gènes sont transmissibles à la descendance de l'organisme modifié. Un OGM est un animal, une plante ou un micro-organisme possédant dans son génome un ou plusieurs gènes étrangers issus d'une autre espèce, appelés transgènes. Le but est de faire fabriquer par l'OGM une protéine (codée par le transgène) utile pour la recherche (par exemple : souris transgénique dotées d'un gène humain permettant d'étudier une maladie), la médecine (production de médicaments : par exemple, insuline, hormone de croissance) ou l'agriculture (par exemple ; plantes possédant des gènes de résistances aux insectes ou aux herbicides).

Phénotype

Voir Génotype. Le phénotype est l'ensemble des caractéristiques d'un individu, que ce soit son apparence physique (couleur des yeux, taille, etc.) ou sa physiologie. Il est déterminé en partie par les gènes et en partie par l'environnement, le mode de vie, etc. L'environnement joue un rôle important dans la régulation de l'expression des gènes, c'est-à-dire leur traduction à un moment donné, dans une cellule donnée. Par exemple, un gène de prédisposition à un cancer peut très bien ne jamais s'exprimer suivant le mode de vie de l'individu. Le phénotype est une réalisation particulière d'un génotype dans un environnement donné.

Prion

Protéine anormale responsable de maladies mortelles du cerveau comme la maladie de la vache folle ou la maladie de Creutzfeld-Jacob. Certaines maladies à prion sont d'origine inconnue. D'autres sont héréditaires ou transmises (entre individus ou entre espèces) de plusieurs façons, dont l'alimentation. Qu'une simple protéine puisse être à l'origine d'une infection est étonnant: les autres maladies infectieuses sont provoquées par des micro-organismes ou des virus.

Protéine

Grande molécule composée d'acides aminés. Les « ouvriers » de la cellule. Les protéines constituent la majeure partie de la cellule et sont responsables de toutes les fonctions vitales du corps. Elles construisent notre corps et se chargent de son bon fonctionnement. Elles sont composées d'acides aminés. Les gènes disent quels acides aminés sont nécessaires à la construction d'une protéine spécifique. Certaines protéines sont formées

de l'enchaînement de quelques dizaines d'acides aminés, d'autres de plusieurs milliers. Chaque protéine a une structure particulière qui dépend de l'ordre des acides aminés et de la façon dont leur chaîne se replie dans l'espace.

Il existe de nombreuses sortes de protéines qui ont des fonctions définies dans le corps. En les regroupant par fonction, on distingue : 1) les hormones ; 2) protéines protectrices : protègent et servent de défense. Par exemple, les anticorps : se fixent sur un corps étranger ou des agents qui rendent malades et qui ont envahis le corps et les rendent inoffensifs ; 3) les enzymes : rendent les réactions chimiques possibles et les accélèrent. Par exemple, l'ADN polymérase qui copie et répare l'ADN ; 4) les protéines de transport : se fixent sur certaines substances pour les transporter (par exemple, l'hémoglobine); 5) protéines contractiles; 6) les protéines structurantes.

Ribosomes

Organites, composants du cytoplasme de la cellule. Ce sont les « usines » de la cellule, qui fabriquent les protéines. Ils déchiffrent la copie d'un gène et fabriquent la protéine qui correspond. Les ribosomes déchiffrent la copie du gène du début jusqu'à la fin, trois bases à la fois. Si, dans une phrase, il est écrit AUGGUGCACCUG..., le ribosome lira AUG GUG CAC CUG... . Cette suite de bases dit au ribosome comment fabriquer une certaine protéine.

Séquençage de l'ADN

Un séquençage d'ADN correspond à déterminer l'ordre exact des paires de bases dans ce segment d'ADN. On obtient une suite de lettres symbolisant les bases : ATGCTCAAG etc. Le séquençage permet d'identifier les gènes, en particulier chez l'homme ceux qui sont responsables de maladies. Il s'agit de couper l'ADN en morceaux (séquences) dont les bases sont identifiées. Pour interpréter ensuite le sens de ces "phrases", il faut repérer les "mots" (gènes) noyés dans une quantité de séquences dénuées de sens (semble-t-il) et localiser leurs zones de régulation.

Thérapie génique

Traitement, thérapie d'une maladie à l'aide de gènes. Thérapie dont le but est d'introduire chez un patient la copie normale du ou des gènes déficients responsables de sa maladie. Le but de la thérapie génique est de guérir une maladie génétique en réparant le gène abîmé qui en est la cause. Il s'agit d'introduire une copie normale dans les cellules qui portent sa version abîmée. Les cellules pourront alors de nouveau fabriquer la protéine qui leur manquait.

ANNEXE 2: POUR L'EXPERIENCE DE FORMATION DE MISE EN SITUATION DES ENSEIGNANTS PARTICIPANT A LA RECHERCHE

Tableau I. – Grille de lecture selon l'intervention socioéducative+

Grille de lecture selon l'intervention éducative (IE)
Représentations des effectuations anticipées (préactions)
1.1. Mise en situation ou mise en contexte
Elément déclencheur Travail de formation à la formulation des situations problématisantes
<i>Dimensions historiques</i> <i>Finalités (Lenoir & Sauvé, 1998a, 1998b, 1998c)</i>
Rapport à l'évolution et aux transformations qui ont marqué la fonction et la pratique enseignante : apprentissage et développement des compétences relatives à l'intervention éducative et des conditions qui concourent à son meilleur exercice.
<i>Dimensions contextuelles</i> <i>Objectifs de la formation par, à et pour l'interdisciplinarité</i>
Rapport au milieu social (rapport aux autres: enseignants, direction, parents, etc.) : renforcer la constitution d'une identité disciplinaire et l'ouverture aux autres disciplines. Rapport au milieu culturel : appréhender et comprendre l'approche d'un contenu dans une perspective globale. Rapport au milieu économique : pratiquer un certain nombre de compétences collectives (dialoguer, concilier des points de vue, planifier un travail d'équipe,...). Rapport au milieu politique (rapport au pouvoir) : produire un dispositif pédagogique interdisciplinaire Rapport aux attentes sociales: explicites et implicites : développer les conditions nécessaires à la réussite d'un dispositif pédagogique interdisciplinaire dans l'institution scolaire
<i>Dimensions curriculaires</i> Rapport aux finalités éducatives Rapport aux finalités institutionnelles Rapport au choix des savoirs retenus Rapport à la structuration des savoirs Rapport de savoirs (place et fonction des savoirs; stratification sociale des savoirs; interdisciplinarité) § Choix sur l'objet de travail
Questionnement : choix du thème et définition de la problématique
<i>Dimensions épistémologiques : Regard global et interdisciplinaire sur une thématique</i> Rapport au savoir sur les représentations des processus "d'accession" au savoir Rapport au savoir sur les représentations des modalités favorisant l'accession au savoir Rapport au savoir sur les représentations du statut et de la place du savoir scientifique (disciplines outils et disciplines objets), scolaire, expérimentiel
<i>Dimensions didactiques</i> <i>Précision et expression sous la forme d'une problématique</i> Rapport aux savoirs à enseigner : Construction d'une représentation interdisciplinaire d'éclairage ou résolution Rapport du rapport de l'élève au savoir (processus cognitifs médiateurs internes) : Orientation du travail

(Schématisation et établissement des relations entre concepts partagés) Rapport aux processus d'enseignement spécifiques aux différentes matières scolaires Rapport de savoirs (hiérarchisation des savoirs, interdisciplinarité)
<i>Dimensions morale et éthique</i> Rapport aux principes, aux normes et aux règles qui guident la conduite sociale Rapport à la réflexion critique sur les valeurs sociales qui influent sur les pratiques Rapport à la responsabilité sociale de l'intervenant face aux situations problèmes
1.1.3. Observation
1.1.3.1. <i>Dimensions socio-affectives : circonscription et orientation du thème pour susciter l'intérêt des apprenants</i> Rapport à l'identité professionnelle Rapport à la formation antérieure Rapport à la motivation Rapport aux options et visées personnelles (intérêts, valeurs, etc.)
1.1.3.2. <i>Dimensions médiatrices : Recensement des apports disciplinaires potentiels</i> Rapport aux processus médiateurs externes des Situations problèmes Rapport aux processus médiateurs externes sur les dispositifs de formation continue ou d'enseignement Rapport aux processus médiateurs externes des démarches Rapport aux processus médiateurs externes des modalités interactives Rapport aux processus médiateurs externes sur les dispositifs d'évaluation
Table de lecture selon l'intervention socioéducative (suite)
<i>Notes</i> : Pertinence du thème par rapport aux objectifs du programme scolaire officiel (curriculum prescrit) Représentations des caractéristiques psychologiques des élèves Représentations cognitives, sociales, culturelles, des visées, etc. des élèves Représentations des modes de fonctionnement (conduite) des élèves en classe Représentations des formules pédagogiques appropriées des élèves
Représentations des effectuations en classe (interaction)
2.1. Planification du cours
Sélection d'une ou de plusieurs questions se rapportant au thème, ou d'une ou de plusieurs hypothèses, ou d'un ou de plusieurs plans de réalisation :
Procédure d'échantillonnage (organisation en groupes multi-âges et multilingues éventuellement)
Procédure de recueil des données (méthodes de recueil) : Prise en compte des programmes d'études (buts, objectifs, démarches, thèmes)
Procédure de traitement de données : opérationnalisation des curricula prescrits
1. Modèles d'interventions éducatives à pratiquer par l'enseignant et leur séquençage prévisionnel : lecture verticale : objectifs nouveaux, saisie du développement séquentiel des connaissances
2. Capacité d'observer sa classe pendant le cours : lecture horizontale: décloisonnement des matières, habiletés, identifiés, contenus intégrables
2.1.4.3. Capacité de communiquer et de collaborer
4. Capacités de soutenir plusieurs démarches d'apprentissage
Collecte des données ou recueil des données ou réalisation (<i>Dimensions organisationnelles</i>)
Représentations sur les activités de gestion de la classe

Capacité à l'organisation : Enseignant compétent à l'organisation
Rapport à la gestion du temps :
Rapport à la gestion de l'espace
Rapport à la gestion des routines
Rapport à la gestion d'un système de discipline (conduite, ordre)
Rapport à la gestion des facteurs externes et internes: événements critiques, perturbateurs, etc.
Capacité à l'analyse réflexive : enseignant compétent à l'analyse réflexive
Capacité à établir des relations harmonieuses avec chaque apprenant : Enseignant compétent à établir des relations harmonieuses avec chaque apprenant
Capacité d'énoncer des valeurs centrales : Enseignant capable d'énoncer des valeurs centrales
2.2.5. Réalisation du projet pédagogique
1. Répartition en groupes multi âges et multilingues
2. Activités d'exploration par l'apprenant
3. Activités d'exploitation et d'expérimentation par l'apprenant
4. Activités d'assimilation des informations par l'apprenant
5. Activités d'accommodation des informations
6. Activités créatrices de l'élève
7. Activités de recherche de l'apprenant
Représentations des effectuations après la classe (postaction)
3.1. Rétro observations
2. Analyse des données ou des réalisations (offre de signification : dispositif instrumental ou procédural, film, etc.)
3.3. Synthèse
3.3.1. Activité de synthèse
3.3.2. Perspective métacognitive
3.3.2.1. Objectivation du cheminement
Tableau I. – Grille de lecture selon l'intervention socioéducative (suite et fin)
3.3.2.2. Objectivation de la ou des démarches mobilisées :
Confrontation des nouveaux acquis avec les perceptions initiales (mise en évidence des adaptations)
1. Confrontation des nouveaux acquis avec les perceptions initiales (mise en évidence des adaptations)
Bilan des apprentissages dans leurs différentes formes : intégration des situations d'apprentissages dans leurs différentes formes
3.3.3.1. Forme intellectuelle
Elève amené à produire de textes signifiants, bien organisés avec des phrases compréhensibles
Apprenant avec le goût à transformer la réalité, explorer l'imaginaire
Apprenant plus autonome pour véhiculer son message
Apprenant qui développe ses idées, résout des problèmes et synthétise l'information recueillie
Apprenant sachant faire des généralisations et applications à partir des faits appris
3.3.3.2. Forme sensible
Apprenant aux organes de sens éveillés
3.3.3.3. Forme corporelle

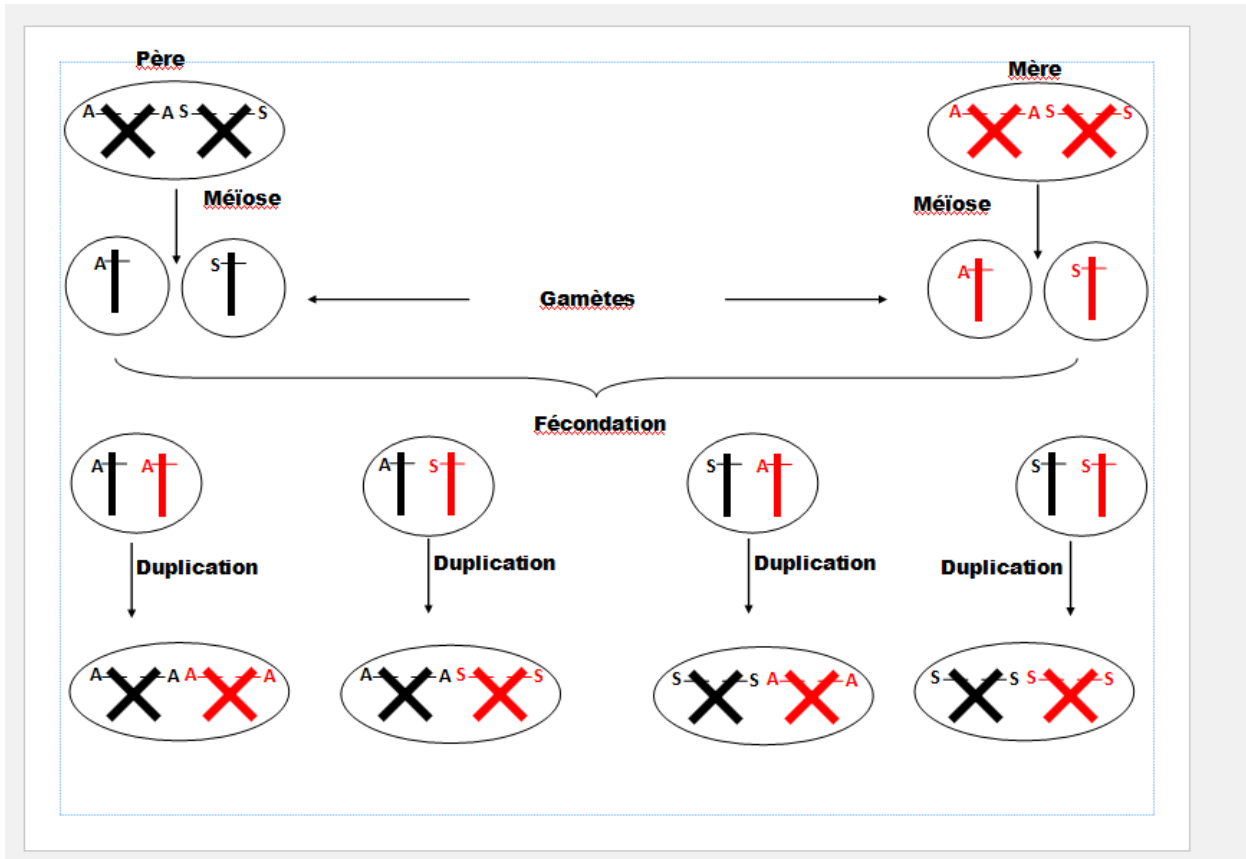
Apprenant développant des compétences au jeu individuel ou en groupe, à la scène, au théâtre, etc.

