

Université de Yaoundé I

Faculté des Sciences de l'Éducation

Centre de Recherche et de Formation

Doctorale en Sciences Humaines,

Sociales et Ingénierie Éducatives



University of Yaounde I

Faculty of Education

Doctoral Research and Training

Centre in Social and Educational

Sciences Engineering

Enseignement apprentissage de la chimie : construction du concept de mole en classe de 3^{ème} de l'Enseignement Général au Cameroun par la démarche d'investigation comme mode de transposition didactique

Thèse de Doctorat en sciences de l'éducation soutenue le jeudi 05 Février 2026

Spécialité : Didactique de la Chimie

Par

TEDONKENG Maurice

Titulaire d'un Master en didactique de la chimie



Devant un jury composé ainsi qu'il suit :

Président : DONGO Etienne, Pr ; Université de Yaoundé 1

Rapporteurs : KOUAM FOGUE Simeon, Pr ; Université de Yaoundé 1

AYINA BOUNI, MC ; Université de Yaoundé 1

Membres : MBAZE MEVA'A Luc, Pr ; Université de Douala

NTEDE NGA Hippolyte, MC ; Université de Yaoundé 1

NDONGO Thierry, MC ; Université de Yaoundé 1

Cette thèse est le fruit d'un travail acharné et approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de la communauté universitaire.

L'auteur détient les droits moraux et patrimoniaux sur son œuvre. Ceci implique une obligation des règles de citation et de référencement lors de l'exploitation de ce document scientifique.

Par ailleurs, le Centre de Recherche et de Formation Doctorale en Sciences Humaines, Sociales et Educatives de l'Université de Yaoundé I n'entend donner, ni approbation, ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; celles-ci doivent être considérées comme propres à leur auteur.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	i
REMERCIEMENTS.....	viii
LISTE DES ACRONYMES ET SIGLES	ix
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES.....	xii
RÉSUMÉ.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PARTIE I : CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE.....	4
CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE.....	5
1. Généralités sur l'enseignement des sciences	6
2. Structure de l'enseignement au Cameroun.....	8
2.1. Organisation du système éducatif.....	8
2.2. Stratégie du développement éducatif.....	12
2.3. Objectifs généraux de l'éducation au Cameroun	12
2.4. État des lieux.....	15
3. Difficultés d'apprentissage en science.....	18
4. Enseignement de la chimie.....	23
4.1. Chimie comme science expérimentale	24
4.2. Difficultés d'apprentissage en chimie.....	25
5. Enseignement de la chimie au Cameroun	29
6. Trois domaines du savoir en chimie.....	31
6.1. Domaine macroscopique.....	32
6.2. Domaine microscopique	32
6.3. Domaine symbolique.....	34

7. Concept de mole dans les manuels scolaires	37
7.1. concept de mole dans les manuels scolaires camerounais	39
7.2. Difficultés d'apprentissages du concept de mole.....	47
8. Travaux antérieurs sur le concept de mole.....	54
CHAPITRE 2 : CADRE CONCEPTUEL.....	74
1. Définition des concepts.....	75
1.1. Entités chimiques.....	75
1.1.1. Atome.....	75
1.1.2. Molécules	77
1.1.3. Ions.....	80
1.1.4. Quantité de matière	81
1.1.5. Mole, comme unité de mesure en chimie	82
1.1.6. Masse molaire	85
1.2. Transpositions didactiques.....	86
1.2.1. Origine de la transposition.....	86
1.2.2. Étapes de la transposition didactique	87
1.2.3. Pratiques sociales de référence	89
1.3. Qu'est-ce que l'apprentissage ?	90
1.3.1. Facteurs qui influencent l'apprentissage.....	92
1.3.2. Différents profils d'apprentissage.....	93
1.3.3. Comment prendre en compte les profils d'apprentissage pour un bon enseignement ?	98
1.4. Conceptions alternatives	100
1.4.1. Définition.....	100
1.4.2. Origine des conceptions alternative et leurs résistances au changement	101
1.4.3. Conceptions comme obstacles à l'apprentissage	104
1.4.4. Comment prendre en compte les erreurs ?.....	106
1.4.5. Changement conceptuel.....	107
1.4.5.1. Modèles de remplacement des conceptions	108

1.4.5.2. Théorie classique de transformation des conceptions	109
1.4.5.3. Modèle de la coexistence des conceptions : Apport des neurosciences	110
1.4.6. Intérêt des conceptions	111
1.4.7. Identification des conceptions : dispositifs appropriés	111
1.4.8. Analyse des conceptions	112
1.5. Démarche d'investigation	116
1.5.1. Étapes de la démarche d'investigation	118
1.5.3. Mise en œuvre de la démarche d'investigation	123
2. Étude historique et épistémologique du concept de mole	128
2.1. Concept de mole avant 1971	129
2.2. Concept de mole après 1971	134
3. Différents modes de raisonnement en chimie.....	136
3.1. Mode de raisonnement basé sur les modèles	137
3.2. Mode de raisonnement basé sur les cas	138
3.3. Mode de raisonnement basé sur les règles	138
3.4. Mode de raisonnement basé sur les symboles.....	140
3.5. Raisonnement basé sur l'automatisme aux raisonnements basé sur le processus cognitif.....	141
4. Théories explicatives.....	142
4.1. Modèle allostérique	143
4.1.1. Caractéristiques du modèle	143
4.2. Théorie socio constructiviste	145
4.2.1. Définition	145
4.2.2. Principes de la théorie	146
4.3. Théorie de l'apprentissage expérimentale	147
4.3.1. Origine de L'AE.....	147
4.3.2. Définition	149
4.3.3. Apprentissage expérimental : une pédagogie innovante.....	149
4.4. Théorie de la cognition située	150

4.4.1. Fondement de la théorie.....	150
4.4.2. Impact de la théorie de la cognition située pour l'apprentissage	150
4.4.3. Principes de la théorie de la cognition située	151
4.5. Théorie basée sur l'apprentissage par la découverte.....	151
4.5.1. Origine et définition de l'apprentissage par la découverte.....	151
4.5.3. Avantage de l'apprentissage par la découverte	155
5. Formulation des questions et hypothèses secondaires.....	156
PARTIE II: CADRE MÉTHODOLOGIQUE ET OPÉRATOIRE	157
CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	158
1. Type de recherche.....	159
2. Description du site de l'étude : choix des établissements et de salles de classes	
161	
2.1. Spécificités.....	162
2.2. Population accessible.....	163
2.3. Participants au pré-test.....	164
2.4. Participants à la phase du post-test	166
3. Choix des méthodes et des instruments de collecte des données	167
3.1. Choix des méthodes pour l'étude.....	167
3.2. Outils de Repérage des conceptions alternatives.....	168
3.3. Conception du questionnaire.....	173
3.3.1. Pré-test.....	174
3.3.2. Expérimentation	174
3.3.3. Post-test.....	176
4. Procédure de collecte des données	176
5. Analyse à priori du pré-test	177
6. Enseignement du concept de mole	190
6.1. Conception de la séance	190
6.2. Description des activités.....	191
6.3. Mise en œuvre des activités expérimentales.....	195

6.4. Description du déroulement de l'apprentissage basé sur la méthode classique.....	199
6.5. Collecte des données du post-test.....	203
7. Technique d'analyse des données.....	203
CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	208
1. Taux de participation expérimental.....	209
2. Taux du succès au premier palier du pré-test.....	210
2.1. Justification au deuxième palier	211
2.1.1. Résultats des questions qui traitent la masse molaire	211
2.1.2. Résultats traitant la constante d'Avogadro.....	220
2.2. Analyse de quelques justifications des apprenants liés à la quantité de matière et la masse au pré-test.	230
2.2.1. Analyse des productions des apprenants à la question Q5 au pré-test..	230
2.2.2. Analyse des productions des apprenants à la question Q6 au pré-test..	234
2.2.3. Analyse des productions des apprenants à la question Q7 au pré-test..	238
2.2.4. Analyse des productions des apprenants à la question Q8 au pré-test..	242
2.2.5. Résultats de la question Q9 au pré-test	248
2.3. Récapitulatif des résultats obtenus à la phase du pré-test.....	251
3. Taux de succès au premier palier du post test	254
3.1. Analyse des justifications des élèves au deuxième palier du post-test.....	255
3.1.1. Analyse des productions des élèves sur la masse molaire moléculaire au post-test.....	255
3.1.2. Analyse des productions des élèves sur la constante d'Avogadro au post-test	261
3.1.3. Analyse des productions des élèves sur la quantité de matière et la masse au post-test.....	266
4. Résultats de la question Q9 au post-test	277
5. Récapitulatif des résultats obtenus du groupe témoin et du groupe expérimental à la phase du post-test.....	281
6. Contribution de la recherche à l'apprentissage et à l'évolution des sciences ..	284

6.1. Pour la recherche	284
6.2. Pour l'enseignement des sciences.....	286
CONCLUSION GÉNÉRALE	289
INTÉRÊT DE LA RECHERCHE	293
BIBLIOGRAPHIE	295
ANNEXES.....	320

À

Mes feus parents.

REMERCIEMENTS

L'aboutissement de ce travail de recherche a été possible avec le concours de plusieurs personnes à qui nous tenons à témoigner toute notre gratitude. Ainsi, nous tenons à adresser toute notre reconnaissance à nos directeurs de thèse ; le Professeur Ayina Bouni et le Professeur Kouam Fogue Siméon pour la confiance accordée en acceptant de diriger ce travail, pour les conseils précieux et multidimensionnels, pour leur disponibilité et la rigueur au travail.

Nos remerciements aussi aux Dr. ATEBA Jeremi, Dr. Moulion Ndam Emmanuel pour leur disponibilité, pour leur encouragement et leur orientation. Nous voulons également remercier tous nos camarades chercheurs membres du laboratoire de Recherche Interdisciplinaire en Didactique (L'ARIDI), particulièrement Dr. Hamadou Halidou, Dr. Kouakam Nelson, M. Nchinmoun Mohamed, M. Sigha Paul Miki, Feuyet Mouliom Boris pour les multiples échanges en interaction.

Un merci à tous les enseignants du département de Didactique de l'Université de Yaoundé I.

Toute notre gratitude à tous les collègues ayant pris part à l'expérimentation, aux élèves qui ont effectivement participé à ces travaux. Ils m'ont accordé un accueil chaleureux dans leur établissement lors de la collecte des données.

Nous remercions notre épouse et nos enfants pour leur patience malgré les nombreuses absences et l'éloignement.

Notre reconnaissance s'adresse aussi à tous les membres de l'équipe de l'École Doctorale de l'Université de Yaoundé I pour leur soutien.

LISTE DES ACRONYMES ET SIGLES

APC	: Approche par les Compétences
BEPC	:
BUCREP	: Bureau Central des Etudes de la Population
CEP	: Certificat d'Etude Primaire
D.I	: Démarche d'Investigation
FSLC	: First School Leaving Certificate
LARIDI	: Laboratoire de Recherche Interdisciplinaire en Didactique
LC	: Learning Chemistry
LMD	: Licence Master Doctorat
MINEDUB	: Ministère de l'Education de Base
MINESEC	: Ministère des Enseignements Secondaires
SI	: Système Internationale
OCDE	: Organisation de Coopération et de Développement Économique
PISA	: Programme International pour le Suivi des Acquis des Élèves
TCPE	: Tableau de Classification Périodique des Eléments
ZPD	: Zone Proximale de Développement

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Profil d'un élève au sortir du 1er cycle	14
Tableau 2: Déclaration des apprenants de 6ème	21
Tableau 3: Déclaration des apprenants de 3ème	21
Tableau 4: Déclaration des apprenants de Terminale	22
Tableau 5: Symbole de l'état des composés en chimie.....	36
Tableau 6: Présentation des modules	40
Tableau 7: Structure du concept de mole	40
Tableau 8: Fiche de progression annuelle de PCT.....	46
Tableau 9: Analyse didactique du contenu	51
Tableau 10: Extrait du manuel DEWATEK en physique-Chimie-Technologie des classes de 4 ^{ème} illustrant quelques modèles atomiques	77
Tableau 11: Quelques modèles moléculaires	78
Tableau 12: Quelques cations et anions	81
Tableau 13: Quelques ions monoatomiques et poly atomiques	81
Tableau 14: Comparaison entre l'enseignement traditionnel et l'enseignement par la DI. ...	117
Tableau 15: Pourcentage des deux groupes	125
Tableau 16: Dimensions et indicateurs du modèle allostérique de l'apprendre.....	144
Tableau 17: Situation géographique des établissements : Animateurs pédagogiques des lycées concernés.....	163
Tableau 18: Population accessible : Animateurs pédagogiques des lycées concernés(2023)	164
Tableau 19: Présentation de l'échantillon de l'étude pour le pré-test : Enquête de terrain....	165
Tableau 20: Présentation de l'échantillon de l'étude pour le post-test	167
Tableau 21: Récapitulatif de l'analyse à priori du pré-test	189
Tableau 22: Extrait du Scénario pédagogique construit par nous.....	198
Tableau 23: Technique d'analyse des données du pre-test et post-test.....	206
Tableau 24: Taux de succès des élèves au premier palier.....	210
Tableau 25: Réponses et justifications des élèves à la question Q1 du pré-test.....	212
Tableau 26: Réponses et justifications des élèves à la question Q2 du pré-test.....	214
Tableau 27: Réponses et justifications des élèves à la question Q3 au pré-test.....	221
Tableau 28: Réponses et justifications des élèves à la question Q4 au pré-test.....	226
Tableau 29 : Réponses et justification des élèves à la question Q5 au pré-test	231
Tableau 30: Réponses et justifications des élèves à la question Q6 au pré-test.....	235

Tableau 31 : réponses et justifications des élèves à la question Q7 au pré-test	239
Tableau 32: réponses et justifications des élèves à la question Q8 au pré-test	243
Tableau 33: pourcentage de bonne réponse de la Q9 au pré-test	249
Tableau 34: Taux de succès des élèves au premier palier du groupe témoin et groupe expérimental au post-test.....	254
Tableau 35: Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la connaissance de la masse molaire atomique : Groupe témoin.....	256
Tableau 36: justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la connaissance de la masse molaire atomique : Groupe expérimental	260
Tableau 37: Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la connaissance de la constante d'Avogadro : Groupe témoin	262
Tableau 38:: Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la connaissance de la constante d'Avogadro : Groupe expérimental	264
Tableau 39: Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la masse et la quantité de matière : Groupe témoin	270
Tableau 40: Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la distinction entre la masse et la quantité de matière : Groupe expérimental.....	273
Tableau 41: Fréquence de bonnes réponses du groupe témoin et expérimental de la Question Q9 au post-test.....	278

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Structure des Enseignements Secondaires au Cameroun	10
Figure 2: Enseignement de la mole dans le monde macroscopiques et microscopiques	33
Figure 3: Définition de la mole dans le manuel camerounais Dewatek.....	42
Figure 4: Les unités de base du système international	44
Figure 5: La quantité de matière en lien avec la masse, volume et les entités élémentaires ...	48
Figure 6: Extrait d'un manuel DEWATEK en Physique-Chimie-Technologie des classes de niveau 3 ^{eme} illustrant le Modele simplifié de l'atome	76
Figure 7: Modèles moléculaires éclatés	78
Figure 8: Équations de combustion à l'aide des modèles moléculaires illustrée par le manuel DEWATEK des classes de 4eme	79
Figure 9: Icône d'une molécule et d'une mole de H ₂ O.....	79
Figure 10: Moles de molécules contenues dans une cuvette.....	79
Figure 11: Formation d'un cation et d'un anion	80
Figure 12: Carte d'identité de la mole.....	82
Figure 13: Représentation d'une mole des différentes espèces.....	83
Figure 14: Glucomètres	84
Figure 15: Chaîne de transposition didactique.....	87
Figure 16: Schéma complet des différentes étapes de la transposition didactique.	90
Figure 17: 7 profils d'apprentissage.....	95
Figure 18: Iceberg des conceptions modelées par les multiples environnements de l'apprenant	103
Figure 19: Description du processus de transformation des conceptions	110
Figure 20: Triangle didactique	113
Figure 21: Étapes de la démarche d'investigation	118
Figure 22: Trois temps forts d'une démarche d'investigation en enseignement.....	122
Figure 23: Modélisation des actions réalisées en cours d'une séquence d'investigation.....	123
Figure 24: Résultat du pré-test et post-test sur les ondes mécaniques	126
Figure 25: Quatre modèles mentaux	141
Figure 26: Schéma d'illustration de la zone proximale de développement	146
Figure 27 : Modèle de recherche quasi expérimentale avec pré-test	159
Figure 28: Modèle de recherche quasi expérimentale sans pré-test.....	160
Figure 29: Exemple de quelques énoncés propositionnels.....	169

Figure 30: Exemple d'un questionnaire à choix multiple avec justification.....	171
Figure 31: Deux cuvettes contenant les grains de riz et les grains de soja	191
Figure 32: Illustration de la masse molaire par les pesées	193
Figure 33: Activité 1 sur la découverte de la mole	200
Figure 34: Activité 2 sur la détermination de la quantité de matière	202
Figure 35: Schéma des principaux moments de la recherche	207
Figure 36: Étapes de la méthodologie de la phase finale de l'étude	207
Figure 37: Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un mauvais choix (a) pour la question Q1 du pré-test.....	216
Figure 38: Caractéristiques de l'élément Lithium.....	216
Figure 39: Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un mauvais choix (b) pour la question Q1 du pré-test	217
Figure 40: Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un bon choix (c) pour la question Q2 du pré-test.....	218
Figure 41: Exemple d'un mode de raisonnement lié à un manque de connaissance qui conduit à la mauvaise réponse(a) pour la question Q1 du pré-test.....	218
Figure 42: Diagramme des pourcentages des mauvaises réponses sur la notion de la masse molaire atomique.....	219
Figure 43: Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un mauvais choix (a) pour la question Q3 du pré-test.....	223
Figure 44: Exemple d'un mode de raisonnement lié à un manque de connaissance qui conduit à la mauvaise réponse(c) pour la question Q3 du pré-test.....	223
Figure 45: Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un bon choix (b) pour la question Q3.....	224
Figure 46: Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à une mauvaise réponse (a) pour la question Q4	227
Figure 47: Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un bon choix (b) pour la question Q4.....	227
Figure 48: Exemple d'un mode de raisonnement lié à un manque de connaissance qui conduit à la bonne réponse(c) pour la question Q4 du pré-test.....	228
Figure 49: Diagramme des pourcentages des mauvaises réponses sur la notion de la constante d'Avogadro au pré-test.....	229
Figure 50: Exemple d'un mode de raisonnement lié à un manque de connaissance qui conduit à la bonne réponse (a) pour la question Q5 du pré-test.....	232

Figure 51: Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (b) pour la question Q5 du pré-test	233
Figure 52: Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (c) pour la question Q5 du pré-test.....	233
Figure 53: Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (c) pour la question Q6 du pré-test.....	236
Figure 54: Exemple de raisonnement lié à un manque de connaissance qui conduit à un mauvais choix (b) pour la question Q6 du pré-test	237
Figure 55: Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (a) pour la question Q7 du pré-test.....	240
Figure 56: Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un bon choix (b) pour la question Q7 du pré-test.....	241
Figure 57: Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (c) pour la question Q7 du pré-test.....	242
Figure 58: Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (b) pour la question Q8 du pré-test	245
Figure 59: Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un bon choix (a) à la question Q8 du pré-test	245
Figure 60: Diagramme du taux d'échec sur la quantité de matière et la masse au pré-test ...	247
Figure 61: Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives à la question Q9 du pré-test	249
Figure 62: Diagramme du taux de succès à la question 9	250
Figure 63: Exemple de raisonnement basé sur une connaissance manifeste au choix de bonne réponse (c) à la question Q1 du post-test.	257
Figure 64: Exemple de raisonnement basé sur les conceptions alternatives au choix de mauvaise réponse(b) à la question Q1 du post-test.....	258
Figure 65: Exemple de raisonnement basé sur les conceptions alternatives au choix de bonne réponse(c) à la question Q2 du post-test.	259
Figure 66: Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de bonne réponse(c) à la question Q1 du post-test.	261
Figure 67: Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de bonne réponse(c) à la question Q4 du post-test.	263
Figure 68: Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de bonne réponse(b) à la question Q3 du post-test du groupe expérimental.	266

Figure 69: Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de bonne réponse(b) à la question Q7 du post-test du groupe témoin.	271
Figure 70: Exemple de raisonnement basé sur les conceptions alternatives au choix de mauvaise réponse(c) à la question Q6 du post-test du groupe témoin.	272
Figure 71: Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de bonne réponse(d) à la question Q6 du post-test du groupe expérimental.	274
Figure 72: Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de bonne réponse(a) à la question Q8 du post-test du groupe expérimental.	275
Figure 73: Diagramme de comparaison du taux de succès au premier palier dans le.....	276
Figure 74: Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix des bonnes réponses (a,b,c,d) à la question Q9 du post-test du groupe expérimental.	279
Figure 75: Diagramme de comparaison du taux de succès à la question Q9 dans le groupe témoin et expérimental	280
Figure 76: Cycle d'une étude collective d'une leçon.	286

RÉSUMÉ

Au Cameroun, la mole est introduite pour la première fois au niveau 3^{ème} (12-14 ans). Son apprentissage constitue un péril pour les apprenants de ce niveau surtout quand ils doivent interpréter le sens propre de la mole. Cette recherche vise à mesurer l'influence d'une remédiation basée sur la démarche d'investigation à travers les scores des élèves du niveau 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général. Pour atteindre notre objectif, un questionnaire à choix multiples et à deux paliers a été soumis au prétest à 431 apprenants afin de repérer les difficultés des apprenants et leurs origines, lorsqu'ils doivent conceptualiser le concept de mole. Les résultats obtenus, basés sur les choix au premier palier et l'analyse des productions des apprenants à la phase du pré-test, montrent que les apprenants rencontrent les difficultés lorsqu'ils conceptualisent la mole. Ces difficultés sont liées à un manque de connaissance et aux conceptions alternatives. Parmi ces conceptions, nous avons : la confusion conceptuelle entre la masse molaire moléculaire et la masse molaire atomique, la masse molaire atomique et le nombre d'atome, la confusion conceptuelle entre la masse molaire atomique et le numéro atomique, la confusion conceptuelle entre la quantité de matière et la masse. Nous avons aussi relevé l'incapacité des élèves à appliquer la formule pour calculer le nombre d'atome. Cette étude a également comparé les fréquences des choix au premier palier combinées à l'analyse des justifications au post-test entre deux groupes (99 chacun). Le groupe expérimental est soumis à la remédiation impliquant la démarche d'investigation tandis que le groupe témoin est soumis à la remédiation utilisant une approche habituelle. Les résultats du post-test montrent un taux moyen de 38,87 % dans le groupe témoin contre 81,5 % dans le groupe expérimental pour les 8 questions à deux paliers. Ces taux sont consolidés par des bonnes justifications au deuxième palier. A la question 9, le taux moyen dans le groupe témoin est de 28,5 % contre 61,5 % dans le groupe expérimental. La remédiation impliquant la DI améliore significativement les performances scolaires sur le concept de mole. Ainsi, nous pouvons conclure qu'un apprentissage basé sur la DI comme mode de transposition didactique amène les apprenants à surmonter leurs difficultés.