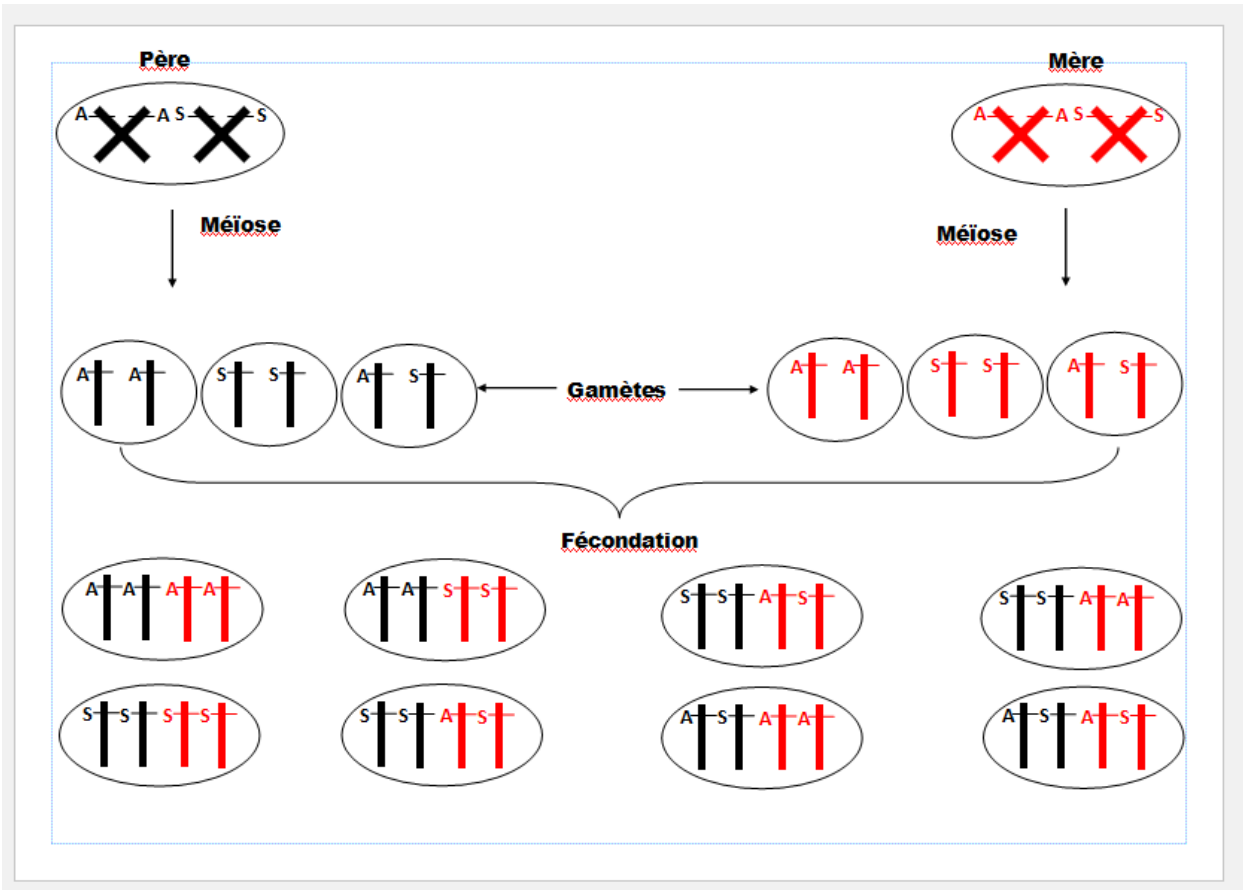
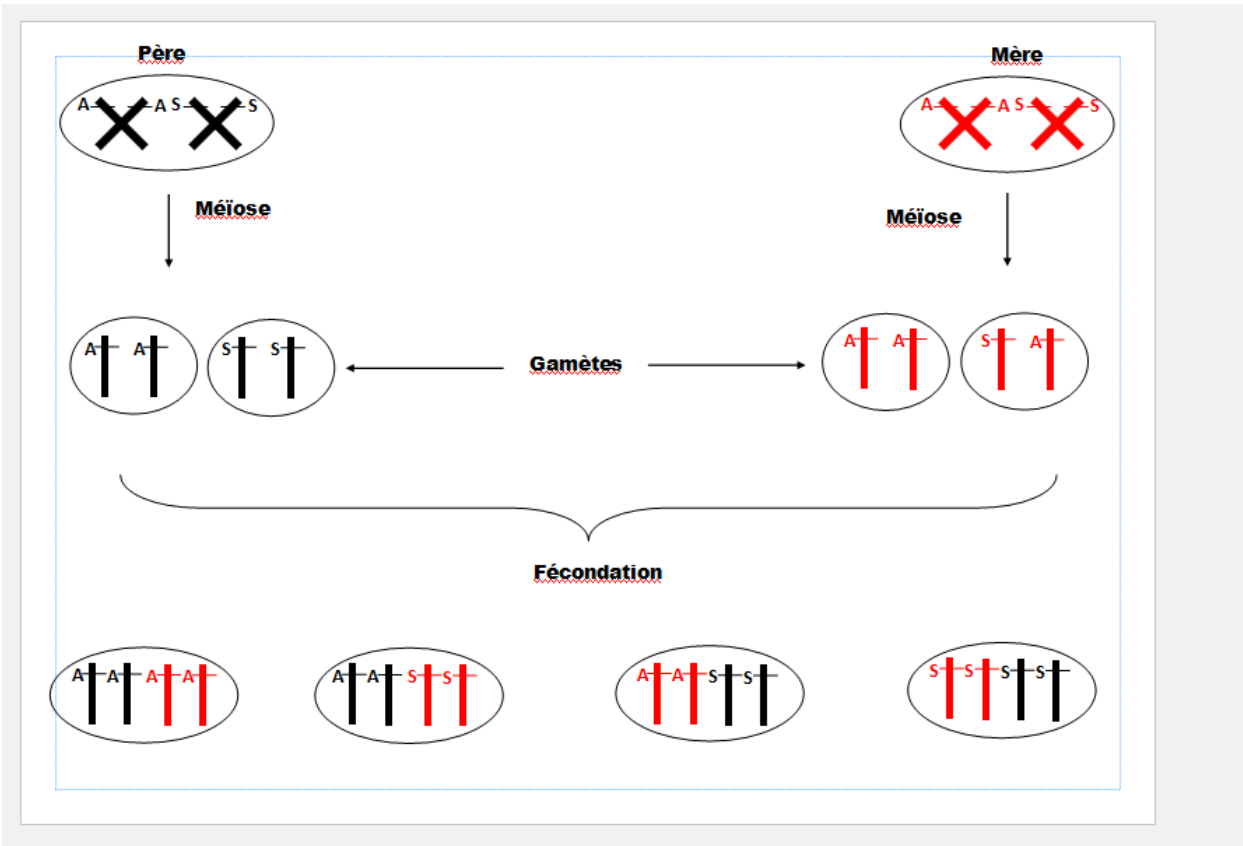
3.3.3.4. Forme manuelle

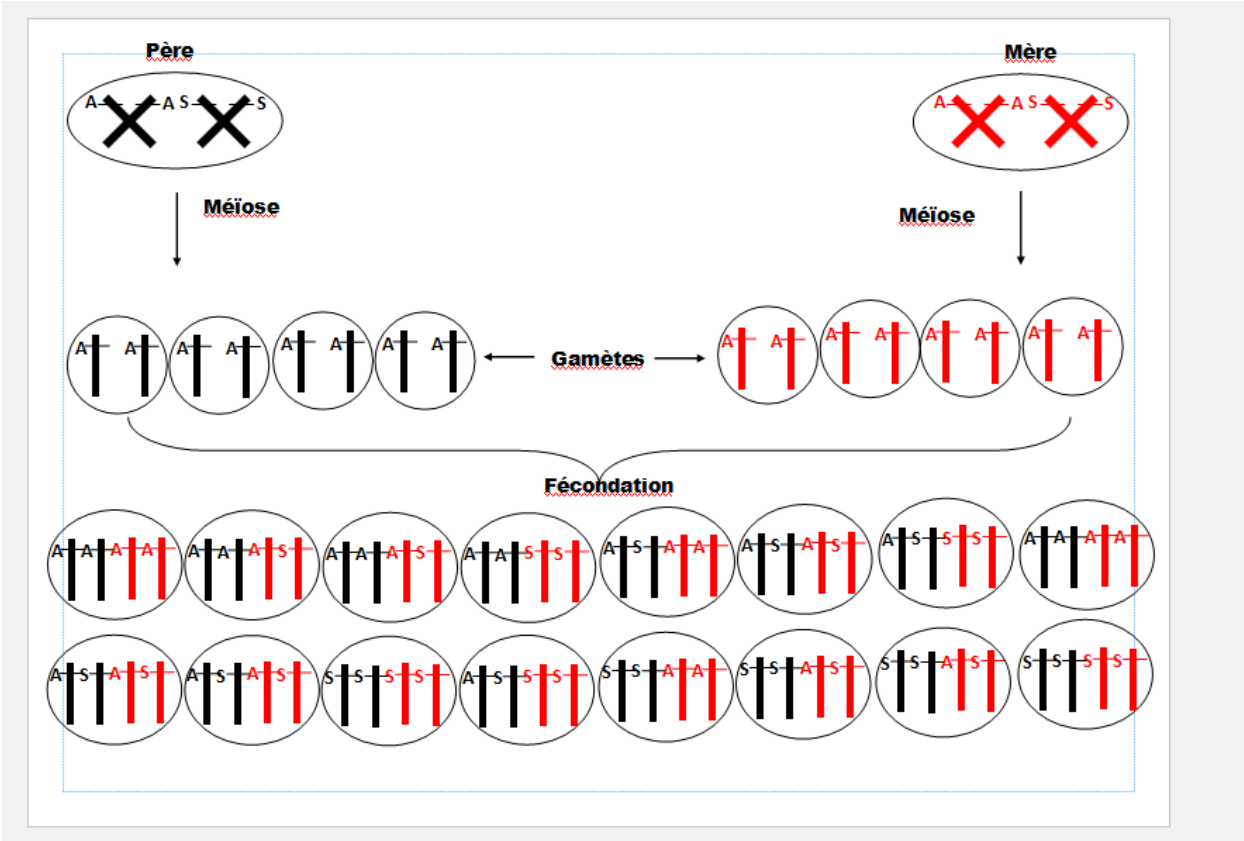
Apprenant développant des compétences au dessin, au graphisme, à réaliser des schémas et modèles respectant les conventions

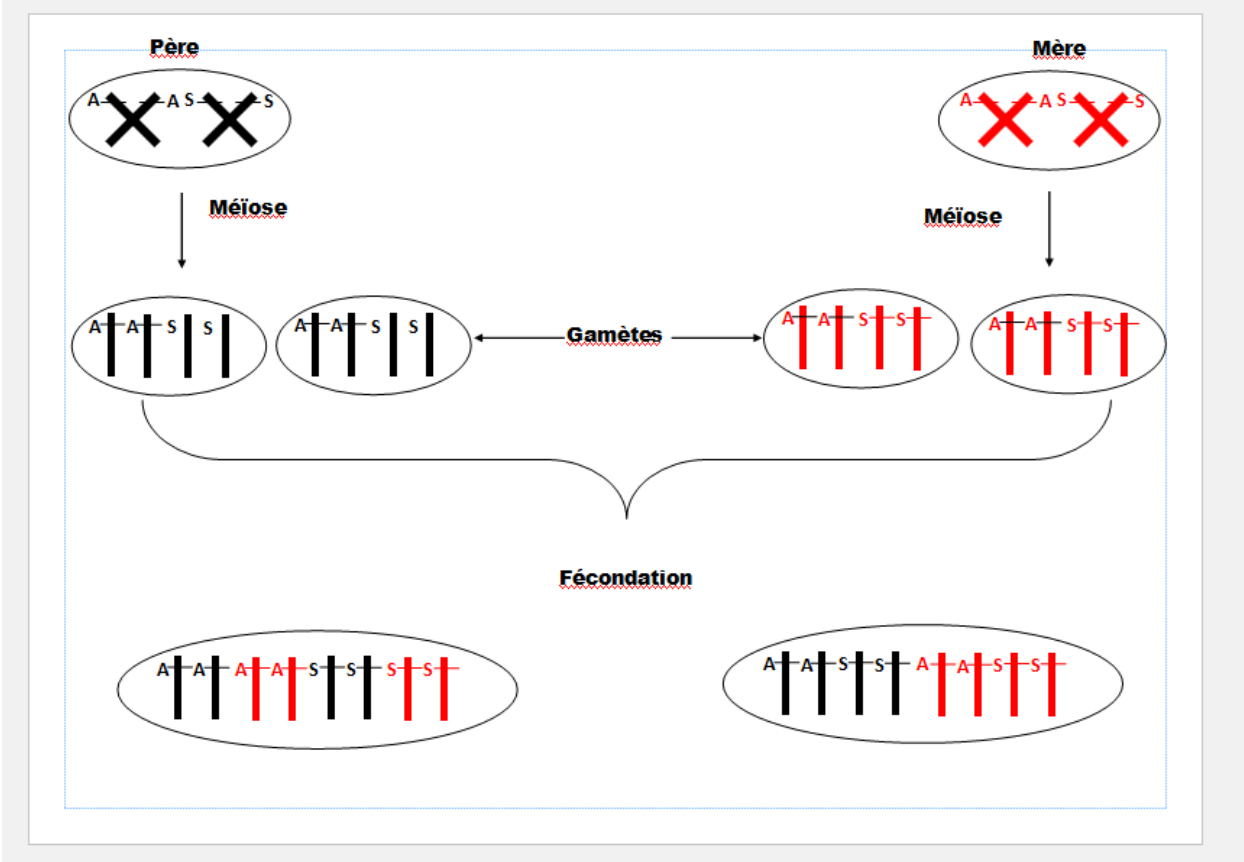
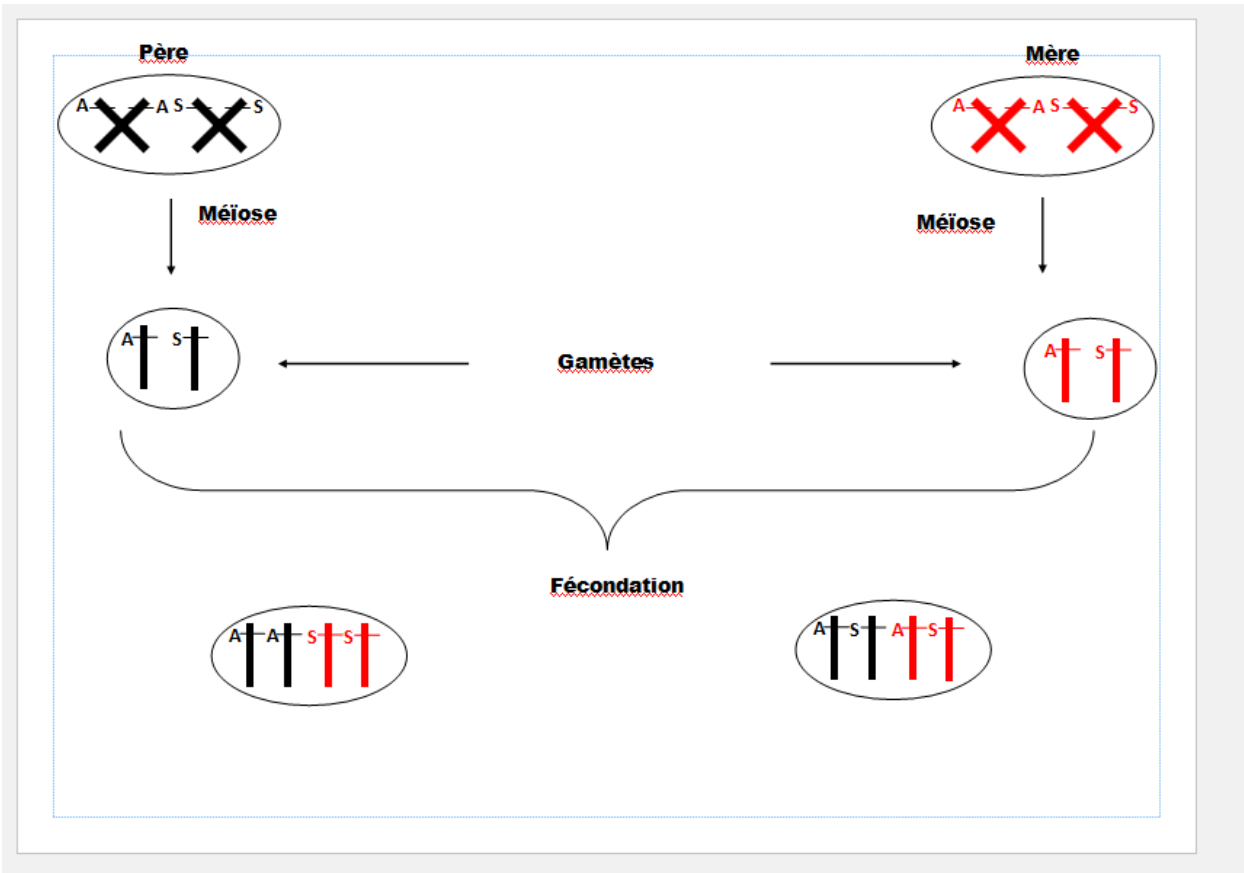
Source : Nneck Bidias (2017), Adaptation : Mongo Onobiono (2022)

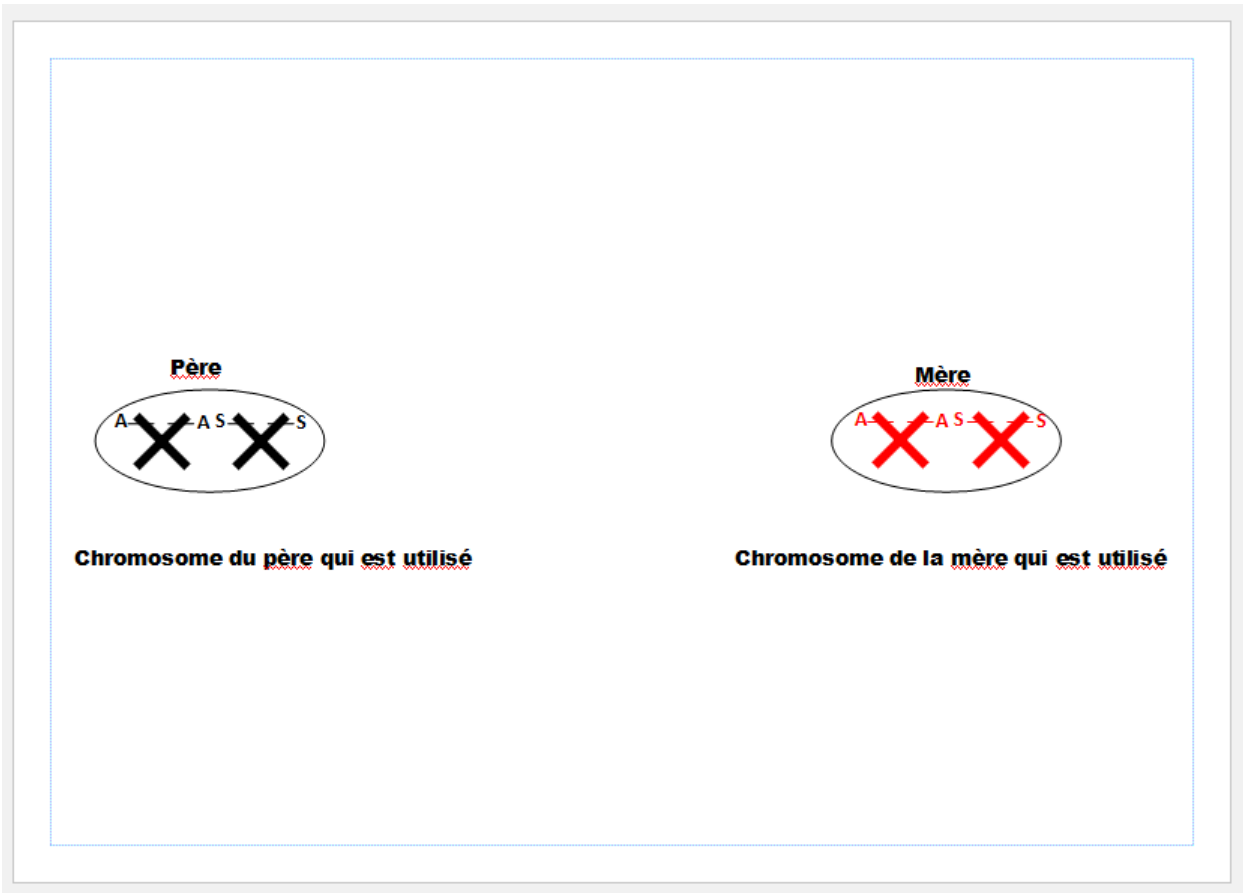
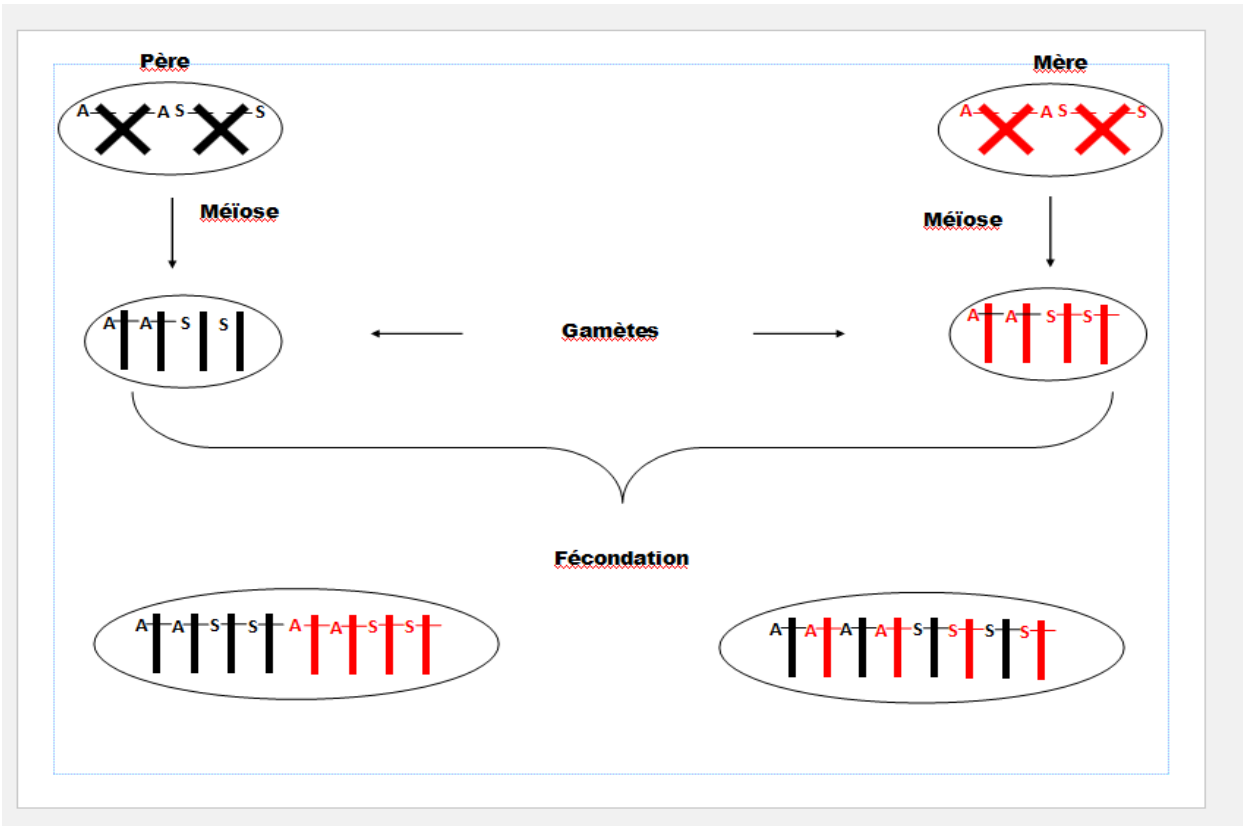
**ANNEXE3 : DIFFERENTS RESULTATS GENERES
PAR LES ELEVES DE TERMINALE
SUR LA PLATEFORME NUMERIQUE
GENEDIDAC**













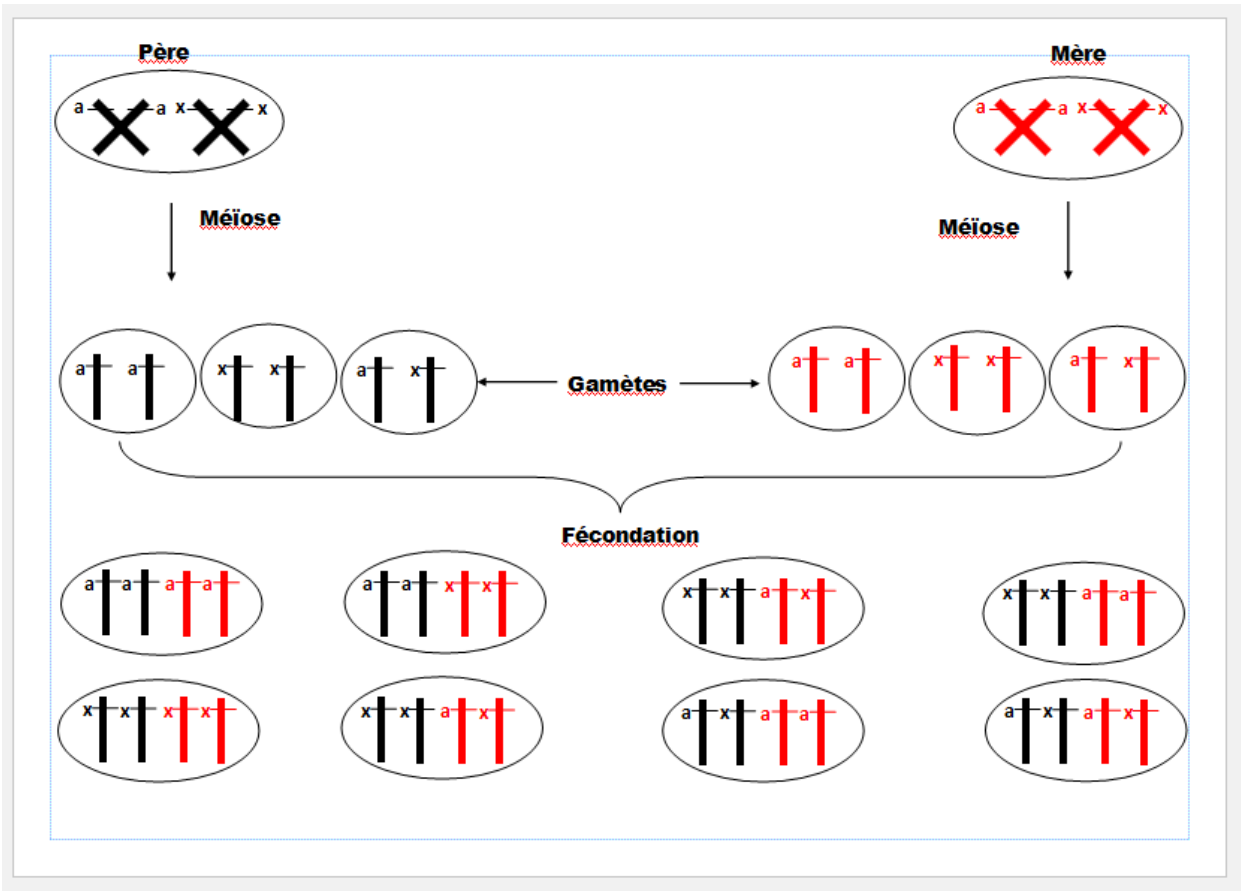
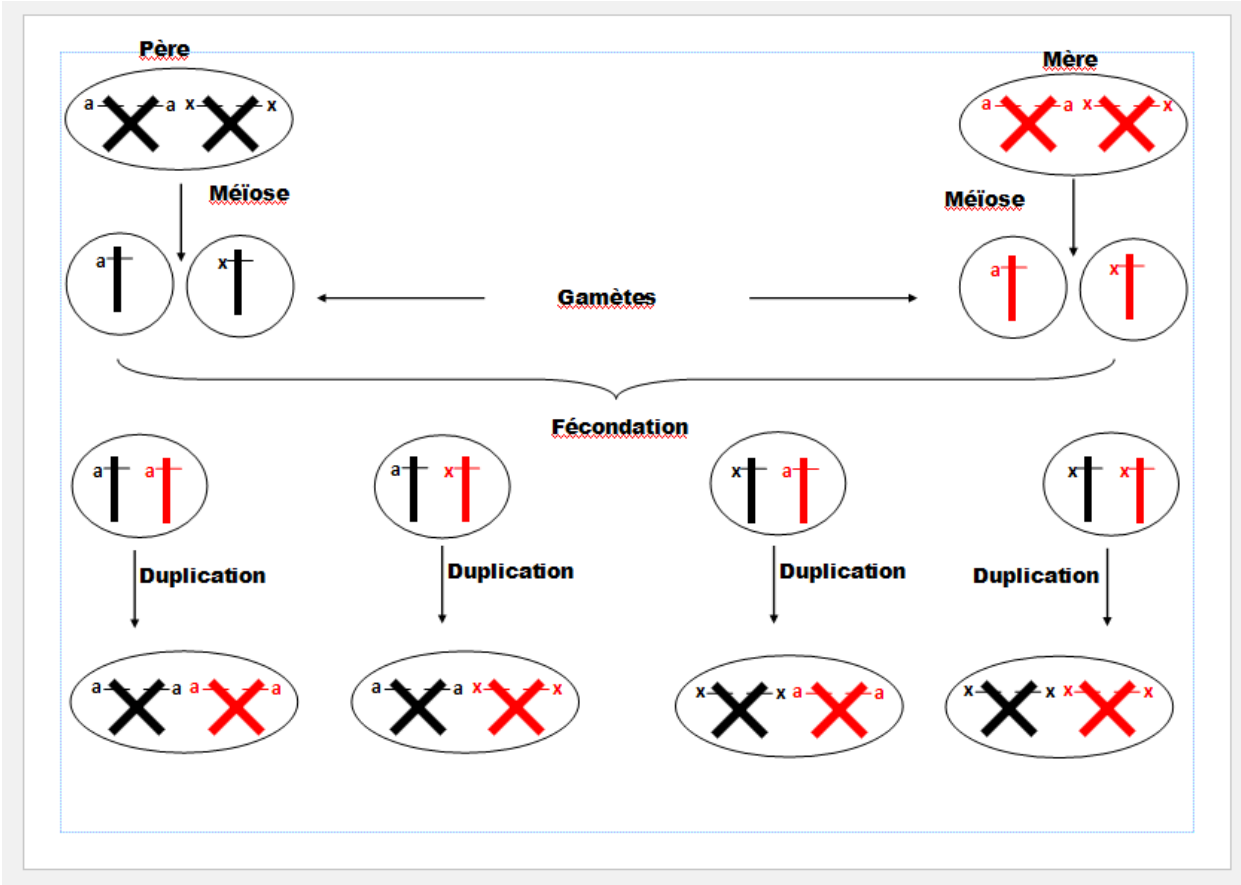
Cellule oeuf saint