Mots clés : Enseignement-apprentissage, démarche d'investigation, mole, conception. Transposition didactique

ABSTRACT

In Cameroon, the concept of the mole is introduced for the first time in the third year of secondary school (ages 12-14). Learning this concept poses a challenge for students at this level, especially when they have to interpret its literal meaning. This research aims to measure the impact of inquiry-based remediation on the scores of third-year students in General Secondary Education. To achieve our objective, a two-level, multiple-choice questionnaire was administered as a pre-test to 431 students to identify their difficulties and their origins when they have to conceptualize the concept of the mole. The results obtained, based on the choices made in the first level and the analysis of the students' responses during the pre-test phase, show that students encounter difficulties when conceptualizing the mole. These difficulties are linked to a lack of knowledge and alternative interpretations. Among these misconceptions, we observed: conceptual confusion between molecular molar mass and atomic molar mass, between atomic molar mass and the number of atoms, between atomic molar mass and the atomic number, and between the amount of substance and mass. We also noted the students' inability to apply the formula for calculating the number of atoms. This study also compared the frequency of correct answers at the first level, combined with an analysis of justifications in the post-test, between two groups (99 students each). The experimental group underwent remediation involving an inquiry-based approach, while the control group received remediation using a standard approach. The post-test results showed an average rate of 38.87% in the control group compared to 81.5% in the experimental group for the eight two-level questions. These rates were reinforced by good justifications at the second level. In question 9, the average success rate in the control group was 28.5% compared to 61.5% in the experimental group. Remediation involving inquiry-based learning significantly improved academic performance on the concept of mole. Thus, we can conclude that learning based on inquiry-based learning as a method of didactic transposition helps learners overcome their difficulties.

Keywords: Teaching and learning, inquiry-based learning, mole, design. Didactics of transposition.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les sciences expérimentales ont pour but de décrire et de comprendre notre environnement. La chimie, qui est une partie des sciences physiques, a pour but de décrire la composition de la matière et ses transformations (Secours & Nouk, 2020). En d'autres termes, la chimie étudie la matière, ses caractéristiques, son état de changement et les conditions requises pour sa transformation. Cependant, elle est constituée de nombreux concepts abstraits et peu intuitifs. Elle est appliquée dans plusieurs domaines de la vie active tels que la sante, l'industriel et l'agriculture.

Parmi les concepts de base dont regorge la chimie, nous avons la mole ; ce concept a une spécificité car il donne accès à la compréhension des autres concepts à travers les nombres inaccessibles tel que le nombre d'Avogadro. Elle convoque les outils en mathématiques et en français pour construire un langage propre aux chimistes, à l'instar des nombres et des signes d'une part et des arrangements de lettres d'autre part. Ceci a permis de quantifier la matière et les éléments qui la constituent. Le comptage des éléments dans le domaine microscopique est désormais possible grâce au concept de mole qui est mobilisé dans plusieurs domaines d'apprentissage à savoir la physique, la chimie, la médecine, la biologie (Tedonkeng & Ayina, 2023).

Sa conceptualisation et son apprentissage sont complexes car, en tant qu'enseignant des sciences physiques dans des établissements secondaires du Cameroun, nous avons constaté que les apprenants éprouvent d'énormes difficultés quand il faut résoudre les tâches qui impliquent la mole. Ce constat est fait par plusieurs chercheurs dans divers contextes à travers le monde. Nous avons par exemple, la difficulté à établir correctement la relation entre la mole et d'autres concepts chimiques tels que : la concentration molaire, le volume, la masse et le nombre d'Avogadro pour ne citer que ceux-ci. Nous avons aussi la confusion entre les symboles (n , N , m , M). La confusion conceptuelle entre la mole et l'unité de masse, la difficulté à établir un lien correct entre le domaine de référence et le domaine cible ainsi que la confusion linguistique comme la différence entre mole et mol (Belanger & Verreault, 2000 ; Fumaroli & Gautier ,2018 ; Ibrahima, 2007). Le problème réside au niveau de la compréhension du sens propre du concept. Pourtant, cette compréhension est capitale pour déceler la structure de la matière. Nous avons également constaté que la transposition de la mole dans les manuels scolaires cause un véritable problème. Ceci nous a amené à poser la question suivante : quelle approche utiliser pour faciliter l'enseignement apprentissage du

concept de mole ? Cette question est au centre de la présente recherche. Dans le contexte camerounais, ce concept est introduit uniquement en classe de troisième où il leur est demandé de définir et de calculer la quantité de matière d'une particule (un atome, une molécule, un ion atomique, un ion moléculaire, ...). Ce concept est mobilisé dans les autres niveaux (séries scientifiques de l'Enseignement Secondaire) pour les calculs quantitatifs (Tedonkeng & Ayina, 2023). Il faut noter que ces consignes ne sont pas toujours appréhendées par les apprenants, soit à cause des conceptions erronées dans les classes antérieures soit à travers leur vécu quotidien et leur expérience personnelle (Fumaroli & Gautier, 2018). Dans le souci d'améliorer l'acquisition des concepts de base des disciplines scolaires en général et la chimie en particulier, le système éducatif au Cameroun a subi, jusqu'à nos jours, plusieurs approches pédagogiques. Cependant, les difficultés des apprenants persistent. La mole, qui est également utilisée pour décrire le niveau microscopique des systèmes chimiques, peut apparaître dans la mémoire des apprenants soit comme une difficulté aboutissant à la construction des connaissances intuitives soit parce que les apprenants ne jugent pas immédiatement leurs intérêts sur le concept étudié. Ces conceptions peuvent perdurer durant tout le parcours scolaire. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes focalisés au niveau 3^{ème} pour cette étude.

L'on s'attendait à ce que ce concept soit plus approfondi dans les classes supérieures vu son sens large. Á cet effet, les apprenants sont censés le maîtriser parfaitement au sortir de la classe de troisième. Pour cela, l'enseignement du concept de mole en classe de troisième doit tenir compte de son aspect qualitatif et quantitatif pour une bonne mobilisation future.

Notons qu'en Didactique, les chercheurs portent un grand intérêt sur les conceptions alternatives des apprenants. Certains procèdent à leur identification ainsi que leurs origines, alors que d'autres tentent plutôt d'y remédier. Les résultats de plusieurs recherches montrent que l'origine des conceptions alternatives provient de la méthode d'enseignement employée, du matériel didactique utilisé, qui est le plus souvent le manuel scolaire. Dans la quête durable de réponses à ces préoccupations, de nombreuses approches ont été mises sur pied par certains chercheurs mais n'ont, malheureusement, pas donné des résultats satisfaisants. Plusieurs autres recherches ont été menées en utilisant la démarche d'investigation et les résultats sont probants : (Delahaie, 2019 ; Deniel, 2018 ; Calmettes ,2008 ; Calmettes, 2009 ; Cariou, 2013 ; Guerin ,2012 ; Millerand, 2006). C'est dans cette optique que la présente recherche se propose d'évaluer l'influence de la démarche d'investigation sur les difficultés que les enfants rencontrent lorsqu'ils conceptualisent le concept de mole. Pour atteindre cet

objectif, notre travail consistera dans un premier temps à identifier les difficultés que rencontrent des apprenants des classes de 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général au Cameroun et leurs origines lorsqu'ils sont évalués sur le concept de mole. Il s'agit d'analyser les modes de raisonnement conduisant aux réponses tacites. Dans un second temps, nous allons construire des activités d'apprentissage qui permettront à surmonter ces difficultés.

Ce travail de thèse est constitué de quatre chapitres. Le premier chapitre porte sur la problématique. Il développe la présentation de l'apprentissage de la chimie et particulièrement le concept de mole est faite, suivie de la question principale de l'étude et l'hypothèse générale. Le deuxième chapitre présente le cadre théorique. Les concepts clés de la recherche y sont clarifiés. La démarche d'investigation est également développée ainsi que les hypothèses et questions secondaires. Ces deux premiers chapitres constituent la première partie de cette étude. Le troisième chapitre présente la méthodologie de la recherche qui donne, de façon détaillée, toutes les activités qui ont été menées afin d'atteindre les objectifs de la recherche. Elle insiste sur le choix de l'échantillon sur lequel s'appuie la partie expérimentale de notre travail, du dispositif au recueil des données et aux outils d'analyse des données. Dans le quatrième chapitre, les résultats obtenus sont exposés. Ces deux derniers chapitres constituent la deuxième partie de la recherche. Enfin, nous avons une conclusion qui ressort les fruits de notre recherche.

PARTIE I : CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE

CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE

Il s'agit dans cette partie de préciser l'état des lieux pour l'enseignement des sciences en général et de la chimie en particulier dans le contexte international et national. Cet état des lieux permettra de comprendre les difficultés auxquelles les apprenants sont confrontés lorsqu'ils conceptualisent les notions en sciences. Par la suite, nous allons présenter les problèmes d'apprentissage de la chimie et plus précisément de la mole dans l'intérêt de d'éclaircir le problème de la recherche qui conduira à la question principale.

1. Généralités sur l'enseignement des sciences

L'éducation scientifique des futurs citoyens est devenue une priorité d'ordre mondial, vu les enjeux auxquels le monde actuel est confronté. Nous avons, par exemple, les crises climatiques, les défis énergétiques, *etc...* L'éducation scientifique est le garant de la croissance économique et technologique. Comme l'affirme Ruellan (1988) « Il n'y a pas d'avenir pour un peuple s'il ne dispose pas d'un minimum de maîtrise scientifique lui donnant les moyens de négocier avec des partenaires » (p.24). Selon lui, la maîtrise des savoirs scientifiques et technologiques est un facteur de développement pour un peuple. L'enseignant a une lourde responsabilité devant la société en ce sens où « le pays ou la nation dont l'avenir est entre ses mains compte sur lui pour préparer des citoyens conscients de leurs droits et informés de leurs devoirs » (Tsafack, 1998, p.48).

Pour l'Organisation de coopération et de développement économiques (1999), les apprenants doivent s'approprier de l'enseignement des sciences dans le but de mettre en exergue leurs capacités à communiquer sur les idées scientifiques et les expériences, de comprendre la définition élémentaire de la science et comment elle marche, de comprendre les phénomènes naturels qui nous entourent ; en somme, les avantages et les limites de la science.