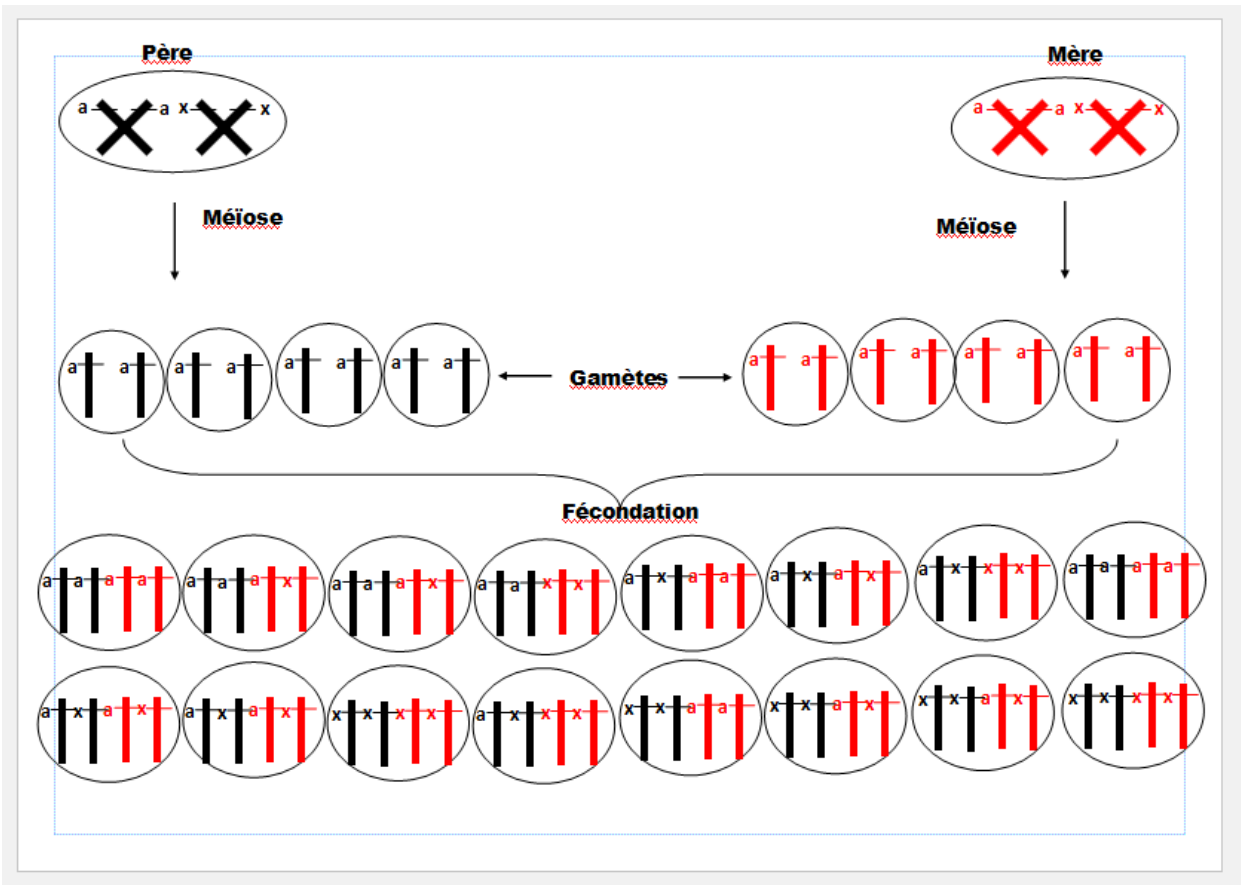
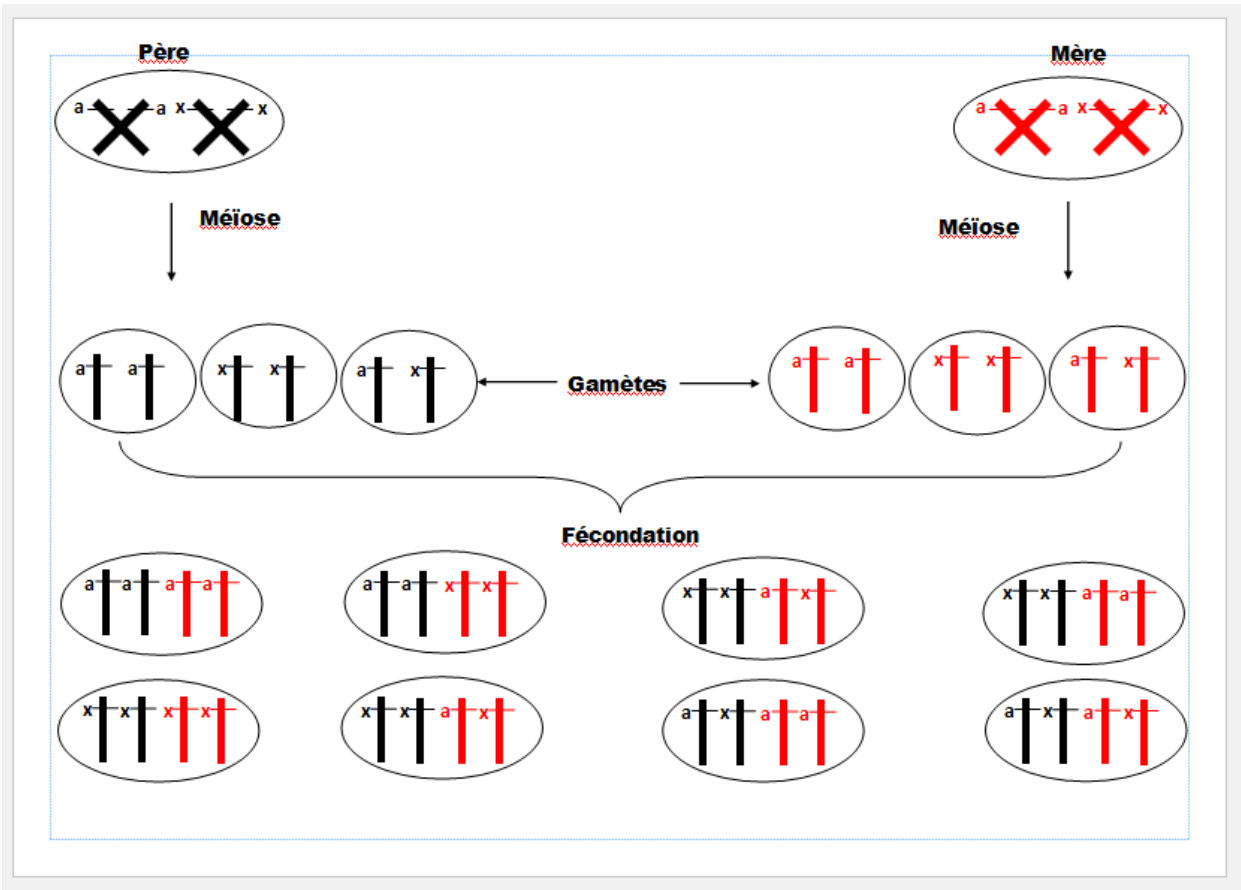


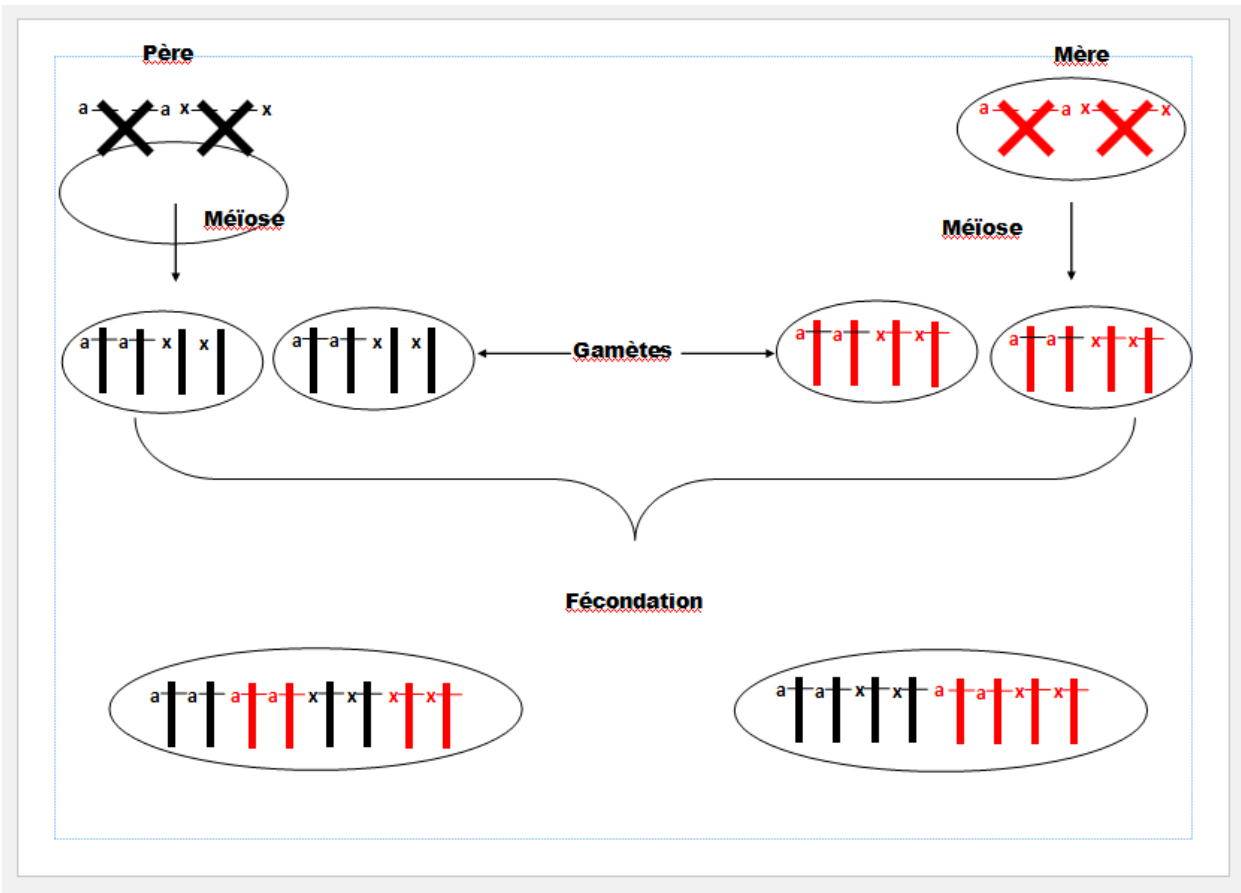
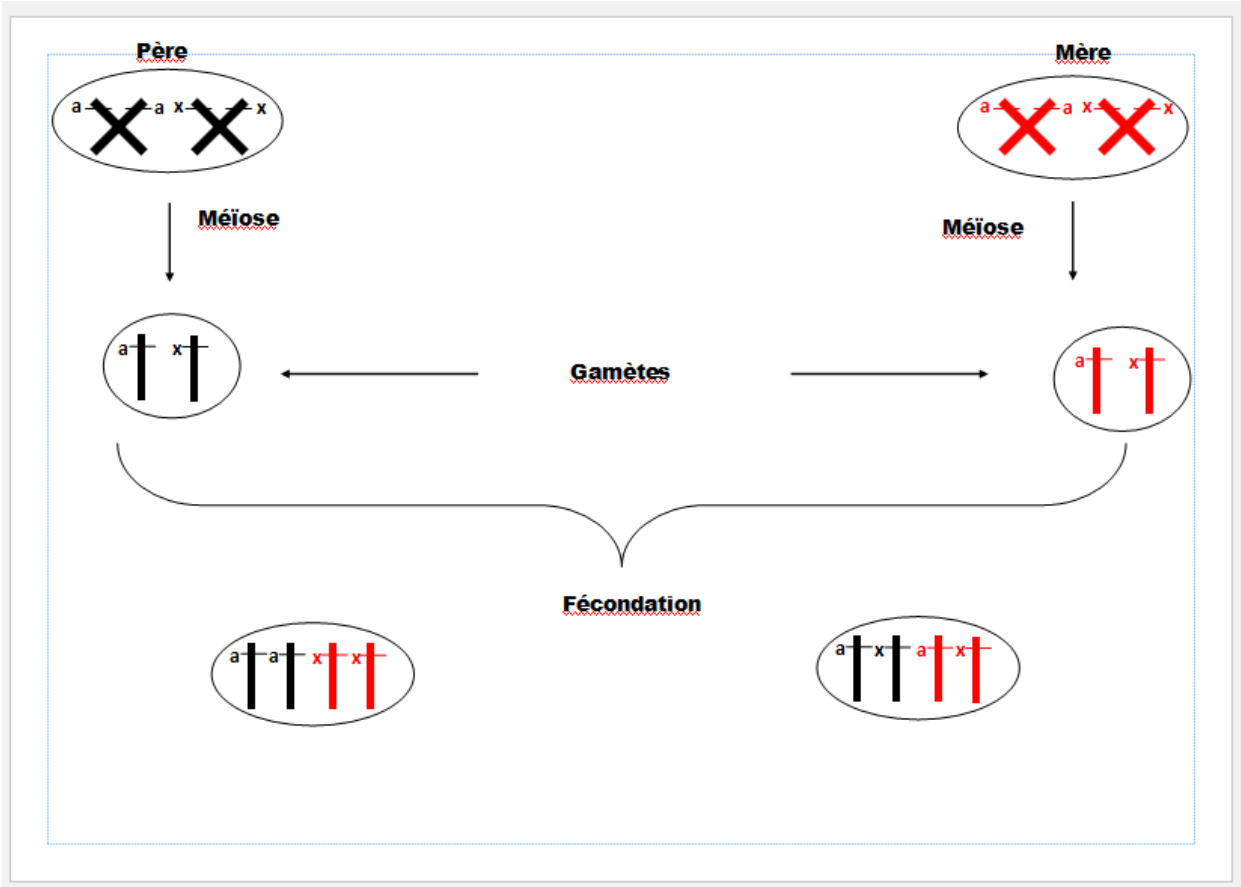
Cellule oeuf porteur de la drépanocytose