Dans le but d'obtenir une main d'œuvre qualifiée, les ministères en charge de l'éducation de chaque pays doivent définir les objectifs pour l'enseignement apprentissage des sciences. Cependant, les élèves sont toujours confrontés à de multiples difficultés et échecs dans l'apprentissage scientifique en général. De nombreux organismes qui prônent l'éducation ont mené des enquêtes à ce sujet et ont abouti à des conclusions inquiétantes. Les résultats du test sur les performances des élèves en sciences expérimentales et en mathématiques effectués par l'association internationale pour l'évaluation du rendement scolaire (1995) dans 41 pays, ont montré que les élèves éprouvent de nombreuses lacunes en sciences expérimentales et en mathématiques. Ce constat est confirmé par l'Institut

International de la Planification de l'Éducation I.I.P.E (2004), par ses travaux portant sur l'aspect qualitatif de l'enseignement des sciences expérimentales dans les pays francophones d'Afrique. Dans le but d'évaluer les performances des élèves de 15 ans dans plusieurs pays du monde, l'OCDE a mis sur pied un programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA) dans plusieurs matières. Parmi les matières concernées, nous avons les mathématiques, les sciences et le français.

L'enquête PISA ne cherche pas simplement à évaluer la faculté des élèves à reproduire ce qu'ils ont appris, mais vise aussi à déterminer dans quelle mesure ils sont capables de se livrer à des extrapolations à partir de ce qu'ils ont appris et d'utiliser leurs connaissances dans des situations qui ne leur sont pas familières, qu'elles soient ou non en rapport avec l'école. (OCDE, 2018, p.25)

Il s'agit en fait d'expliquer scientifiquement les phénomènes de la nature afin de concevoir des investigations scientifiques (PISA, 2015). L'OCDE en 2012 dans son rapport, fait comprendre aux dirigeants nationaux que, sans la maîtrise des sciences et la technologie, les individus ne peuvent pas comprendre certains débats, certaines situations ou certains problèmes. Nous comprenons donc que la connaissance de la culture scientifique est un atout dans la vie quotidienne, non seulement pour une communauté, mais aussi à l'échelle mondiale. « La chimie revêt une importance toute particulière dans la formation scientifique, étant donné les enjeux qui en relèvent dans les sociétés modernes, notamment ceux concernant les industries pétrochimique et biopharmaceutique » (O C D E., 2014, p.3). En Europe par exemple, la compétence indispensable aux individus est la connaissance de la culture scientifique (Eurydice, 2011).

Les évaluations internationales organisées par le Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA) de 2016 montrent que les élèves libanais sont très faibles. Par conséquent, le Liban occupe le 65^e rang sur les 70 pays participants (Halloun, 2019). De même, les résultats de PISA 2018 montrent que la fréquence des apprenants qui se situent au niveau 2 est de 78% car ils sont incapables de reconnaître, d'interpréter la façon dont une simple situation peut être traduite en langage mathématiques. Seulement 13% en Singapour ont pu atteindre le niveau 6. Dans la zone de Pékin, Shanghai, Jiangsu et Zhejiang (Chine), ils ont enregistré 16.5 %. « Ces chiffres montrent qu'il reste, dans tous les pays, encore du chemin à parcourir pour atteindre, à l'horizon 2030 les objectifs mondiaux relatifs à un

enseignement de qualité, tels que définis dans les Objectifs de développement durable relatif à l'éducation des Nations Unies. » (PISA, 2019, p.2)¹.

2. Structure de l'enseignement au Cameroun

Le Cameroun est constitué d'une diversité ethnique et culturelle avec deux langues officielles à savoir l'anglais et le français pour les 2/3 de la population ; sans oublier les langues secondaires qui sont ; l'espagnol, l'allemand et le chinois dont le choix est fait à partir de la 3^{ème} année du cycle secondaire. On présente le Cameroun comme l'Afrique en miniature pour son aspect géographique, sa diversité socioculturelle et son aspect linguistique multidimensionnel.

Les agents en charge de l'éducation doivent prendre en considération ces distinctions linguistiques et cette diversité culturelle pour soigner la qualité des enseignements afin de corroborer la pensée de certains auteurs : « le système éducatif doit garantir une formation en qualité et en quantité capable de répondre aux exigences d'unification, de production d'innovation et d'évolution technologique qui recèle la mondialisation » (Larré & Plassard, 2003). En effet, sur la base de l'observation faite sur le terrain, l'approche systématique est indispensable, vu les catégories des problèmes identifiés. Une approche classique ne favorise pas l'aboutissement des apprentissages significatifs pouvant mener au développement des compétences transversales. Il est donc urgent de relever ce défi pour y parvenir.

Les pays qui envisagent le développement se sont engagés dans l'amélioration quantitative et qualitative de leur système éducatif. Le Cameroun, d'après le recensement mené en 2005 par le Bureau Central de Recensement de la Population (BUCREP), en fait partie. La population camerounaise est caractérisée par la jeunesse dans sa première composante. « Un camerounais sur deux a moins de 18 ans. Les moins de 12 ans représentent 43,6% de la population totale » (MINESEC, 2010 p.14). Au regard de ce pourcentage, nous pensons que la demande scolaire est exponentielle pour cette population.

2.1. Organisation du système éducatif

Pour un besoin de respect de sa valeur culturelle, l'éducation au Cameroun est divisée en deux sous-systèmes : le sous-système anglophone et le sous-système francophone. Pour chaque sous-système, on compte cinq niveaux : le préscolaire, le primaire, le post primaire, le

¹ PISA : Programme international pour le suivi des acquis des élèves

secondaire et le normal. Notons que l'Enseignement Supérieur est commun pour les deux sous-systèmes francophone et anglophone.

- Le préscolaire ouvre ses portes pour les apprenants âgés de 4 ans pour une durée de 2 ans dans les établissements publics et 3 ans dans les établissements privés et les centres préscolaires. Il s'agit ici de gérer les aspects comme l'éveil, la santé de l'enfant, l'éducation à l'environnement.
- Quant à l'enseignement primaire, il a une durée de 6 ans ; l'âge requis pour avoir accès à une inscription est 6 ans. Au sortir de ce cycle primaire, un diplôme est délivré : le « CEP » pour le sous-système francophone et le « F.S.L.C » pour le sous-système anglophone.
- Pour l'Enseignement Secondaire Général et Technique, le cycle accueille les enfants de 12 ans. Pour une durée de 7 ans dont 4 ans d'étude pour le premier cycle et 3 ans pour le second cycle du sous-système francophone et 5 ans pour le premier cycle et 2 ans pour le second du sous- système Anglophone.
- Le Post primaire est un cycle qui regroupe certains apprenants venant du primaire pour une formation technique qui dure 2 ans. Au sortir de ce cycle, l'apprenant a la possibilité de s'intégrer directement dans la vie quotidienne ou alors de poursuivre sa formation au secondaire de l'Enseignement Technique.
- L'enseignement normal prend en charge la formation des formateurs du préscolaire, du primaire, du secondaire général et technique.

L'Enseignement Supérieur accueille les bacheliers venant du secondaire. Au Supérieur, le système éducatif camerounais se distingue de celui des autres pays de l'Afrique Centrale de par son engagement dans la réforme ; il a été parmi les premiers pays en Afrique Centrale à adopter le système LMD. « Au sommet de la hiérarchie, les ministres sont les responsables politiques de l'éducation en ce qui concerne les enseignants préscolaire, primaire, normal, secondaires général et technique. » (Tsafack, 1998, p.117). « Le ministère de l'enseignement supérieur dispose d'une direction du développement de l'enseignement supérieur chargée des questions académiques et d'une direction de l'assistance et de l'orientation » (Tsafack, 1998, p.128).

❖ Les délégués en charge de l'éducation

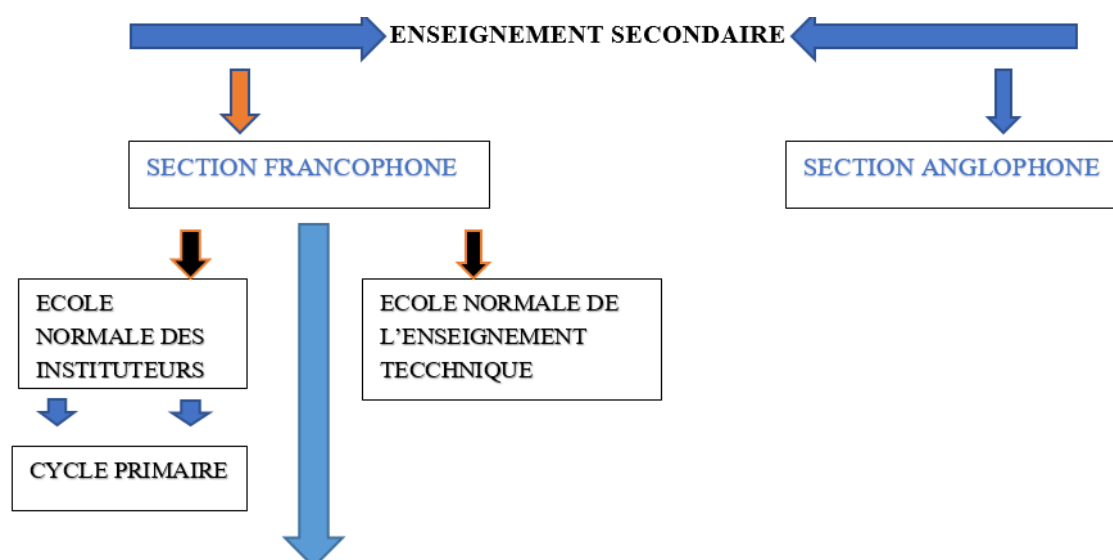
Le ministère des enseignements secondaires dispose dans chaque région, d'un délégué régional chargé des enseignements secondaires et dans chaque département, d'un délégué départemental chargé des enseignements secondaires. Le rôle de ces délégués est de coordonner les services liés à l'enseignement. Le délégué départemental rend compte au délégué régional qui, à son tour, rend compte directement au ministre. Le personnel local du Ministère des Enseignements Secondaires doit déposer leurs dossiers dans ces délégations par respect pour la voie hiérarchique.

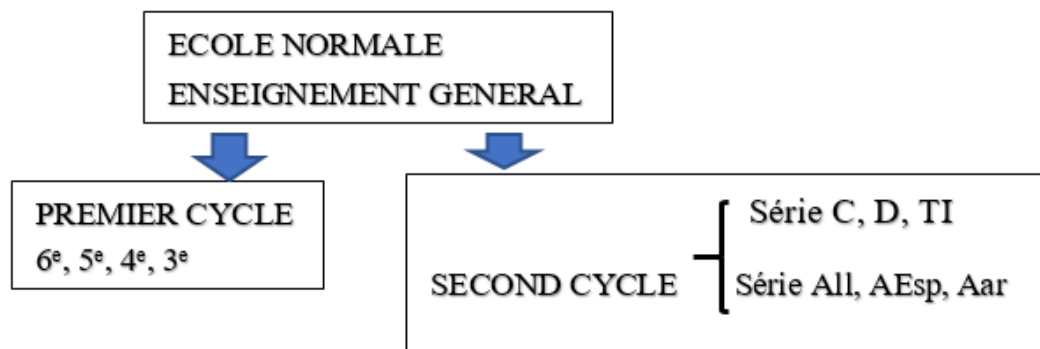
Les inspecteurs nationaux et régionaux sont responsables de l'ensemble des établissements d'enseignement secondaires. La plus grande partie des difficultés des enseignants liées à la profession enseignante sont traitées à cet échelon de la hiérarchie à travers les formations continues.