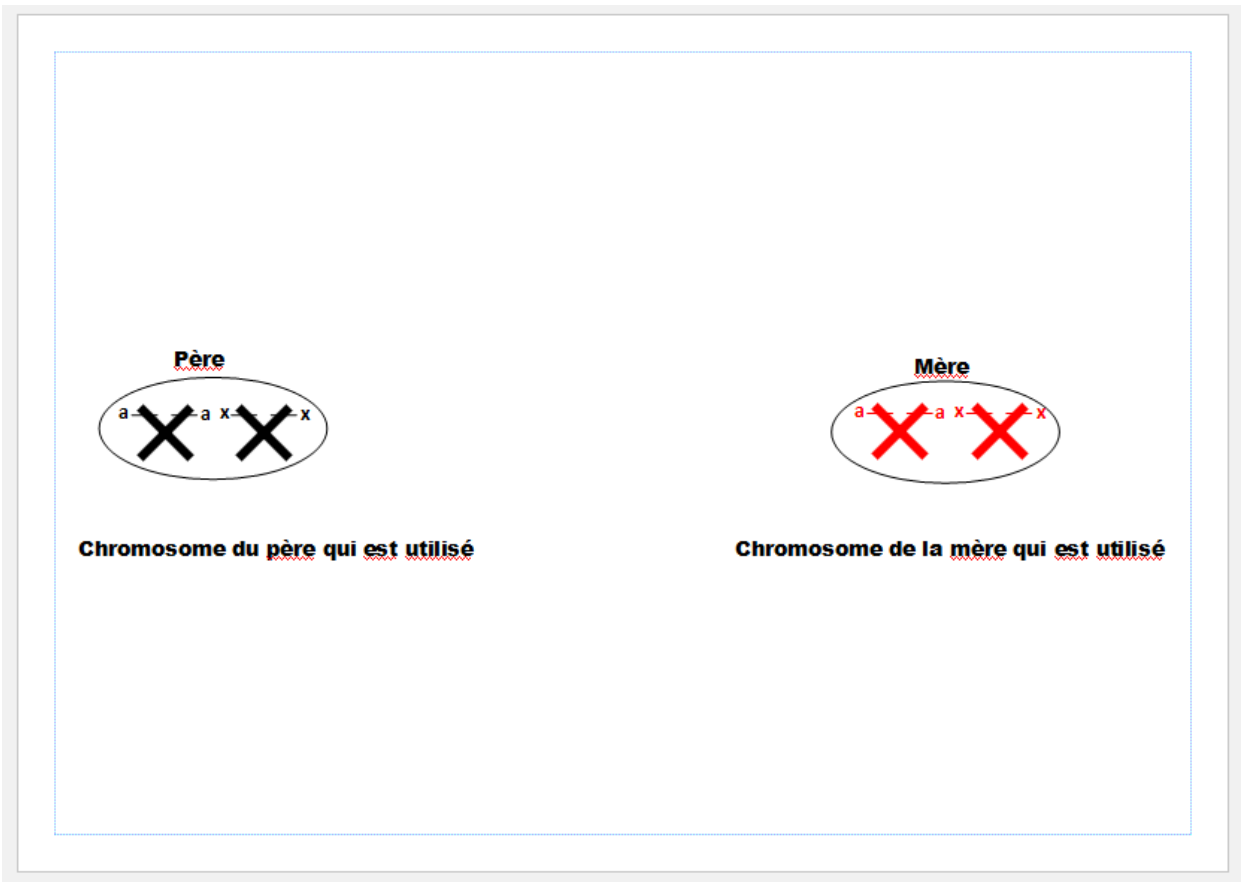
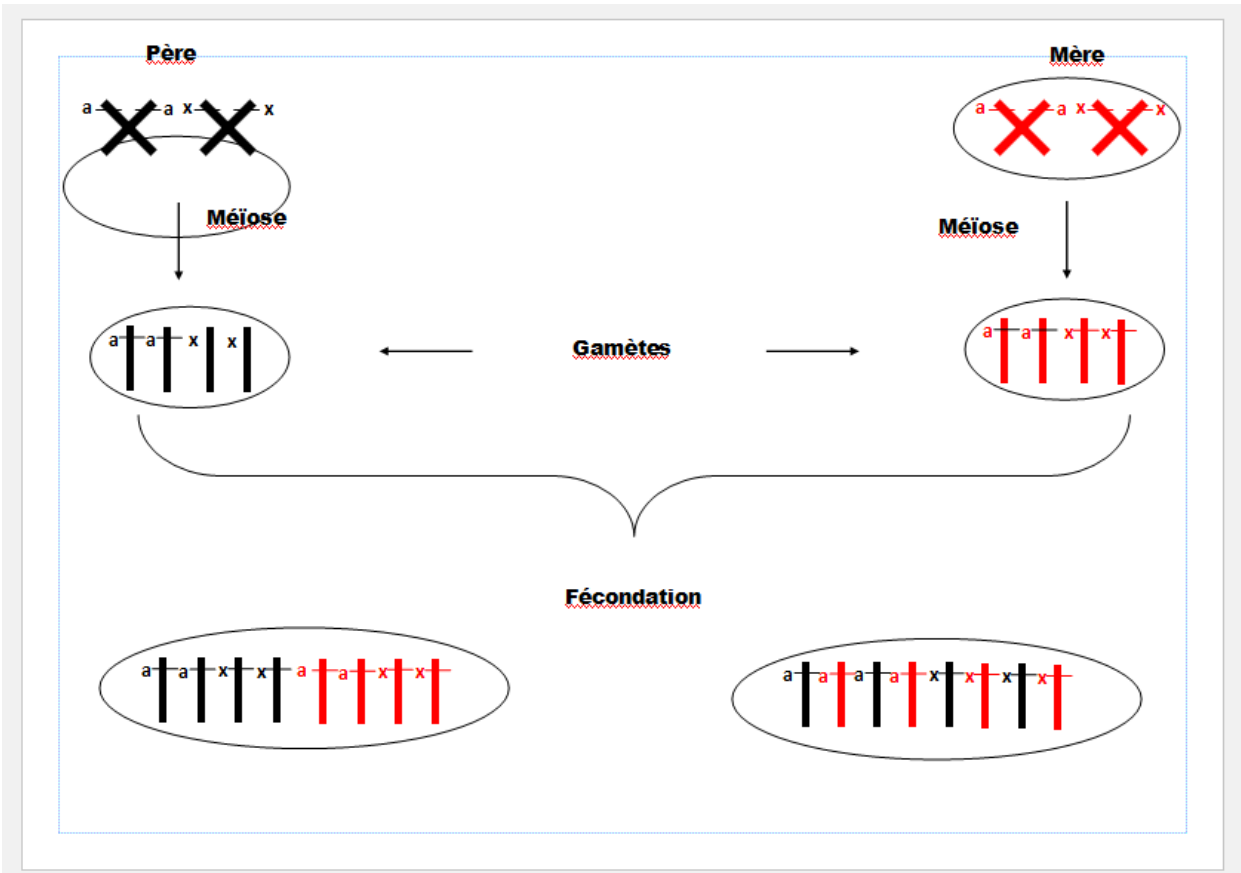


Cellule oeuf drépanocytaire









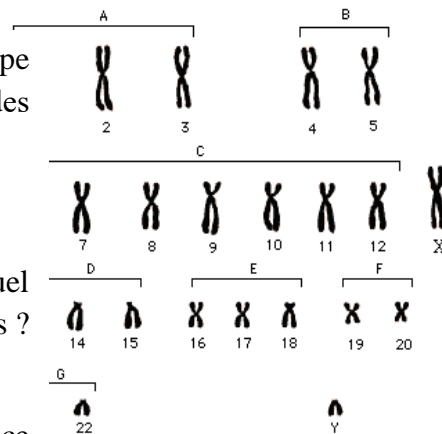
ANNEXE4 : SUJETS DE GENETIQUE PROPOSES LORS DU PRE-TEST ET LORS DU POST-TEST

DIFFERENTS TESTS DE L'EXPERIENCE DE PRISE EN COMPTE DES CONCEPTIONS

TEST 1

Exercice 1

Le document 1 ci-contre présente le caryotype réalisé au cours de la première division à l'origine des spermatozoïdes.



Document 1

1 – Quelle est cette division cellulaire et à quel moment les chromosomes ont-ils été photographiés ? Justifier.

2 – Quelle anomalie observez-vous dans ce caryotype ? Quelle en est l'origine ?

3 – Quel serait le caryotype d'un œuf résultant de la fécondation entre ce spermatozoïde et un ovule normal ?

Exercice 2

1- La méiose :

a- rétablit la diploïdie.

b- est constituée de deux divisions cellulaires successives.

c- sépare les chromosomes homologues dans les cellules distinctes.

d- intervient toujours juste après la fécondation.

2- Le gamète femelle des Mammifères :

a- est une cellule haploïde qui a achevé sa méiose juste avant l'ovulation ;

b- est entouré d'une enveloppe pellucide ;

c- se transforme en œuf par fusion des pronoyaux mâle et femelle, puis expulse un deuxième globule polaire avant de subir une mitose ;

d- s'entoure d'une membrane de fécondation après pénétration d'un spermatozoïde.

3- La fécondation

a- correspond à la rencontre au hasard de deux gamètes diploïdes.

b- produit une cellule œuf ou zygote diploïde.

c- est immédiatement suivie d'une méiose qui transforme le zygote diploïde en cellules haploïdes chez les organismes haploïdes.

d- permet une reproduction conforme des êtres vivants

Exercice 3

Les deux systèmes de groupes sanguins les plus importants pour la transfusion sont le système ABO et Rhésus. Les groupes sanguins ABO sont déterminés par un gène situé sur le chromosome n°9 et présentant trois allèles : A, B et O. Les allèles A et B gouvernent respectivement la synthèse des marqueurs de surface A et B, situés sur la membrane des hématies. L'allèle O inactif ne permet aucune synthèse. D'autre part le système rhésus est sous la dépendance d'un gène supposé unique et situé sur le chromosome n°1. Ce gène a deux allèles : Rh^+ et Rh^- . L'allèle Rh^+ gouverne la synthèse du marqueur de surface Rh porté par la membrane des hématies, alors que l'allèle Rh^- est inactif et n'entraîne la synthèse d'aucun marqueur de surface.

- 1- Que se passe-t-il si l'on mélange une goutte de sang du groupe O à une goutte de sang du groupe AB ? Justifiez votre réponse.
- 2- Avant toute transfusion, on s'assure qu'il n'y a pas eu d'erreur d'étiquetage dans le sang à transfuser. Pour cela on vérifie la compatibilité entre les marqueurs du sang en mélangeant sur une lame, une goutte du sang du receveur et une goutte du sang à transfuser, présent dans le flacon de stockage. Quel doit être le résultat normal de ce test ? Justifiez votre réponse.

TEST 2

Exercice 1: Question à Choix Multiples (QCM)

A- Relever les affirmations fausses et les corriger.

- 1- Les chromosomes homologues
 - a. sont présents chez les individus haploïdes
 - b. se séparent à l'anaphase II
 - c. sont hérités pour moitié du père, pour moitié de la mère.
- 2- Chez les individus diploïdes
 - a. il n'y a pas de cellules haploïdes
 - b. la méiose a lieu avant la fécondation
 - c. les chromosomes sont homologues deux à deux.

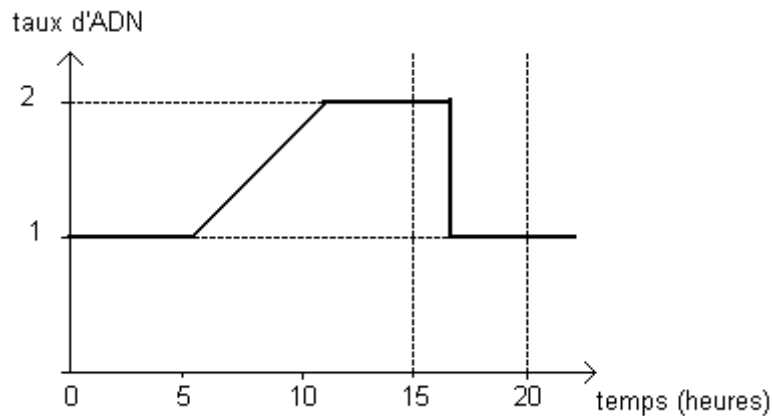
B- Choisir la réponse juste. Le numéro de la question doit précéder la lettre correspondant à la réponse juste.

- 1- Les spermatogonies ont :
 - a. $2n$ chromosomes à quatre chromatides
 - b. n chromosomes à une chromatide
 - c. $2n$ chromosomes à deux chromatides
 - d. n chromosomes à deux chromatides
- 2- Il y a alternance d'une phase diploïde et d'une phase haploïde lorsqu'on passe
 - a. d'une génération cellulaire à la suivante
 - b. d'une génération d'individu à la suivante
 - c. d'un individu au suivant
 - d. d'une cellule diploïde à une cellule haploïde
- 3- Quand les gamètes mâles et femelles sont morphologiquement semblables, leur fusion est une
 - a. anisogamie
 - b. oogamie
 - c. autogamie
 - d. isogamie

Exercice 2

- 1- Répondre par vrai ou faux aux questions suivantes :
 - a. La levure est un organisme diploïde

- b. La division A est une méiose
 - c. L'étape C'est une méiose
 - d. L'étape B correspond à une fécondation
- 2- Le cycle chromosomique de cette levure est-il haplo- ou diplophasique ? Justifie
- 3- Représentez-le
- 4- Le taux d'ADN de ce cycle est mesuré. La cellule mère considérée contient une quantité Q d'ADN en début de cycle (Q = 1 unité arbitraire). La courbe est la suivante :



Répondre par vrai ou faux :

- a. La mitose dure 20 heures
- b. La cellule fille a deux fois moins de chromosomes que la cellule mère
- c. Pour que la quantité d'ADN soit conservée par la mitose, il est nécessaire que la quantité d'ADN de la cellule mère soit doublée par la réplication
- d. Les deux molécules d'ADN d'un chromosome dupliqué sont différentes dans leur séquence.

TEST 3

Exercice 1

Le système de groupe sanguin A.B.O mis en évidence au début du siècle dernier a une transmission génétique respectant les lois de Mendel.

Soient les trois cas de figure suivants. Déterminer le génotype des parents en justifiant par un échiquier de croisement

- 1- le père est du groupe sanguin A et la mère est du groupe sanguin B chez les enfants les 4 groupes sanguins sont respectés
- 2- la mère est du groupe sanguin A le père également mais les $\frac{3}{4}$ des enfants appartiennent au groupe A et les $\frac{1}{4}$ au groupe O

- 3- le père du groupe sanguin AB et la mère du groupe sanguin B mais parmi les enfants $\frac{1}{4}$ sont du groupe A $\frac{1}{4}$ du groupe AB et $\frac{1}{2}$ du groupe B
- 4- le père est du groupe B et la mère est du groupe AB, qu'en est-il de leur descendance ?

Exercice 2

Les yeux des individus ont une couleur bleu sombre due à la présence simultanée de 2 pigments : l'un noir, l'autre brun. Si le pigment brun manque, l'œil est noir vif. Si le pigment noir manque, l'œil est brun. Sans ces 2 pigments, l'œil est bleu sombre.

La synthèse du pigment brun nécessite plusieurs étapes dont les 2 dernières font intervenir 2 gènes, **N** et **S**, codant pour des enzymes et portés par les autosomes (chromosomes non sexuels). Pour ces 2 gènes, on connaît des allèles récessifs notés respectivement **n** et **s** ; chacun ne permet pas la synthèse du pigment brun. Les allèles dominants, **n⁺** et **s⁺** permettent la synthèse du pigment.

Un couple de lignée pure aux yeux noir vif. Les femelles possèdent les allèles **n⁺** et **s**, les mâles les allèles **n** et **s⁺**.

- 1- Indiquer les allèles présents dans les gamètes produits par les femelles et par les mâles. (On se limitera aux gènes N et S).
- 2- Indiquer la couleur des yeux des individus obtenus en F₁. Justifier.

B- Pour rechercher si les gènes **N** et **S** sont situés sur le même chromosome, on croise les individus F₁ avec un individu double homozygote récessif. On obtient 4 types d'individus :

- 25 % d'individus ont les yeux noir sombre;
- 25 % d'individus les yeux brun ;
- 25 % des mouches ont les yeux bleus ;

On a pu montrer que parmi les individus aux yeux noir vif, la moitié est capable de fabriquer l'enzyme N et non l'enzyme S et que, l'autre moitié en revanche, produit l'enzyme S et non l'enzyme N.

- 1- Nommer ce type de croisement.
- 2- A partir de ces résultats, démontrer si les gènes N et S sont liés ou indépendants.