- Le MINEDUB en charge du primaire et maternelle.
- Le MINESEC en charge de l'enseignement secondaire général et technique et l'enseignement normal (ENIEG, ENIET).
- Le MINESUP, quant à lui, s'occupe de l'enseignement supérieur et les formations post-secondaires grâce au système LMD.

Figure 1

Structure des enseignements secondaires au Cameroun





Comme mentionné plus haut, le sous-système francophone est très étendu par rapport au sous-système anglophone, c'est-à-dire que sur les 10 régions du pays, il en occupe 8. On distingue les séries scientifiques (C, D, TI) et les séries littéraires (A_{Al}, A_{Esp}, A_{ar}, ...). Nous n'avons pas mentionné ces séries littéraires parce qu'elles ne sont pas concernées par les sciences physiques. Notons que le choix de ces séries s'effectue à la fin du premier cycle ou le premier diplôme secondaire (B.E.P.C) est délivré. Cette recherche est menée uniquement dans le sous-système francophone notamment le premier cycle plus particulièrement le niveau 3^{ème} qui constitue la population de l'étude. Ce choix relève du fait que nous contribuons comme acteurs dans le processus de formation des jeunes dans l'éducation. Aussi, c'est à ce niveau que les apprenants découvrent, pour la première fois, le concept de mole. Il est important qu'ils intègrent les concepts intégrateurs afin de mieux s'orienter vers les filières scientifiques. Pour poursuivre les études en chimie comme domaine préférentiel dans les universités, l'apprenant doit absolument solliciter ces séries. Les filières scientifiques orientent plus tard les apprenants sur le choix de certains concours d'entrée dans les écoles de formation. Ainsi, la maîtrise du concept de mole constitue un défi majeur pour les apprenants du niveau 3^{ème}. Précisons que depuis l'année 2024, quelques modules de sciences physiques sont intégrés dans le programme de SVTEEHB aux niveaux 6^{ème} et 5^{ème}; ceci marque le passage des enseignants de sciences physique dans ces deux niveaux.

La discipline est commune pour les deux départements² sous l'appellation *sciences*. La spécialisation est observée à partir du niveau 4^{ème}. Comme tout concept destiné à l'apprentissage, la mole subira plusieurs transpositions didactiques pour être adaptée dans le programme scolaire afin d'être enseignable. Son apprentissage nécessite la prise en compte de son étude socio-historique.

² Science de la Vie et de la Terre et Physique Chimie et Technologie

2.2. Stratégie du développement éducatif.

Pour bâtir un citoyen capable de rehausser l'économie du pays, les reformes prévues par le rapport de l'analyse de la carte scolaire du MINESEC sont :

- *Professionnaliser la formation des apprenants ;*
- *Professionnaliser les enseignements dans le supérieur ;*
- *Procéder par la maîtrise des effectifs pour un enseignement de qualité ;*
- *Faciliter l'accès à tous les enfants pour l'éducation de base ;*
- *Mettre l'accent sur le choix des programmes pouvant répondre aux attentes des jeunes ;*
- *Équiper les infrastructures scolaires et veiller à leurs maintenances. (MINESEC, 210 P. 14)*

2.3. Les objectifs généraux de l'éducation au Cameroun

La construction d'une connaissance basée sur la culture scientifique est le point focal de plusieurs pays puisqu'elle constitue un facteur important qui vise à favoriser le développement économique et industriel dans une société moderne. La performance scolaire a été, est et sera toujours la préoccupation des acteurs de l'éducation. À cet effet, un bon système éducatif doit établir un programme d'étude capable d'assurer une formation de qualité tout en considérant l'aspect évolutif de la technologie qu'exige la société d'aujourd'hui. Dans le but d'améliorer la maîtrise de la culture scientifique et la technologie dans le domaine éducatif, l'ex MINEDUC en charge de la formation des jeunes (devenu aujourd'hui le MINESEC et le MINEDUB) avait publié un certain nombre de circulaires qui orientent l'enseignement expérimental des sciences physiques jusqu'à nos jours. Nous pouvons citer entre autres :

- *La circulaire N° 77/D/59/MINEDUC/SG/PG/INPC d'octobre 1984 relative à l'enseignement des sciences physiques qui stipule que l'enseignement des sciences physiques a pour but non seulement la construction des connaissances, mais aussi le développement des facultés de nos apprenants. Aussi est-il important de les mettre en contact avec les faits, de leur montrer directement des phénomènes, soit expérimentalement (sans les yeux), soit en leur faisant expérimenter eux-mêmes tout en dirigeant leur observation.*
- *La circulaire N° 24/80/MINEDUC/GP/ESG de juin 1991 précise que l'objectif des travaux pratiques est de familiariser les élèves à l'utilisation du matériel scientifique.*
- *La perception de la part des autorités de l'importance de la chimie dans la formation des jeunes camerounais les a amenés à faire d'elle une matière autonome et plus encore du*

premier groupe aux examens du probatoire et du baccalauréat scientifique. Ces circulaires placent l'enseignement des sciences physiques centré sur la théorie et la pratique. (MINEDUC, 1984)

La loi N° 98/004 du 14 avril 1998 qui porte sur les exigences dans le domaine éducatif au Cameroun, couplée des recommandations des états généraux de 1995 ont favorisé la révision des programmes sur l'éducation camerounaise. Cette loi stipule, en son Article 4, que « l'éducation a pour mission principale la formation de l'enfant en vue de son épanouissement intellectuel, physique, civique et moral et son insertion harmonieuse dans la société, en tenant compte des facteurs économiques, socioculturels, politiques et moraux ». Les nombreuses approches et réformes sont connues pour l'enseignement apprentissage des sciences en général et plus particulièrement l'enseignement apprentissage des sciences physiques. Nous avons également la formation continue des enseignants des sciences physiques qui est régulièrement organisée ; toutes ces stratégies prouvent la complexité de cette discipline. Au Cameroun, la nouvelle approche en vigueur dite approche par les compétences (APC) est centrée sur les compétences avec une entrée par les situations problèmes contextualisés. Elle a fait son entrée dans le système éducatif camerounais depuis 2002 à l'éducation de base. C'est en 2014, conformément à l'arrêté n° 263/4/MINESEC du 13 Août 2014, portant définition des programmes d'étude, qu'elle a vu le jour aux enseignements secondaires ainsi que l'arrêté N°419/14/MINESEC/IGE du 9 décembre 2014 portant sur la définition des programmes d'études des niveaux 4^{ème} et 3^{ème} de l'enseignement secondaire et général. Ces nouveaux programmes regorgent de quelques évolutions considérables.

- *Évolution d'une pédagogie frontale et transmissive à une pédagogie d'apprentissage basée sur l'acquisition de compétences permettant de résoudre des situations de vie ;*
- *Évolution d'une école coupée de la société à une école permettant de s'insérer dans le tissu socioculturel et économique ;*
- *Évolution d'une évaluation des savoirs à une évaluation des compétences nécessaires à un développement durable. (MINESEC, 2014 p.5)³*

Ce nouveau programme définit le profil de sortie du 1^{er} cycle.

³ ARRETE N*419/14/MINESEC/IGE du 9 DEC 2014 portant définition des programmes d'Etudes des classes de 4^{ème} et 3^{ème} de l'Enseignement Sécondaire Général.

Tableau 1

Profil d'un élève au sortir du 1^{er} cycle (Programme 4^{ème} et 3^{ème}, 2014, p. 7)

<i>Domaines de vie</i>	<i>Familles de situations traitées au 1^{er} cycle</i>
<i>1. Vie familiale et sociale</i>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Participation à la vie familiale ;</i> – <i>Maintien de saines relations professionnelles ;</i> – <i>Intégration sociale.</i>
<i>2. Vie économique</i>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Découverte des activités génératrices de revenu ;</i> – <i>Découverte du monde du travail, des rôles sociaux, des métiers et des professions ;</i> – <i>Confiance en soi, en ses aspirations, en ses talents, en son potentiel ;</i> – <i>Exercices de saines habitudes de consommation.</i>
<i>3. Environnement, bien-être et santé</i>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Préservation de l'environnement ;</i> – <i>Recherche d'un meilleur équilibre de vie ;</i> – <i>Choix et observation de saines habitudes de vie.</i>
<i>4. Citoyenneté</i>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Connaissance des règles de fonctionnement de la société camerounaise ;</i> – <i>Découverte des valeurs et traits culturels de la société camerounaise.</i>
<i>5. Média et Communication</i>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Découverte du monde des médias ;</i> – <i>Découverte des technologies de l'information et de la communication.</i>

Pour atteindre ces objectifs, le programme prétend que l'apprenant doit développer des habiletés et des compétences pour :

- *Communiquer à l'écrit et à l'oral sur des phénomènes scientifiques de son environnement ;*
- *Comprendre et expliquer des phénomènes naturels ;*
- *Résoudre les problèmes que posent ces derniers dans ses domaines de vie ;*
- *Sauvegarder et gérer durablement son environnement ;*
- *Mettre en œuvre des processus d'acquisition des connaissances ;*
- *Implémenter la démarche scientifique et la démarche technologique ;*

- *Comprendre et exploiter son environnement.* (MINESEC, 2014, p. 8)⁴

En d'autres termes, l'apprenant doit être responsable du processus d'acquisition de son savoir et rendre les connaissances mobilisées transversales. Il doit acquérir les éléments fondamentaux de la culture scientifique, méthodes et connaissance pour interpréter le fonctionnement des objets techniques fabriqués par l'homme et les projets économiques réalisés par ce dernier afin de satisfaire ses besoins. Ces objets sont indispensables, surtout pour un pays qui aspire au développement. A cet effet, le besoin d'une maîtrise des sciences et des technologies s'impose. Entre autres, il faut développer les compétences transversales dans plusieurs domaines pour résoudre les problèmes auxquels on est confronté, d'être capable de s'auto-évaluer afin d'entreprendre les remédiations, d'être apte à concevoir et à réaliser un projet individuel.

Le Ministère de l'Économie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (MINEPAT) a fixé en 2010 un certain nombre d'objectifs à atteindre à l'horizon 2035 tels que former des pharmaciens industriels, des médecins biologistes, des ingénieurs et techniciens dans le domaine du traitement et de l'assainissement des eaux qui contribueront à l'augmentation de l'espérance de vie (MINEPAT, 2009).⁵

2.4. État des lieux

La mission primordiale d'un enseignant consiste à transmettre aux apprenants le savoir, le savoir-faire, le savoir-être sur les plans intellectuel, physique, civique, moral et social. Ces savoirs sont nécessaires pour le développement de leur personnalité et pour leur insertion dans la vie sociale. Au quotidien, seuls les enseignants remplissent cette lourde tâche à travers une méthode didactique appropriée. Cela permet à l'apprenant d'exprimer ses pensées par rapport à certaines situations, de résoudre les problèmes significatifs de la vie courante, d'obtenir de bons résultats au terme de leur apprentissage.

Pendant notre formation continue, les échanges entre les collègues de différents établissements font état de ce que les performances des élèves en physique, chimie et technologie sont, dans l'ensemble, mauvaises. Face à cette situation, les opinions divergent, les torts sont partagés. D'une part, les enseignants estiment que les parents ont démissionné

⁴ ARRETE N*419/14/MINESEC/IGE du 9 DEC 2014 portant définition des programmes d'Etudes des classes de 4^{eme} et 3^{eme} de l'Enseignement Secondaire Général.