C- La synthèse du pigment rouge vif est contrôlée par un autre gène : **R**. L'allèle **r⁺** dominant code pour la synthèse du pigment, l'allèle récessif **r** ne la permet pas.

Les gènes **R** et **N** sont situés sur le même chromosome à une distance de 34 Unités Centimorgan (CM).

On croise les drosophiles femelles, ayant pour génotype ($rn^+//r\ n^+, s^+//s^+$) avec des mâles ayant pour génotype ($r^+\ n//r^+\ n, s^+//s^+$).

Indiquer, d'une part les phénotypes des parents, d'autre part le génotype et le phénotype des individus F_1 issus de leur croisement.

D- On croise une femelle de cette F_1 avec un mâle de génotype ($r\ n//r\ n, s^+//s^+$).

1- Citer les différents types de gamètes produits par une femelle F_1 et préciser leurs proportions.

2- Indiquer, grâce à un échiquier de croisement les phénotypes, les génotypes et les proportions des individus issus de ce croisement.

3- Le résultat obtenu serait-il le même si on avait croisé plutôt un mâle F_1 avec une femelle de génotype ($r\ n//r\ n, s^+//s^+$) ? Justifier.

TEST 4

EXERCICE A

1- Une maladie autosomale dominante

- a- se manifeste chez les sujet portant l'allèle à l'état homozygote
- b- se manifeste chez le père ou la mère du sujet atteint
- c- affecte l'enfant d'un parent malade marié à une personne saine avec une probabilité de 75%

2- un couple apparemment sain a 3 enfants : 2 garçons 1 fille l'un des garçons est touché par une maladie génétique grave

- a- l'allèle muté responsable de la maladie est dominant
- b- la transmission de l'allèle muté est certainement du mode gonosomal
- c- la transmission de l'allèle muté forcément du mode autosomale
- d- la transmission de l'allèle muté peut être de mode autosomale ou gonosomal

3- une mutation

- a- est une modification de la séquence d'un gène
- b- est toujours un accident local affectant un seul codon
- c- n'a pas de conséquence au niveau de l'expression d'un gène

d- crée de nouveau gène

EXERCICES B

1- **A partir d'un certain nombre d'allèles noté n, on peut calculer le nombre de types de génotypes possibles selon la formule :**

$$a- n + 1 ; \quad b- n^2 ; \quad c- \frac{1}{2}n(n+1) ; \quad d- n^2 - n .$$

2- **Soit un gène présentant l'allèle dominant A et l'allèle récessif a. Le calcul de la fréquence allélique $f(A)$ se fait selon la formule :**

a. $2pq f(A//A) + 2 \times \frac{1}{2} f(A//a)$

b. $p^2 + 2pq + q^2$

c. $p^2 + pq$

3- **Pour avoir le caryotype d'un individu dont la formule chromosomique est égale à $2n = 44 + XXY$, un parent a produit un gamète défectueux. Il s'agit :**

- a. Du père et de la mère.
- b. Du père seulement.
- c. De la mère seulement.
- d. Du père ou de la mère

4. Les gamètes sont dits pré-réduits lorsque :

- e. Les gènes allèles se séparent en anaphase I pendant la disjonction des chromosomes homologues.
- f. Les gènes allèles se séparent en anaphase II pendant la disjonction des chromosomes homologues.
- g. Les gènes allèles se séparent en anaphase I pendant la disjonction des chromatides.
- h. Les gènes allèles se séparent en anaphase II pendant la disjonction des chromatides.

A- Utiliser chaque groupe de trois mots ou expressions pour construire une phrase exprimant une idée importante présentée dans le cours /

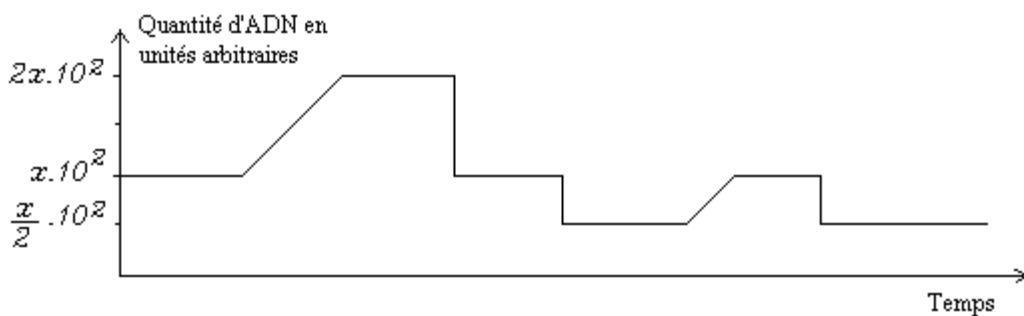
1- Ovocyte II ; globule polaire ; division I.

- 2- Zygote diploïde ; fusion ; pronoyaux.
- 3- Empreintes génétiques, individus, vrais jumeaux.
- 4- Dérive génétique ; pool génétique ; espèce.

EXERCICES C

(Traiter l'un des deux exercices suivants)

Exercice 1 : Partant d'une quantité arbitraire d'ADN contenue dans la cellule mère de $x \cdot 10^2$, nous avons tracé la courbe montrant la variation de cette quantité d'ADN pendant la formation des grains de pollen (Document 1).



Document 1 : Courbe de variation de l'ADN pendant la pollinogénèse.

Reproduire et interpréter les différentes séquences de cette courbe en y plaçant les différentes phases de divisions.

Situer au-dessus de la courbe la cellule mère, la microspore et le grain de pollen.

NB : Vous pouvez utiliser les abréviations P_1 ; M_1 ; A_1 ; T_1 ; ... pour les différentes phases de division

Exercice 2 : Dans un échantillon de 100 personnes, on dénombre 62 individus du groupe A ; 13 du groupe B, 16 de groupe O et 4 de groupe AB.

- 1- Quels sont les génotypes possibles du groupe A, B et O ?
- 2- Calculer les fréquences phénotypiques des groupes A, B et O.

DIFFERENTS TESTS DE L'EXPERIENCE DE PRISE MODELISATION

EPREUVE DE SVTEEHB

TERMINALE D

EVALUATION COMPTANT POUR LE PRE-TEST

DES CONSEILS POUR BIEN REDIGER L'EPREUVE DE SVTEEHB

- Etre d'abord bien calme et bien concentré, lire toute l'épreuve du début jusqu'à la fin, faire un décompte du nombre de points que vous êtes sûr d'avoir en excluant les points du QCM, choisir son sujet en tenant compte du maximum des points ;
- Traiter d'abord les questions qui vous semblent faciles puis ceux qui semblent difficiles et ainsi de suite ;
- Eviter les ratures, respecter l'annotation,
- **Ne jamais tricher**, ni montrer à quelqu'un de peur de perdre du temps et/ou de s'embrouiller.
- **Eviter les abréviations** (exo, c.-à-d., ssi...), et être précis et concis
- Lire et relire posément tout ce qu'on a écrit pour éradiquer les fautes et autres erreurs

I- Restitution organisée des connaissances 7pts

Partie A : Définitions.

- Chromosomes homologues -- Hybridation Spermiogenèse, cryptorchidie, gamétophyte, ovogonie.

Partie B : Questions à choix multiples (QCM)

1- Dans un tube séminifère,

- la spermatogenèse est centrifuge,
- les spermatozoïdes mobiles se trouvent vers la lumière
- les cellules de Leydig sont des cellules germinales
- les cellules de Sertoli assurent la fonction endocrine en produisant la testostérone.

2- Au cours de méiose, la division du centromère de chaque chromosome a lieu pendant

- l'anaphase II
- l'anaphase I

- c. la métaphase I
- d. la télophase I.

3- La méiose :

- a- rétablit la diploïdie.
- b- est constituée de deux divisions cellulaires successives.
- c- sépare les chromosomes homologues dans les cellules distinctes.
- d- intervient toujours juste après la fécondation.

4- Le périanthe comprend :

- a- les pétales et les sépales.
- b- les étamines et les carpelles.
- c- les pièces stériles de la fleur.
- d- les pièces fertiles de la fleur.

5- La fécondation

- a- correspond à la rencontre au hasard de deux gamètes diploïdes.
- b- produit une cellule œuf ou zygote diploïde.
- c- est immédiatement suivie d'une méiose qui transforme le zygote diploïde en cellules haploïdes chez les organismes haploïdes.
- d- permet une reproduction conforme des êtres vivants.

6- Chez les organismes diploïdes

- a- l'adulte reproducteur est constitué essentiellement de cellules haploïdes
- b- le zygote subit, juste après sa formation, une méiose
- c- les mitoses n'ont lieu que durant la diplophase
- d- seules certaines cellules haploïdes peuvent engendrer les gamètes.

7- Une cellule mère de gamètes hétérozygote pour 10 gènes engendre

- a) 10 types de gamètes différents
- b) 100 types de gamètes différents
- c) 1000 types de gamètes différents
- d) 1024 types de gamètes différents

B1- Relever les affirmations fausses et les corriger.

1- Les chromosomes homologues

- a. sont présents chez les individus haploïdes
- b. se séparent à l'anaphase II
- c. sont hérités pour moitié du père, pour moitié de la mère.

2- Chez les individus diploïdes

- a. il n'y a pas de cellules haploïdes
- b. la méiose a lieu avant la fécondation
- c. les chromosomes sont homologues deux à deux.

B₂- Choisir la réponse juste. Le numéro de la question doit précéder la lettre correspondant à la réponse juste.

1- Les spermatogonies ont :

- a. $2n$ chromosomes à quatre chromatides
- b. n chromosomes à une chromatide
- c. $2n$ chromosomes à deux chromatides
- d. n chromosomes à deux chromatides

2- Il y a alternance d'une phase diploïde et d'une phase haploïde lorsqu'on passe

- a. d'une génération cellulaire à la suivante
- b. d'une génération d'individu à la suivante
- c. d'un individu au suivant
- d. d'une cellule diploïde à une cellule haploïde

3- Quand les gamètes mâles et femelles sont morphologiquement semblables, leur fusion est une

- a. anisogamie
- b. oogamie
- c. autogamie
- d. isogamie

C : questions à réponses ouvertes.

Exercice 1

Soit un locus A/a situé sur le chromosome X. Dans une population, on dénombre 90 mâles X_A/Y et 10 mâles X_a/Y ; 77 femelles X_A/X_A ; 21 femelles X_A/X_a et 2 femelles X_a/X_a .

- 1- Calculer les fréquences géniques ou alléliques $f(A)$ et $f(a)$ chez femelles et chez les mâles.

2- Calculer les fréquences alléliques $f(A)$ et $f(a)$ dans la population totale

Exercice 2

Recopier et compléter le tableau suivant en nommant chaque fois le type de croisement effectué.

NB : dans certains cas de croisement, plusieurs déductions sont possibles.

G_1	Proportions observées	Type de croisement déduit
1	100 % (descendance homogène)	
2	(3 / 4 ; 1 / 4)	
3	(2 / 3 ; 1 / 3)	
4	(1 / 4 ; 1 / 2 ; 1 / 4)	
5	(9/16 ; 3/16 ; 3/16 ; 1/16)	
6	(1 / 2 ; 1 / 2)	
7	(1/4 ; 1/4 ; 1/4 ; 1/4)	

II- EXPLOITATION DES DOCUMENTS

7pts

Exercice 3

La molécule d'hémoglobine comporte quatre chaînes polypeptidiques $2\alpha + 2\beta$. On connaît actuellement plusieurs centaines d'allèles du gène codant pour la β globine.

Un court fragment de ce gène est représenté par deux séquences nucléotidiques chez quatre sujets : une séquence issue du père et une séquence issue de la mère. Il s'agit des brins transcrits ou non codant. Le sujet 3 est normal.

Sujet 1 :

	1	5	10	15	20	
	TAC	CAC	GTG	GAC	TGA	GGA CTC CTC ...
	1	5	10	15	20	
	TAC	CAC	GTG	GAC	TGA	GGA CAC CTC ...

Sujet 2 :

	1	5	10	15	20	
	TAC	CAC	GTG	GAC	TGA	GGA CAC CTC ...
	1	5	10	15	20	
	TAC	CAC	GTG	GAC	TGA	GGA CAC CTC ...

Sujet 3 :

	1	5	10	15	20	
	TAC	CAC	GTG	GAC	TGA	GGA CTC CTC ...
	1	5	10	15	20	
	TAC	CAC	GTG	GAC	TGA	GGA CTC CTC ...

Sujet 4 :

	1	5	10	15	20	
	TAC	CAC	GTG	GAC	TGA	GGA CAC CTC ...
	1	5	10	15	20	
	TAC	CAC	GTG	GAC	TGA	GGA CAC CTC ...

- 1- Combien d'allèles possède chaque individu pour ce gène.
- 2- Identifier les sujets homozygotes et les sujets hétérozygotes
- 3- Comparer les séquences nucléotidiques des sujets 2 et 3.

- 4- Retrouver à l'aide de l'extrait du code génétique suivant, les séquences polypeptidiques présentes chez le sujet 1.

Extrait du code génétique :

GUG : valine (Val)	ACU : thréonine (Thr)	GAG : acide glutamique (Glu)
AUG : méthionine (Met)	CCU : proline (Pro)	CAC : histidine (His)
CUG : leucine (Leu)		

III- SAISIE DE L'INFORMATION BIOLOGIQUE ET APPRECIATION.

6pts

Le document 1 représente le caryotype normal d'un homme.

- 1- A partir de quels critères peut-on affirmer que ce caryotype est normal et appartient à un sujet de sexe masculin ?

Le Document 3 illustre la spermatogenèse chez ce même homme.

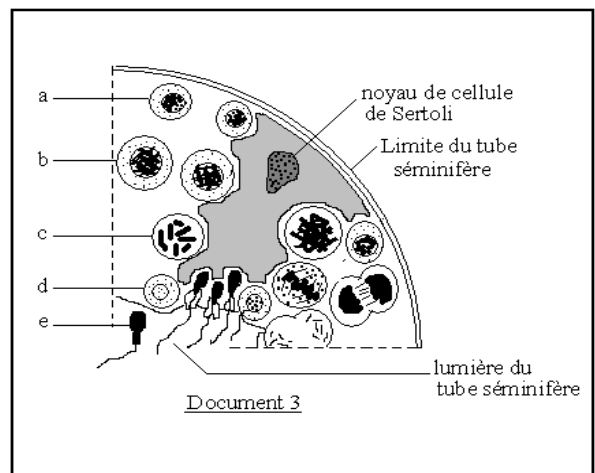
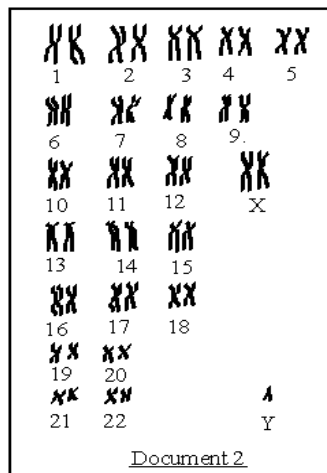
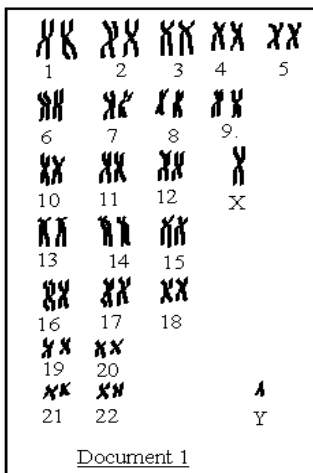
- 2- Nommer, sans les justifier, les stades cellulaires notés a – b – c – d - e.

Un phénomène particulier se déroule entre les stades b et d.