⁵ <http://www.scirp.org> MINEPAT (2009). Cameroun vision 2035. Ministère de l'économie, de la planification et de l'Aménagement du territoire. Vol. 1, Rapport Principal, Yaoundé, Cameroun,22.

de leurs devoirs, que les élèves s'intéressent davantage aux émissions et films télévisés et que les laboratoires présents dans certains établissements ne sont pas équipés. D'autre part, les acteurs (inspecteurs pédagogiques, chefs d'établissements) pensent plutôt que la faute revient aux enseignants qui ne respectent pas les instructions prescrites. Cela est visible à travers l'absence des fiches pédagogiques de préparation d'une leçon dans les salles de classe, la non contextualisation des situations problèmes proposées, le manque des travaux pratiques et des activités d'apprentissages et la non exploitation des outils didactiques ; tout cela au profit du transfert de connaissances. Ces inspecteurs estiment que, face à un manque de matériel didactique, l'enseignant peut adapter le matériel didactique de récupération dans sa pratique de classe. Aussi, l'absence des enseignants pendant les formations continues met en péril le recyclage de ces derniers. Toutes ces opinions révèlent un problème dans le système éducatif. « Un autre problème soulevé est celui de l'évaluation effective des compétences des élèves à l'issue de leur formation. Cette évaluation est faite traditionnellement à l'aide des questionnaires visant à vérifier leurs connaissances et aptitudes » (Ngono, 2010, p. 4). L'élève, qui est au centre de l'apprentissage, est le meilleur perdant. Selon les instructions du MINEDUC, « L'enfant n'est plus un simple spectateur, il s'interroge, il formule les hypothèses, il imagine, il cherche une opinion, il argumente, il justifie ses réponses... ». Au regard de ce souhait, l'enseignant doit construire des activités par le biais d'une approche convenable (MINEDUC, 1999, p.78). Á propos de la manière de servir de certains enseignants, IPAM écrit : « Il ne suffit pas non plus que l'enseignement soit dispensé et dans les durées requises, sa qualité joue un rôle de premier plan dans les résultats obtenus et le caractère de l'enseignement donné peut dépendre de plusieurs facteurs entre autres la formation de l'enseignant... » (IPAM, 1993 p.71). Dans nos établissements, les enseignants adoptent la politique de finir avec le programme officiel le plus tôt possible juste pour dire que les objectifs sont atteints sans toutefois se soucier de la qualité du savoir dispensé.

Au regard de ce qui précède, l'accent est mis sur l'enseignement traditionnel. « Dans l'enseignement traditionnel, on fait peu de rappel des connaissances antérieures et l'on procède comme si ce qui a été enseigné auparavant avait été compris et retenu » (Hervieu, 2019 p.406). « La responsabilité de l'échec est alors attribuée à l'enfant et non à un défaut d'enseignement » (Hervieu, 2019, p.406). Alors que dans un enseignement à sens unique, l'apprentissage n'est pas centré sur l'élève mais plutôt sur l'enseignant qui se contente de transmettre la connaissance ; il est l'auteur principal et l'élève est le récepteur passif. Il exécute toutes les méthodes imposées par l'enseignant, le cours est pratiquement magistral.

Le principe qui anime la forme d'apprentissage par le tutorat est le transfert de connaissances aux élèves et le fait de l'accompagner à s'approprier des informations (Aimer, 2022).

2.5 Constat empirique

D'après les objectifs généraux fixés par le pouvoir public en charge de l'éducation pour l'enseignement des sciences physiques, l'on s'attendait à l'obtention des résultats scolaires significatifs en chimie. Mais, les notes obtenues en chimie par les élèves aux différentes évaluations et aux examens officiels montrent que les apprenants rencontrent les difficultés dans l'apprentissage de cette discipline. La mole est l'un des concepts qui accentue les difficultés des élèves dans l'apprentissage de la chimie. En tant qu'acteur de l'éducation (enseignant de chimie), nous avons visité trois classes de 3^{ème}. Ces classes sont tenues par trois différents enseignants de physique, chimie et technologie. Dans chaque classe, nous avons demandé aux apprenants de prendre chacun une feuille sur laquelle il mentionnera toutes les difficultés rencontrées lorsqu'il étudie la leçon sur la mole. Il ressort du dépouillement plusieurs difficultés dont les plus récurrentes sont :

- *Je ne connais pas calculer le nombre d'atome de carbone dans un exercice ;*
- *La définition est bizarre, on ne la comprend pas du tout ;*
- *Quand on dit une mole de fer a réagi avec une mole de soufre pour former une mole de sulfate de fer, je ne comprends pas ;*
- *Comment reconnaître la masse molaire, la masse molaire atomique et la masse molaire moléculaire ? Ces mots se ressemblent et m'embrouillent beaucoup ;*
- *La constante d'Avogadro sert à quoi ;*
- *Je ne connais pas la différence entre la masse et la quantité de matière ;*
- *Tout me dépasse sur la mole.*

Face à ce constat, nous avons jugé indispensable de consulter les cahiers de texte (voir annexe) de ces trois enseignants. En 3^{ème} All₁, la transposition du concept de mole est faite selon les étapes suivantes :

Séance 3 : La mole

1-definition

2-La masse molaire

2.1-La masse molaire atomique

2.2-La masse molaire moléculaire

3-La quantité de matière

Cette structure est basée sur une approche transmissive car il n'y a pas de situation d'entrée, pas d'objectifs et encore moins d'activités d'apprentissages. Dans ce même cahier l'enseignant n'a mentionné nulle part le travail à faire à la maison.

Pour le deuxième enseignant qui tient la 3^{ème} Esp 4, la transposition du concept de mole suit les étapes ci-dessous :

Leçon 3 : La mole

Situation problème

Compétence

1- Définition

a- Mole

b- Constante d'Avogadro

c- Masse molaire

d- Quantité de matière

2- Relation entre la quantité de matière et la masse

Exercice 1, 2 p.21

T.A.F. 8,10,13,14,15 pp.22-24

Dans le présent cas de figure, nous pouvons constater que malgré la situation d'entrée présentée et les exercices à faire à la maison, cette enseignante n'envisage aucune activité d'apprentissage. Nous savons que la connaissance est construite à travers les activités d'apprentissage qui peuvent être théoriques, expérimentales ou digitalisées. Avec cette méthode de transmission basée sur le transfert de connaissance, il est normal que les élèves éprouvent des difficultés lorsqu'ils sont engagés à résoudre un problème en lien avec la mole qui peuvent se manifester sur d'autres concepts chimiques et d'autres disciplines scientifiques.

3. Les difficultés d'apprentissage en science

La science étudie systématiquement les objets qui nous entourent ; en d'autres termes, tout ce qui est examinable, testable et vérifiable. Les connaissances scientifiques sont basées sur l'observation, la production des hypothèses et la vérification par une expérimentation. C'est une investigation empirique dans le but de comprendre le monde naturel. Ces prescriptions cadrent avec la chimie. « La science c'est l'étude du monde qui nous entoure dans le but de comprendre et de prévoir certains phénomènes. Elle se développe grâce à l'observation et à la mise en place de modèles ayant leurs limites d'application » (Pérez, 2006 p.6). La science explique et interprète des phénomènes du

monde. Vu l'importance de la technologie dans nos vies quotidiennes, la culture et la formation scientifique sont considérées comme une contrainte pour le développement d'une société. Il est donc nécessaire de mettre un accent sur l'enseignement scientifique et de donner aux apprenants une connaissance élémentaire sur les concepts scientifiques. Cependant, on constate dans le monde un échec avéré dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences. De ce fait, le rôle des didacticiens est donc de s'interroger sur l'origine de ces échecs et les méthodes pour y remédier.

« L'enseignement de la science technologique devrait contribuer au développement de l'esprit critique de tous les élèves » (Cheikh & Tchouin, 2017, p.21). En effet, les élèves rencontrent généralement beaucoup de difficultés et se heurtent parfois aux obstacles dans la compréhension des contenus disciplinaires surtout quand il s'agit des disciplines scientifiques. La base de l'apprentissage des sciences commence depuis le primaire. Selon certains auteurs, « Un enfant sur quatre ne prend jamais la parole en classe de maternelle. Dérisoire ? Insignifiant ? C'est pourtant là que tout se joue, de manière insidieuse. Ainsi, très vite, dès la grande section de maternelle 20 à 25% d'enfants, selon les chercheurs risquent de basculer à l'échec » (Hervieu, 2019 p.290). La promotion collective doit être valorisée à l'école primaire parce que « s'il redouble à l'école primaire, il est pratiquement assuré de ne pas aller jusqu'au bac (50% des redoublants du CP sortent du système sans qualification). À l'entrée en 6^{ème}, sur les 25% d'élèves repérés comme ayant le plus de difficultés, moins de deux sur dix parviendront en seconde général ou technologie » (Hervieu, 2019, pp. 290-291). Avec ce constat, certains élèves qui arrivent dans des lycées vont trouver cette science ennuyeuse par rapport à d'autres disciplines. Ce constat a été fait par quelques chercheurs (Gunstone & White, 1981 ; Lochhead, 1988). Il ressort des études de (Lawson,1985 ; Lawson & Thompson ,1988 ; Padilla et *al.*, 1993 ; Padilla ,1991) que peu d'élèves utilisent des outils indispensables pour l'apprentissage des sciences. De nombreux apprenants se limitent à l'application des formules, à poser les opérations et effectuer les calculs. Pourtant, « l'un des objectifs de l'enseignement des sciences est d'amener les élèves à appliquer dans des contextes autres que scolaires, les connaissances scientifiques acquises à l'école » (Légendre, 1994, p.663). Malheureusement, nombreux sont les apprenants qui n'y arrivent pas. Une connaissance qui ne peut être appliquée dans un contexte extraordinaire est mal assimilée.

Leblanc (2019) montre que le manque de connaissances et d'habileté des enseignants impacte négativement sur la formation des étudiants ayant des difficultés d'apprentissage,

entraînant ainsi une attitude négative de ces derniers envers les sciences, l'absence de formation initiale en pédagogie ou aux étudiants en difficultés.

Cheikh & Thouin (2017) estiment que les difficultés que les apprenants rencontrent en sciences peuvent être analysées en fonction du triangle didactique en ce sens où, au niveau de la relation enseignant-savoir, la transposition didactique peut être approximative soit par un enseignement transmissif soit par dépersonnalisation du savoir ou par obstacles didactiques. Pour la relation enseignant-élève, on note la rupture du contrat didactique entre élève-enseignant et la relation entre élève et savoir. Zebun a mené une recherche sur les difficultés liées à l'enseignement des sciences physiques en laboratoire du point de vue de l'enseignant. Les résultats obtenus ont montré que la question des compétences de laboratoire des élèves est reconnue comme très sérieuse (Zebun, 2023). Aussi, les programmes scolaires ne favorisent pas l'enseignement des sciences en laboratoire.

Leblanc (2019) précise que l'étude menée par Gokool-Baurhool et Asghar en 2019 montre que ce qui fait obstacle à l'orientation des apprenants ayant les difficultés d'apprentissage en science est un manque de connaissances en différenciation pédagogique ou en pratiques inclusives. Comme conséquence, on note la présence des conceptions alternatives ; certains concepts désignés par des termes qui ne sont pas souvent rencontrés dans la vie quotidienne ne sont pas évidents pour les élèves. De même, un concept peut avoir plusieurs appellations comme l'a signalé Tchouin et Cheikh en 2017.