- 3- Nommer ce phénomène.
 4- Représenter par des schémas précis et annoté les différentes phases du déroulement de ce phénomène en partant d'une cellule de type b où vous ne figurerez que les chromosomes de la partie n° 1 et XY (Document 1)
 5- Compte tenu des garnitures chromosomiques des cellules obtenues à l'issue de ce phénomène, expliquer pourquoi les pourcentages des descendants mâles et femelles sont toujours voisins de 50 %.

Sur le Document 2 figure le caryotype d'un homme stérile.

- 6- Comparer les documents 1 et 2 ; Quelle anomalie décelez-vous ?
 En supposant que ce caryotype provienne de la fécondation d'un ovule normal par un spermatozoïde anormal :
 7- Donner la garniture chromosomique du spermatozoïde fécondant
 8- A quelle phase du phénomène schématisé à la question 4, situez-vous l'origine de l'anomalie portée par le spermatozoïde fécondant ? En quoi consiste cette anomalie ?



EPREUVE DE SVTEEHB

TERMINALE D

EVALUATION COMPTANT POUR LE POST-TEST

DES CONSEILS POUR BIEN REDIGER L'EPREUVE DE SVTEEHB

- Etre d'abord bien calme et bien concentré, lire toute l'épreuve du début jusqu'à la fin, faire un décompte du nombre de points que vous êtes sûr d'avoir en excluant les points du QCM, choisir son sujet en tenant compte du maximum des points ;
- Traiter d'abord les questions qui vous semblent faciles puis ceux qui semblent difficiles et ainsi de suite ;
- Eviter les ratures, respecter l'annotation,
- **Ne jamais tricher**, ni montrer à quelqu'un de peur de perdre du temps et/ou de s'embrouiller.
- **Eviter les abréviations** (exo, c.-à-d., ssi...), et être précis et concis
- Lire et relire posément tout ce qu'on a écrit pour éradiquer les fautes et autres erreurs

II- Restitution organisée des connaissances

7pts

Partie A : Définitions.

Cycle de développement haplophasique - Double fécondation -, androcée, gamétophyte, méiose ; macrospore ;

Partie B : Questions à choix multiples (QCM)

3- Lors de la gamétogenèse, la réduction chromatique

- a lieu au cours de la multiplication,
- a lieu au cours de la maturation
- se produit chez les spermatocytes de deuxième ordre
- se produit chez les spermatides.

2- Le gamète femelle des Mammifères :

- est une cellule haploïde qui a achevé sa méiose juste avant l'ovulation ;
- est entouré d'une enveloppe pellucide ;
- se transforme en œuf par fusion des pronoyaux mâle et femelle, puis expulse un deuxième globule polaire avant de subir une mitose ;
- s'entoure d'une membrane de fécondation après pénétration d'un spermatozoïde.

3- Chez les organismes diploïdes

- l'adulte reproducteur est constitué essentiellement de cellules haploïdes
- le zygote subit, juste après sa formation, une méiose
- les mitoses n'ont lieu que durant la diplophase

h- seules certaines cellules haploïdes peuvent engendrer les gamètes

4- Au cours de la fécondation dans l'espèce humaine, deux gamètes de type sexuel opposé :

- a- s'associent au hasard, du moment qu'ils sont de la même espèce.
- b- s'associent, s'ils ont deux génotypes suffisamment proches.
- c- forment une nouvelle cellule génétiquement semblable à l'un des parents.
- d- se rencontrent et s'unissent au même stade d'évolution.

5- Un sujet de génotype $\frac{A}{a} \frac{B}{B} \frac{c}{c} \frac{D}{d}$, forme un nombre de catégories de gamètes génétiquement différentes, égal à :

- a. 2
- b. 4
- c. 8
- d. 16

6- Le croisement en retour

- a. consiste à croiser deux individus hétérozygotes afin d'analyser leur descendance ;
- b. peut s'effectuer chez les organismes haploïdes ;
- c. donne les proportions 1/16, 3/16, 3/16, 9/16 quand les deux gènes sont liés ;
- d. permet de savoir si un individu de phénotype dominant est homozygote ou non.

7- Les allèles d'un gène

- a- sont identiques chez l'homozygote.
- b- occupent toujours le même locus sur un chromosome donné.
- c- se séparent lors de la méiose.
- d- sont réunis lors de la fécondation.

C- Question à réponses ouvertes

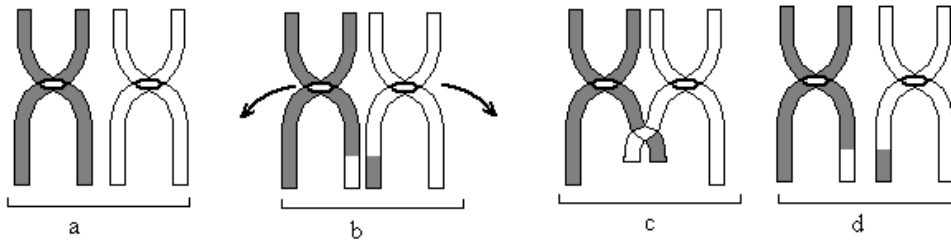
Exercice 1 : En supposant que la spermatogonie contient 10 grammes d'ADN (quantité arbitraire).

1- Recopier et compléter le tableau ci-dessous afin de préciser la quantité d'ADN dans les cellules de la lignée spermatogénique

C e l l u l e	Spermatogonie	Spermatocyte I	Spermatocyte II	Spermatide	Spermatozoïde
Quantité d'ADN en g	10	20			5

2- Tracer le graphe montrant la variation de la quantité d'ADN en fonction des étapes de la spermatogenèse (1 pt)

Exercice 2 : Le document ci-dessous représente un accident qui se produit souvent à la méiose.



- Nommer cet accident
- Identifier la phase au cours de laquelle il se produit
- Reproduire ces schémas en les classant dans l'ordre chronologique

III- EXPLOITATION DES DOCUMENTS 7pts

A- Dans certaines régions du monde, la β thalassémie, une maladie du sang, est particulièrement répandue.

La figure du document 3 représente l'arbre généalogique d'une famille dans laquelle sévit une β thalassémie sous ses deux formes mineure et majeure.

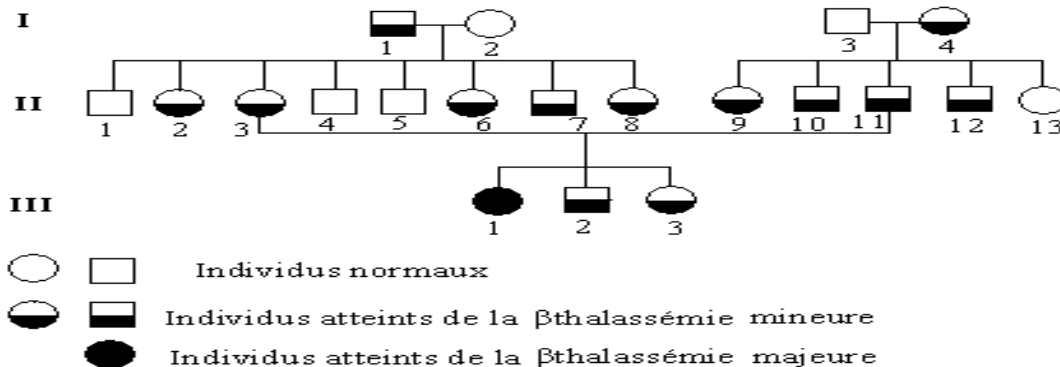
On pense que l'un des gènes codant pour l'hémoglobine, protéine, intervient dans cette maladie. En effet, on constate que les individus atteints de la forme mineure possèdent à la fois de l'hémoglobine normale et de l'hémoglobine anormale, alors que ceux atteints de la forme majeure ne possèdent que de l'hémoglobine anormale.

- Comment peut-on expliquer l'existence simultanée de deux types d'hémoglobine chez un même individu ?
- Le gène de la maladie est-il dominant, récessif ou codominant ? Justifier votre réponse.
- Le gène responsable de la maladie est-il autosomal ou gonosomal ? Justifier
- Donner le génotype des individus atteints de la forme majeure et celui des individus atteints de la forme mineure.
- Les individus II.3 et II.11 pouvaient-ils avoir des enfants normaux ? Justifier

B- La forme mineure de la β thalassémie passe le plus souvent inaperçue. Seule la forme majeure, appelée maladie de Cooley, est grave. Son évolution est lente mais mortelle vers l'âge de douze ans.

Un dépistage systématique dans certaines régions du monde a montré l'existence de 30% d'individus atteints de la forme mineure.

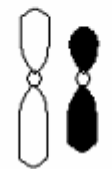
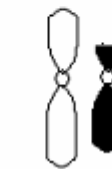
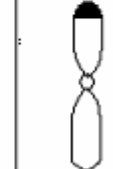
En utilisant ce résultat, calculer la probabilité, pour un couple pris au hasard dans la population, de mettre au monde un enfant atteint de la maladie de Cooley.



Document 3

III- SAISIE DE L'INFORMATION BIOLOGIQUE ET APPRECIATION. 6pts

A -Le tableau suivant présente quelques caractéristiques de trois personnes : l'une normale et les deux autres affectés d'aberrations chromosomiques.

Individu	n°1	n°2	n°3
Sexe	masculin	féminin	masculin
Autosomes	22 paires	22 paires	22 paires
Chromosomes sexuels			

- 1- Donner le caryotype de chaque individu.
- 2- Décrire et comparer les chromosomes sexuels des trois individus.
- 3- En utilisant les données du tableau, formuler une hypothèse concernant le rôle des gènes situés sur le bras court du chromosome Y.
- 4- Schématiser les chromosomes sexuels présents dans les gamètes dont la réunion a donné naissance à chacun des individus.

B- Le document 4 montre le caryotype d'un individu qui malgré une translocation ayant affecté certains de ses chromosomes se porte bien.

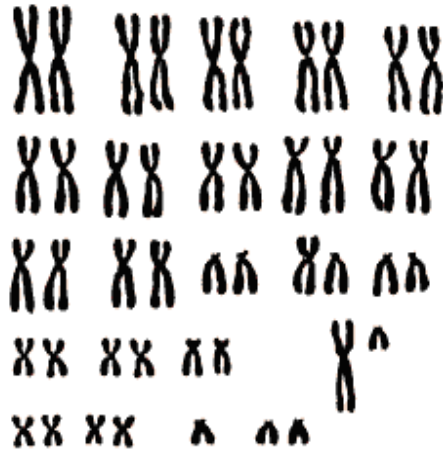
1- Analyser ce caryotype en répondant aux questions s

- a. Préciser trois critères employés pour classer
- b. Quel est le sexe de cet individu ? Justifier.
- c. Combien de chromosomes observe-t-on ?
- d. Expliquez pourquoi cet individu a un phénotype caryotype anormal

2- En ne considérant que les paires de chromosomes affectées par la translocation et la paire de gonosomes, combien de types de gamètes produirait cet individu ?

3- En supposant que cet individu épouse un conjoint au caryotype normal, quel sera dans sa descendance les proportions des enfants :

- a. au caryotype anormal ?
- b. malades ?
- c. normaux ?



Document 4

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
SOMMAIRE	iii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
RÉSUMÉ.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTE DE TABLEAUX	viii
LISTE DES GRAPHIQUES	xii
INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE :CONSTRUCTION DE LA PROBLEMATIQUE ET DU CADRE THEORIQUE	9
CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE.....	12
1. Contexte et justification de l'étude.....	12
1.1. Histoire et Épistémologie de la biologie	13
1.2. Situation des enseignements de la biologie dans le monde.....	15
1.3. L'enseignement de la biologie au Cameroun.....	16
1.4. L'enseignement de la génétique en classe de Terminale D au Cameroun	20
1.5. Évolution des dispositifs d'enseignement en biologie dans le contexte camerounais ..	23
1.5.1.Dispositif d'enseignement lié à l'approche par objectif (APO).....	24
1.5.2. Dispositif d'enseignement liés à La nouvelle approche pédagogique (NAP).....	26
1.5.3. Dispositifs d'enseignement liés à l'approche la main à la pâte.....	27
1.5.4. Dispositif d'enseignement liés à l'approche par les compétences (APC).....	27
1.6.Dispositif d'enseignement de la génétique au Cameroun	30
1.6.1.Le dispositif d'enseignement de la génétique suivant la démarche de recherche.....	30
1.6.2. Le dispositif d'enseignement de la génétique suivant la démarche expérimentale.....	32
1.6.3.Le dispositif d'enseignement de la génétique suivant la démarche scientifique.....	32
1.6.4.Le dispositif d'enseignement de la génétique suivant la démarche d'investigation	34
1.7. Les dispositifs d'enseignement numériques comme ressource didactique pour l'enseignement de la génétique.	35
1.7.1.Les dispositifs d'enseignement numériques et la diminution des difficultés d'apprentissage chez les apprenants en génétique.	36

1.7.2. Les dispositifs d'enseignement numérique en génétique source d'innovation pédagogique au Cameroun	37
1.8. Les enjeux sur l'élaboration des dispositifs d'enseignement en classe de génétique ...	38
1.9. Justification de l'étude	41
2. Position et formulation du problème.....	43
2.1. Les constats	43
2.1.1. Constats liés aux résultats des évaluations	43
2.1.2. Énoncés des constats des problèmes des dispositifs d'enseignement	45
2.1.3. Présentation des constats faites lors de l'observation des classes de génétique.....	46
2.1.4. Constats liés aux différentes recherches.	48
2.2. Le problème.....	49
3. Questions de recherche	50
3.1. Question principale de recherche	50
3.2. Questions secondaires de recherche	51
4. Objectifs de l'étude	53
4.1. Objectif général	53
4.2 Objectifs spécifiques	53
5. Intérêt de l'étude	54
5.1. Intérêt scientifique.....	55
5.2. Intérêt didactique.....	55
5.4. Intérêt social et psychologique	57
5.5. Intérêt académique	57
6. Délimitation de l'étude	57
La délimitation de l'étude renvoie à la délimitation géographique et à la délimitation spatio-temporelle.....	57
6.1 Délimitation géographique	57
6.2 Délimitation spatio-temporelle.....	58
Conclusion du chapitre 1	58
CHAPITRE II : CADRE CONCEPTUEL	60
1. Notions et expressions conceptuelles discursives piliers	60
1.1. Les dispositifs d'enseignement	60
1.2. Génétique Humaine.....	65
1.3. La notion de conceptions.....	68
1.3.1. Définition du terme Conception.....	68

1.3.2. Les conceptions et leurs différentes composantes.....	71
1.3.3. Rapport entre la notion de conception et d'apprentissage.....	72
1.3.4. Définition d'une notion voisine à la conception : Les représentation.....	73
1.4. Difficulté d'apprentissage	75
1.4.2. Difficultés d'apprentissage rencontrées par les élèves en biologie.....	77
1.4.3. Difficulté d'apprentissage liée à une transposition didactique approximative	78
1.4.5. Le statut des difficultés d'apprentissage dans la conception de résolution de problèmes	
78	
1.4.6. Surmonter la difficulté d'apprentissage	79
2. Notions et expressions conceptuelle discursives fondamentales	80
2.1. Les SVTEEHB comme discipline scolaire	80
2.1.1. Les SVTEEHB dans la dynamique du programme scolaire	80
2.1.2. Domaines multiples de savoir en SVTEEHB/Biologie en général et en génétique en particulier. 82	
2.1.3. Étude du vivant : Les démarches de la Biologie, domaine du vivant en SVTEEHB.....	84
2.2. Définition de l'élément didactique de la biologie.	86
2.2.1. Les fondamentaux du concept de didactique	86
2.2.1.1. Relation aux savoirs dans le contrat didactique.	88
2.2.2. L'élève dans une structure Cognitive particulière entrevue par les conceptions en didactique de la biologie	90
2.2.3. Le rôle du professeur dans son idéologie privée en vue de l'acquisition des connaissances scolaires.	92
2.3. Savoir soumis à la transposition didactique	93
2.4. La structure des savoirs scientifiques en biologie.....	96
2.5. Des conceptions aux différents obstacles en didactique	99
2.5.1.1. Les obstacles didactiques :	100
2.5.1.2. Les obstacles épistémologiques :	101
2.5.1.3. Les obstacles culturels :.....	102
2.5.1.4. Les obstacles ontogénétiques :	102
2.5.1.5. Les obstacles affectifs :	103
2.5.1.6. Les obstacles langagiers :	103
2.5.2. Gestion de l'obstacle dans une relation didactique	103
2.2.3. Caractère polémique de la notion d'obstacle	105
2.5.3. La typologie des conceptions en fonction des obstacles épistémologiques	106