Une approche plus intégrée de l'enseignement des sciences nécessitera sans doute des changements curriculaires importants, non seulement dans les contenus, mais dans la structure même des programmes d'études. Si l'on souhaite développer la compréhension conceptuelle, c'est-à-dire la formation de réseaux de concepts et leur élargissement progressif à partir de l'intégration de nouveaux concepts, les curricula devront être repensés en relation avec des objectifs plus généraux qui leur confèrent une cohérence. (Legendre, 1994, p.670)

C'est dans cette optique que « les sciences nous font donc constamment reconstruire nos conceptions les plus profondes. Pour apprendre, nous devons les modifier » (Cossette, 1999, p.23).

Les approches utilisées pour l'enseignement des sciences en Afrique ne donnent pas toujours les résultats recherchés, en particulier le cas du Cameroun qui cherche à professionnaliser ses enseignements. Cette mauvaise méthode d'enseignement des sciences en Afrique a été confirmée par plusieurs organismes notamment l'ADIMA (2018), qui a relevé une baisse considérable du niveau dans l'enseignement scientifique en particulier. La

cause principale de cette baisse est due au fait que les concepts en sciences physiques et mathématiques sont généralement abstraits. Par conséquent, la majorité d'apprenants perçoivent ces cours comme une collection de formules inaccessibles et sans aucun lien avec la réalité vécue. L'étude de Robardet (1989) dans l'utilisation des situations problèmes pour enseigner les sciences physiques montre les limites du modèle didactique classique inductive car, selon lui, ce modèle ne considère pas le fonctionnement cognitif de l'apprenant. Certains chercheurs camerounais ont fait le même constat selon lequel le modèle d'apprentissage utilisé par les enseignants ne correspond pas aux exigences du programme d'étude en vigueur, raison pour laquelle il est souvent difficile d'atteindre un taux de 52% aux différents examens officiels (Awono & Ayina, 2021).

Adjaho et al. (2020) ont mené une étude sur l'état des lieux des travaux pratiques dans l'enseignement des sciences expérimentales au Bénin, particulièrement dans la commune de Dango auprès de 138 apprenants et 55 enseignants. Les résultats obtenus sur l'utilisation des laboratoires en SPCT et en SVT sont classés sur les tableaux ci-dessous et par niveau.

Tableau 2

Déclaration des apprenants de 6^{ème} (Adjaho et al., 2020)

Discipline	SPCT		SVT	
	Nombre	Occurrence(%)	Nombre	Occurrence(%)
PERIODICITE				
Jamais	23	63,9	29	80,6
Une fois	13	36,1	07	19,4
TOTAL	36	100	36	100

Tableau 3

Déclaration des apprenants de 3^{ème} (Adjaho & al., 2020)

Discipline	SPCT		SVT	
	Nombre	Occurrence(%)	Nombre	Occurrence(%)
PERIODICITE				
Jamais	52	83,9	55	88,7
Une fois	10	16,1	7	11,3
TOTAL	62	100	62	100

Tableau 4*Déclaration des apprenants de Terminale (Adjaho et al., 2020)*

Discipline	SPCT		SVT	
	Nombre	Occurrence(%)	Nombre	Occurrence(%)
Jamais	33	82,5	36	90
Une fois	07	17,5	04	10
TOTAL	40	100	40	100

Ces résultats montrent qu'en SPCT, 78,26% des apprenants et 84,00% des enseignants ne sont jamais entrés au laboratoire contre 86,95% des apprenants et 63,33% en SVT malgré l'existence dudit laboratoire. Le constat fait est que les travaux pratiques dans des laboratoires ne sont presque pas faits. Nous relevons que les enseignants pourraient être responsables des difficultés des apprenants liées à la pratique. Le Cameroun n'est pas épargné malgré les multiples approches qu'a connu notre système éducatif.

Lena (2015) a présenté dans son article l'enquête de PISA effectuée sur 72 pays. Un questionnaire à choix multiples soumis aux élèves ayant pour objectif de mener chez l'élève sa littéracie scientifique fondée sur l'investigation. 20% des élèves ont convenu qu'ils passent bien du temps au laboratoire pour réaliser des expériences pratiques et environ 15 % seulement déclarent qu'on leur permet de concevoir leurs propres expériences. Il préconise la DI qui revêt un impact positif pour l'enseignement des sciences. Les évaluations et les enquêtes réalisées dans les lycées en France montrent que les apprenants ont de sérieux problèmes lorsqu'on les met en situation de pratiquer véritablement une démarche scientifique (Robardet, 1989).

Les échecs et difficultés qu'éprouvent les apprenants des sciences constituent un défi à relever pour les enseignants. La connaissance scientifique peut être considérée comme un enjeu primordial pour l'avenir de nos apprenants et l'accent doit être mis sur la formation scientifique, c'est-à-dire favoriser l'acquisition des notions de base en science afin de les amener à poursuivre leur cursus scolaire dans le domaine de la science. Pour y parvenir, l'enseignant doit créer les conditions propices à l'apprentissage. Il doit, à chaque fois, revoir la relation entre enseignant et élève, renégocier un nouveau contrat et identifier les obstacles des apprenants.

4. L'enseignement de la chimie

Le monde est entouré de nombreux objets. Le questionnement de l'homme, basé sur le fonctionnement de ces objets et les phénomènes qui les entourent a contribué à l'essor de la chimie. Les égyptiens et les grecs vont porter leur regard sur la structure de la matière pour que la définition de la chimie puisse voir le jour. Ces derniers étaient les premiers à explorer le sujet tandis que les philosophes s'intéressaient à l'origine de la matière. Avec les progrès scientifiques et technologiques, on a assisté au développement de la chimie par le concours de plusieurs auteurs, entre autres Lavoisier, Priestley, Mendeleïev. Plus tard, ils vont procéder à de nombreuses découvertes et de nos jours la chimie est au cœur du rythme de vie des hommes.

La chimie est une discipline scientifique qui partage un lien en commun avec les autres disciplines à l'instar de la physique et la biologie. Selon Cormier (2014), la chimie contribue à la compréhension des autres disciplines surtout quand nous savons qu'elle est non seulement centrale parmi les disciplines scientifiques, mais fait aussi le pont entre la biologie et la physique. C'est dans le même ordre d'idée que Dehon (2018) déclare que la richesse de la chimie est cachée dans l'ombre de la physique et la biologie. La chimie épouse l'idée selon laquelle la connaissance est fondée sur la base de l'observation en ce sens ou certaines théories ou modèles sont construits sur la base de l'empirisme. Á ce titre, l'enseignement de la chimie au secondaire devrait emmener l'apprenant à décrire les modèles pour comprendre et interpréter les phénomènes dans la nature. Elle étudie les entités microscopiques qui s'unissent entre elles pour former d'autres entités à travers les liaisons dites chimiques à l'exception des gaz rares. En passant par les réactions chimiques, on peut observer la modification de leur identité.

On distingue la chimie inorganique et la chimie organique. La chimie organique étudie l'ensemble des composés constitués des atomes de carbone. La chimie inorganique, quant à elle, s'occupe des composés qui ne contiennent pas les atomes de carbone –hydrogène. De tout ce qui précède, on peut définir la chimie comme étant une science qui étudie la matière, ses caractéristiques et son état de changement. La matière est considérée comme tout objet ou toute substance possédant une masse. C'est pour cette raison que la chimie intervient dans toutes nos activités de la vie quotidienne. Á travers elle et ses multiples réactions, on aboutit à des nouveaux produits. Elle contribue à la compréhension des réactions qui se produisent dans l'organisme humain. Elle contribue à la compréhension des particules qui constituent la matière et comment ces particules se lient et se forment. Elle regorge une pléthore de

contenus, certains sont enseignés au secondaire et approfondis dans les universités, d'autres ne sont abordés que dans les universités.

4.1. La chimie comme science expérimentale

Les disciplines scientifiques sont axées sur l'expérimentation. Elles impliquent les apprenants dans la construction des idées scientifiques, la démonstration des prédictions théoriques et sont conçues par l'enseignant pour illustrer les concepts scientifiques. C'est l'acquisition du savoir pratique. Parmi ces disciplines scientifiques, la chimie est particulière en ce sens qu'elle est plus expérimentale que les autres comme le signent certains auteurs. Depuis des décennies, la chimie a été considérée comme une discipline scientifique purement expérimentale de par son origine (Ayina Bouni, 2013). Nous, enseignants soucieux du fait que ce sont les meilleurs élèves qui poursuivent souvent leurs études en chimie, avons un énorme défi à relever. Il est vrai que les activités de laboratoires nécessitent une concentration particulière et pour cela, il faut leur accorder plus d'importance. L'absence d'une activité expérimentale met en péril la compréhension de la chimie qui devient subitement une science mystérieuse.

Faire de la science ne consiste pas à se limiter à la lecture, l'audition et aux schémas mais nécessite un travail en laboratoire afin de tester les idées et de développer la compréhension (Ngonu, 2010). L'activité expérimentale rend l'apprenant actif en lieu et place d'un auditeur passif. Avec elle, nous ne pouvons pas transmettre le savoir d'un connaisseur à un autre car les élèves doivent construire leurs propres connaissances au lieu d'en recevoir. « En chimie, l'expérimentation va permettre de construire une phénoménologie observée au niveau macroscopique. Lorsque l'élève est placé face au réel, sa description phénoménologique n'est pas neutre, elle correspond déjà à une conceptualisation de ce réel » (Laugier & Dumond, 2003, p.73). Plusieurs études ont montré que l'apprentissage basé sur la pratique expérimentale améliore les performances des apprenants. Par exemple, Gyamfi (2014) a mené une étude sur la transformation de l'énergie auprès des élèves du premier cycle. Le groupe expérimental est enseigné par la méthode basée sur l'expérience et le groupe témoin par la méthode traditionnelle. Les résultats ont montré que les performances des apprenants du groupe expérimental ont significativement évolué. Nous pensons que la réalisation des activités expérimentales dans le processus enseignement apprentissage pourrait avoir un effet positif sur les performances des apprenants en science afin d'améliorer le rendement aux examens officiels. En s'appuyant sur les concepts d'atome, d'ion, de molécule, oxydoréduction, de corps purs abordés au collège, les instructions officielles recommandent

de débiter l'enseignement de ces concepts par une approche expérimentale. Cette approche permettra à l'apprenant d'avoir une vision parfaite dans l'interprétation des réactions et transformations chimiques.