2.5.4.Limites et avantages des travaux de didactique	108
3.Autres notions et expressions discursives fondamentales secondaires	109
3.1.Le pré-test.....	109
3.2.Le post test	110
3.3.Les situations problématisantes.....	110
3.4.La mise en situation.....	110
Conclusion du chapitre 2.....	111
CHAPITRE III :CADRE THEORIQUE DE LA RECHERCHE.....	112
1. Historique et épistémologie de la génétique	113
1.1. Évolution de la construction du concept de génétique.....	113
1.1.1. Évolution du concept jusqu'en 1880.....	113
a) Heurte de Darwin à l'obstacle lié à sa théorie d'évolution.....	114
b) Admission tardive des travaux de Mendel par la communauté scientifique.	115
c) Difficile dépassement de l'obstacle lié au fait que la nucléine n'est pas une protéine... 115	
d) Nouvel obstacle lié à la diversité des espèces imposant des mécanismes complexes et divers	116
1.1.2Découverte du concept entre 1880 et 1909 : Précision et confirmation des découvertes antérieures 116	
a) Identification d'obstacle lié au fait que l'acide nucléique soit considéré comme le support de l'hérédité.....	117
b) Mauvaise interprétation des lois de Mendel par De Vries : obstacle à l'avancé de la recherche	117
1.1.3. Théorie de l'hérédité : Accélérateur de découverte en 1909	118
a) Obstacle, lié au doute en recherche sur la réelle fonction des chromosomes dans l'hérédité.....	119
b) Proposition du modèle tétranucléotidique comme obstacle à la découverte de la structure de l'ADN.....	119
c) Renforcement de l'idée sur les protéines faisant obstacle à la recherche	120
d) Obstacle à la découverte face à la force du paradigme protéique.....	120
e) Obstacle lié à la nécessité pour le facteur transmettant l'hérédité d'être de nature protéique.....	121
1.1.4. Des années d'intenses recherches entre 1947 et 1953	121
1.2. Obstacles épistémologiques rencontrés dans la recherche en génétique.....	123
1.2.1. Les mutations : facteurs d'hérédité et d'évolution.....	123

1.2.2.	Un même matériel biologique – formes différentes	124
1.2.3.	Indispensables Liens entre les différents objets biologiques	124
1.2.4.	Codage de l'information génétique.....	125
2.	Revue de la littérature.....	125
2.1.	Revue de la littérature sur les dispositifs d'enseignement en génétique.	126
2.1.1.	L'inadéquation des dispositifs d'enseignement de la partie génétique	127
2.1.3.	Difficultés liées au caractère abstrait des niveaux biologiques mis en jeu et renforcé par l'utilisation d'un dispositif d'enseignement inapproprié.	132
2.1.4.	Difficultés liées à la spécificité de la structure d'ADN et renforcée par l'utilisation des dispositifs d'enseignement inadéquats.....	133
2.1.5.	Description des insuffisances des dispositifs dans la l'enseignement de la génétique	134
2.2.	Revue des écrits des travaux sur les conceptions en génétiques et sur l'hérédité	136
2.2.1.	Intérêts des travaux portant sur les conceptions erronées en génétique.....	136
2.2.2.	Limites et intérêts des travaux issus du paradigme sur la génétique	142
2.3.	Les médias : sources d'information renforçant les conceptions des élèves en génétique	144
2.4.	Résultats d'enquête sur les conceptions de génétique.....	146
2.4.1.	Concepts et processus de la génétique	146
2.4.2.	Les résultats de la mise en évidence de modèles de conceptions en génétique...	149
3.1.	Théorie de l'intervention éducative.....	154
3.1.2.	L'intervention éducative : un rapport dialectique entre médiation cognitive et pédagogique-didactique	160
3.1.3.	Structuration du savoir, de l'activité des apprenants et des tâches proposées par l'enseignant : les modèles de l'intervention éducatives (MIE)	164
3.1.3.1.	MIE 1 : autostructuration cognitive traditionnelle.....	165
3.1.3.2.	MIE2 : l'autostructuration cognitive	166
3.1.3.3.	MIE3 : l'interstructuration cognitive coactive.	166
3.1.3.3.2.	MIE4 : l'interstructuration cognitive.....	166
3.2.	La théorie des situations Didactique	169
4.	Formulation des hypothèses et définition des variables	175
4.1.	Formulation des hypothèses	175
4.1.1.	Hypothèse générale	175
4.1.2.	Hypothèses spécifiques	175

4.2. Définition des variables.....	176
4.2.1. Variable indépendante.....	176
4.2.2. Variables dépendantes.....	176
4.3. Construction de la variable dépendante	177
4.4. Tableau Synoptique.....	177
Conclusion du chapitre 3.....	179
DEUXIEME PARTIE :CADRE METHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE.....	180
CHAPITRE IV :TYPE DE RECHERCHE ET PRESENTATION DE L'ECHANTILLON DE L'ETUDE.....	182
1. Méthodes et Les types de recherche utilisés	182
1.1. Modèle utilisé dans le cadre de notre recherche	182
1.2. Méthode de recherche utilisée.....	183
1.2.1. Volet quantitatif.....	184
1.2.2. Volet qualitatif.....	184
1.3. Une recherche expérimentale fondée sur un travail d'ingénierie didactique	184
1.3.1. Définition et étapes de l'ingénierie didactique.....	184
1.3.2. Travail d'ingénierie didactique sur l'élaboration du dispositif d'enseignement de la génétique.	186
1.4. Construire la posture du « praticien-chercheur » comme fondement méthodologique ...	189
1.4.1. Définition et caractéristiques.....	189
1.4.2. Quelques Terminologies liées au praticien-chercheur	190
1.5. Méthode de recueil des conceptions des élèves	192
2. Définition de la population d'étude.....	192
2.1. Population cible.....	192
2.2. Population d'étude de notre recherche	193
2.3. Critère d'inclusion et non inclusion	193
2.3.1. Critère d'inclusion.....	193
2.3.2. Critère de non inclusion	193
3. Définition de l'échantillonnage.....	193
3.1. Choix sur l'échantillon, et tri des groupes expérimental et de contrôle	193
3.2. Échantillon de cette étude	195
3.3. Taille de l'échantillon/population (N).....	195
4. Choix des méthodes et des instruments de collectes des données.	197
4.1. Description de l'outil de collecte de données : les pratiques de classe.....	197
4.2. Concernant l'utilisation des questionnaires.....	198
5. La validation de l'instrument de collecte des données.....	199

5.1. Durée de l'étude	199
5.1.1. Durée de l'enquête	199
6. La procédure de collecte des données	199
6.1. Déroulement de l'enquête	200
6.2. Du choix et de la formation des enquêteurs	200
6.3. Enquête proprement dite dans le cadre de nos travaux	200
6.4. Déroulement des pratiques de classe de génétique en Terminale D	201
7. Les méthodes d'analyse des données.....	201
7.1. Logiciels et traitement des données	201
7.2. Analyses statistiques des données dans nos travaux	201
7.3. Déontologie et considérations éthiques de notre recherche	201
7.4. Difficultés rencontrées dans le cadre de nos travaux	202
8. Situation diagnostique des conceptions.....	203
8.1. Types de diagnostics possibles.....	203
Conclusion du chapitre 4.....	212
CHAPITRE V :OUTILS, INSTRUMENTS METHODOLOGIQUE ET MODALITÉS	
D'ANALYSE DES DONNÉES	213
1.Méthodes et instruments de collecte des données	214
1.1.Enregistrement et observation des séances didactiques	214
1.2.Des questionnaires destinés aux enseignants de SVTEEHB et aux apprenants.....	215
1.2.1.Une méthodologie articulée sur la passation des questionnaires et des tests d'apprentissage	215
1.2.2.L'analyse de confirmation pour les données du pré-test et du post-test.....	218
2. Le dispositif méthodologique	218
2.1.Les caractéristiques du dispositif méthodologique.	218
2.2.Le développement du débat dans les espaces de contraintes en préaction, interaction et post-action	219
2.3.Les outils langagiers mobilisés	220
3.Généralité sur les Environnements Informatiques pour l'apprentissage Humain (EIAH)..	221
3.1.Analyse des besoins de l'EIAH.....	222
3.1.1.But et place de l'analyse.....	222
3.1.2.Différentes phases de productions dans l'élaboration de la modélisation	223
3.3.Méthodologie de la Modélisation proprement dite	230
3.5.Organisation pédagogique de la situation de modélisation	233
4.Forces et limites de la méthodologie.....	235
Conclusion du chapitre 5.....	236

Conclusion de la partie	237
TROISIÈME PARTIE :ANALYSE, DISCUSSION ET INTERPRÉTATIONS DES RESULTATS	238
CHAPITRE VI : ANALYSE DES PRATIQUES D’ENSEIGNEMENT EN GENETIQUE ET CONCEPTION DU DISPOSITIF D’ENSEIGNEMENT	240
1. Analyse des Pratiques d’enseignement de génétique à partir du dispositif d’enseignement non numérique.....	240
1.1.Analyse des résultats du test 2 : transmission de l’albinisme, mongolisme et drépanocytose par les parents sains : classe de Terminale D.	241
1.1.1. Analyse des séances didactiques d’émergence des conceptions des élèves.....	241
1.1.2.Analyse de la séance didactique de déconstruction des conceptions erronées des élèves par le modèle expérimental	245
1.1.3.Analyse des séances didactique d’institutionnalisation/ Construction du savoir scientifique par le modèle maquette.....	251
2. Analyse des Pratiques d’enseignement de génétique à partir du dispositif d’enseignement numérique de modélisation : GENEDIDACT	256
2.1. Analyse et présentation du GENEDIDACT.....	256
2.2. Analyse à priori de la situation de modélisation de l’expérience.....	258
2.2.1. Choix réalisés pour l’élaboration de la situation de modélisation de l’expérience	259
2.2.2.Analyse des tâches proposée aux élèves dans la plateforme numérique.....	262
2.2.3.Les variables didactiques dans la situation de modélisation.....	263
2.2.4.Analyse des résultats sur le milieu de la situation didactique	271
3. Analyse des liens entre le savoir scolaire et le problème posé	272
3.1.Analyse du problème biologique posé par cette recherche	272
3.2.Analyse des prérequis en génétique pour répondre au problème posé	273
4.Analyse de la méthodologie et de test des productions de la plateforme GENEDIDACT.	275
4.1.Analyse de la méthodologie de de la plateforme GENEDIDACT.....	275
4.2. Analyse de la phase expérimentale dans l’activité de modélisation	277
Conclusion du chapitre 6.....	284
CHAPITRE VII :CONTRIBUTION DES DISPOSITIFS DANS LA CONSTRUCTION DU SAVOIR EN GENETIQUE.....	285
1.Analyse des caractéristiques socio-démographiques et des conceptions des apprenants en génétique	285
1.1. Pratiques des enseignants de SVTEEB en matière de connaissance et de gestion des conceptions des élèves	286
1.2. Enquêtes menées auprès des élèves concernant le niveau de leurs Conceptions.....	288

2. Analyse des résultats de prise en compte non-numérique des conceptions des élèves	289
2.1. Analyse des résultats du pré-test	290
2.2. Analyse des résultats du post test.....	293
2.2.1. Résultats du post-test après émergence des conceptions	294
2.2.2. Résultats de l'évaluation après la destruction des conceptions erronées	298
2.2.3. Résultats de l'évaluation après la construction du savoir scientifique.....	303
2.2.4. Récapitulatif des résultats des post-tests	308
3. Analyse des résultats de modélisation de l'information génétique par les élèves de Terminale D.....	312
3.1. Analyse des résultats du pré-test lors de la modélisation de la transmission de l'information génétique	312
3.1.1. Résultats des pourcentages la moyenne des notes des évaluations du pré-test.....	312
3.1.2. Récapitulatif des résultats de la moyenne des notes des évaluations du pré-test.....	315
3.1.3. Constitution des groupes témoin et expérimental à partir des intervalles de notes du pré-test	316
3.1.4. Récapitulatif des groupes et expérimental à partir des intervalles de la moyenne des notes du pré-test	319
3.1.5. Résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe expérimental et témoin	321
3.1.6. Récapitulatif des résultats du pré-test en fonction du pourcentage de réussite par groupe témoin et expérimental	323
3.2. Analyse des résultats du post-test lors de la modélisation de transmission de l'information génétique	325
3.2.1. Résultat du post-test des Terminale par intervalle de note après expérimentation de la plateforme	325
3.2.2. Récapitulatif des résultats des Terminales par intervalle de note après expérimentation de la plateforme.....	327
3.2.3. Résultats des bornes supérieures et inférieures après modélisation via la plateforme numérique	329
3.2.4. Récapitulatif des résultats des bornes supérieures et inférieures des Terminale D après modélisation via la plateforme numérique	334
CHAPITRE VIII :DISCUSSION ET INTERPRÉTATION DES RESULTATS	343
1. Interprétation des principaux résultats	344
1.1 Interprétation des résultats de l'hypothèse spécifique 1.....	346

1.2 Interprétation des résultats de l'hypothèse spécifique 2.....	350
1.2.1 Les pratiques de modélisation : une démarche de biologie expérimentielle.....	351
1.2.2 Les travaux de modélisation comme dispositif efficace de prise en compte des conceptions en génétique	352
1.3 Interprétation des résultats de l'hypothèse spécifique 3.....	353
1.3.1 Le dispositif d'enseignement numérique de génétique : un dispositif d'émergence et de déconstruction des conceptions erronées	354
1.3.2 La fiche du protocole d'utilisation du dispositif numérique : un dispositif d'apprentissage de la génétique	355
2 Discussion sur la théorisation d'une approche de la prise en compte des conceptions en génétique	356
2.1. Discussion sur les dispositifs d'enseignement dans la prise en compte des conceptions des élèves en génétique	356
2.2. Discussion sur la méthodologie mobilisée en salle de classe.....	360
2.3. Discussion sur les théories mobilisées dans l'étude.....	362
3. Pertinence dégagée par l'étude	367
3.1 Pertinence sur le plan curriculaire	368
3.2 Pertinence sur le plan pédagogique	369
3.3 Pertinence sur le plan didactique.....	370
4. Difficultés rencontrées et suggestion de pistes de recherche	372
4.1. Difficultés rencontrées	372
4.1.1. Au niveau de la collecte des données secondaires	372
4.1.2. Au niveau de la collecte des données primaires et l'expérimentation.....	373
4.1.3. Au niveau de l'analyse des données	373
4.2. Suggestions et de pistes de recherche	373
4.2.1. Suggestions pour une intégration du digital de modélisation dans l'enseignement de la biologie scolaire	374
4.2.2. Pistes de recherche futures	377
CONCLUSION GÉNÉRALE	380
BIBLIOGRAPHIE.....	389
ANNEXES.....	408
TABLE DES MATIERES	451