Dans le contexte camerounais, la majorité des enseignements de chimie mettent la priorité sur l'enseignement théorique. Toutefois, la chimie doit être enseignée expérimentalement. L'expérimentation a pour but d'observer les phénomènes, de vérifier les hypothèses ou des théories chimiques en passant par le concret. Selon Ngonu (2010), une leçon expérimentale qui est faite théoriquement peut installer des conceptions alternatives chez les apprenants ; on peut aussi observer les risques de confusion des symboles chimiques et mathématiques lors du processus d'apprentissage. « Sans aucune approche expérimentale les sciences deviennent incompréhensibles et la confrontation des résultats avec la réalité serait difficile, voire impossible » (Ngonu, 2010, p.7). Comme nous observons dans la majorité des cas, les apprenants se limitent à l'application des formules chimiques de la résolution des exercices sans toutefois comprendre les concepts. Un enseignement de chimie sans support pour mener l'expérience est doté d'une conceptualisation dans l'abstraction. Pourtant l'activité expérimentale permet de déterminer les réponses de la pensée des objets de la nature. C'est à travers elle que les scientifiques ont pu trouver certaines réponses à des questions par le biais des modèles. Selon Ngonu (2010), aucune théorie n'est prise en compte si ses prédictions sont en accord avec des résultats trouvés expérimentalement. Pour Develay (1989), l'activité expérimentale a pour but de vérifier les hypothèses émises et passer à l'interprétation pour valider les résultats et construire les concepts. « L'objectif des travaux pratiques encadrés est de favoriser l'autonomie... Les élèves doivent également réaliser une production avec une synthèse écrite et orale. Cela doit aider ceux qui ont le plus de difficultés, grâce à un travail personnel et concret sur un sujet donné » (Maury, 2008, p.48).

4.2. Les difficultés d'apprentissage en chimie

De plus en plus, la société a besoin des techniciens aptes et qualifiés dans les domaines comme la science, des apprenants qui sont outillés sur les possibilités qu'offre la formation technologique. L'enseignement de la chimie a pour but principal de faire acquérir des idées pertinentes aux apprenants qui leur permettront d'interpréter le comportement de la matière (Schmidt, 2020). Il est alors étonnant que, comme l'écrivent (Larochelle & Désautels, 1992 cité par Badara , 2001), les élèves, lorsque la filière scolaire le leur permet, évitent soigneusement les sections scientifiques. Alors que les sciences expérimentales, plus précisément la chimie, jouent un rôle précis dans le développement croissant des sociétés,

dans l'amélioration du niveau de vie des êtres humains ; bref, dans plusieurs domaines de la vie à l'instar du domaine de la nutrition, la maîtrise parfaite des aspects qualitatifs et quantitatifs d'une réaction chimique est indispensable.

Il faut réaliser qu'un nombre important de professions (industrie pharmaceutique, chimiste, pharmacien, astronaute, laborantin ...) nécessitent la maîtrise d'un certain nombre de savoirs sur les quantités de matière et leur réseau conceptuel. Ainsi, l'acquisition du savoir chimique permet à l'élève de s'intégrer directement dans la vie quotidienne. Malheureusement, cette acquisition n'est pas souvent très évidente.

Plusieurs travaux en Didactique ont montré que les élèves éprouvent d'énormes difficultés en chimie (Bélangier, 2008 ; Gandillet & Le-Marechal, 2003 ; Sauriol, 2016). Ces difficultés sont parfois dues au mode de transposition utilisé pour sa transposition qui est, pour la plupart du temps, centré sur le transfert des connaissances. C'est ce qui justifie le fait que les étudiants qui poursuivent leur cursus scolaire dans le domaine de la chimie au niveau supérieur manifestent un manque de connaissance sur certains concepts et présentent des mauvais résultats, bien que ces concepts soient couverts dans le programme d'étude du secondaire (Stephen *et al.*, 2014).

Certains chercheurs ont testé les connaissances des apprenants sur la notion de conservation de la matière au cours d'une réaction chimique ; les résultats montrent que cette notion n'est pas très comprise du fait de l'existence de " fausses " conceptions chez les élèves (Badara, 2001 ; Tiberghien, 1988 ; Rhoneck, 1984). Ce point de vue est partagé par plusieurs auteurs. De moins en moins d'apprenants sont aptes à appliquer la loi de Lavoisier dans l'écriture d'une équation de réaction. Des travaux menés par d'autres chercheurs montrent que pour certains élèves, la réaction chimique est un processus d'addition et d'attachement des réactifs plutôt qu'une interaction au cours de laquelle, les liaisons chimiques se brisent et se reforment (Anderson, 1990 ; Ben-Zvi *et al.*, 1987). Ainsi, l'équation de réaction qui joue le rôle de modélisation du processus serait mal assimilée par les apprenants. Les résultats de ces travaux montrent également que les apprenants éprouvent des difficultés lorsqu'ils doivent expliquer les divers changements subis par les réactifs au cours de la transformation chimique. « La discussion autour de l'expérience et de son interprétation a très vite révélé la non maîtrise par les élèves des concepts de base en chimie. La confusion corps pur simple/élément et corps pur composé/mélange oblige l'enseignant à modifier son projet initial » (Laugier & Dumond, 2003, p.91). Ils estiment qu'une démarche constructive basée

sur la résolution de problèmes devrait aider les élèves à pouvoir surmonter ces obstacles afin de construire une connaissance scientifique.

De même, Dehon et Snauwaert (2015) ont montré les diverses conceptions que se font par les apprenants en ce qui concerne les notions de coefficient stœchiométrie et l'indice. À cet effet, nous comprenons que pour prendre en compte ces conceptions, il est nécessaire de les connaître afin de les intégrer dans un cheminement didactique.

Un test a été mené par Mulford et Robinson (2002) sur 1500 étudiants. Les résultats montrent que les concepts en chimie ne sont pas maîtrisés. Comme conceptions erronées identifiées, bon nombre d'apprenants pensent que l'eau bout en se transformant en oxygène et en hydrogène gazeux. Dans les formules chimiques, les symboles sont considérés comme une simple abréviation du nom de l'élément (Al-Kunifed, Good, & Wandersee, 1993). La formule de la molécule d'eau présentée sous plusieurs formes H_2O , OH_2 et HOH est considérée comme non identique (Canac, 2017). Une réaction chimique est représentée par une équation bilan mais on assiste souvent à la confusion avec l'équation mathématique (Barlet & Plouin, 1994). De même, les élèves ont des difficultés à mobiliser les connaissances dans le domaine microscopique pour les traduire sous forme d'une équation chimique afin d'expliquer ce qui se passe dans une transformation chimique (Ahmed *et al.*, 2019). L'utilisation des formules brutes dans ces équations n'est pas comprise par les apprenants. Canac (2017) a mené une recherche auprès de 603 élèves et étudiants à travers un questionnaire où il est demandé aux élèves d'attribuer aux noms ou aux formules des critères macroscopiques (corps purs, mélange) ou microscopiques (molécule, atome). Les résultats montrent que moins d'élèves attribuent simultanément un critère macroscopique et un critère microscopique aux formules chimiques. « Cette vision microscopique du nom ou de la formule chimique augmente avec le nombre d'années d'étude en chimie pour arriver à plus de 60 % en terminale scientifique » (Canac & Kermen, 2016 cité par Canac, 2020, p.4).

Cormier (2013) a mené une étude à travers vingt questions constituées « des questions à choix multiples et à deux paliers où le premier palier évaluait les connaissances des élèves pour le deuxième palier, il est question d'expliquer le choix du premier palier ». L'objectif est d'identifier les conceptions erronées en chimie auprès de 2413 étudiants notamment sur les notions de molécules, polarité et phénomène. Les résultats ont montré que même pour les apprenants qui font le bon choix au premier palier, la justification de plusieurs pointent vers les conceptions erronées. Parmi ces conceptions, les étudiants estiment que « lorsque les

molécules passent en phase gazeuse, elles se brisent. Il y a dissociation des molécules d'eau, pour former des molécules de H₂ et de O₂. 61,6 % des apprenants justifient que les liaisons covalentes se brisent. L'étude estime que cette conception très répandue peut influencer la compréhension d'autres concepts. « La solubilisation de composés moléculaires, de dissociation ionique de sels et d'ionisation de composés moléculaires dans l'eau sont des processus souvent confondus par les étudiants » (Cormier, 2013, p.5).

Plusieurs étudiants pensent que les liaisons covalentes lient les bases complémentaires dans l'ADN et, par conséquent, les liaisons covalentes sont confondues avec les liaisons hydrogènes. Les étudiants croient que le seul fait qu'une molécule possède les liaisons polaires rend forcément cette dernière polaire. Johnson (1998) à travers quatre modèles mentaux basés sur la nature corpusculaire de la matière auprès des apprenants de 11 à 14 ans a montré qu'au niveau du modèle X les apprenants réalisent que la matière est continue. « Le traitement quantitatif d'une transformation chimique présente certaines difficultés à comprendre la signification des coefficients stœchiométriques, la notion de réactif limitant et son identification, la quantité de matière (mole) et ses grandeurs associées (masse et volume molaires), le traitement mathématique en lien avec les stratégies de résolution appropriées » (Benzidia et al., 2021, p.251). On note également les confusions liées aux langages en chimie comme la confusion entre élément, corps pur et mélange (Potvin, 2019).

Dumon et Laugier (2004), ont soumis un article intitulé « l'équation de réaction : un nœud d'obstacles difficilement franchissable » dans l'objectif de mieux faire comprendre le concept de réaction chimique aux élèves de la classe de seconde. Ils ont soumis un questionnaire à 112 apprenants et un entretien avec une dizaine d'élèves. Au terme de ces travaux, il ressort que pour les élèves, il n'y a pas conservation des molécules mais il y a conservation de la nature des atomes. Concernant la conservation du nombre des atomes, les opinions sont partagées : 54% des élèves sont contre et 46% des élèves sont pour (Dumon & Laugier, 2004). Sur les dix élèves interrogés lors des entretiens, la moitié pense que l'équation d'une réaction chimique représente une transformation chimique. Mais, aucun d'eux ne sait la lire correctement dans les domaines de savoir en chimie à l'instar des registres macroscopique et microscopique. Les élèves réalisent qu'une équation doit être écrite mais ont de la peine à s'en servir pour représenter une réaction chimique. On relève aussi que les apprenants font la confusion entre les indices et les coefficients dans les formules, comme explique le commentaire d'un élève : « Les équations de réaction, c'est trop abstrait. Pour moi, ça ne représente rien de voir des chiffres, des lettres qui bougent selon un élève ». Face à ces

nombreuses conceptions des apprenants, les auteurs estiment que tous les obstacles doivent être provoqués par une situation de vie pendant la séquence d'enseignement. Les enseignants doivent également donner du sens à l'épistémologie des concepts pendant leur séquence d'enseignement.

Dehon et Snauwaert (2011) ont mené une étude sur une centaine d'élèves de cinquième année du secondaire de deux écoles appartenant à deux réseaux différents d'enseignement en Belgique. Ils ont utilisé le questionnaire comme outil de collecte des données. Il est question d'étudier le symbole chimique utilisé pour interpréter une équation de réaction chimique (en prenant comme exemple l'équation de combustion du sodium) : nous avons $4\text{Na}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{O}_{(s)}$. D'après leurs résultats, « 20 % du total des élèves (33 % des élèves d'option scientifique) répondent que le coefficient stœchiométrique indique le nombre de moles du composé contre 85 % des élèves d'option non-scientifiques ». De même 45 % des apprenants d'option scientifique considèrent ce concept comme le nombre d'atomes ou le nombre de molécules (Dehon & Snauwaert, 2011). Enfin, 10 % estiment que le coefficient stœchiométrique est un « chiffre pour pondérer l'équation ». Le coefficient stœchiométrique qui n'est pas bien assimilé par la majorité des apprenants est un obstacle quand il faut équilibrer une équation.

5. Enseignement de la chimie au Cameroun

Dans le programme camerounais, la mole apparaît une seule fois en 3^{ème}. Comment l'apprenant pourrait-il l'appliquer aisément au niveau supérieur après une seule année d'étude ? Ceci peut être l'une des causes du désintéressement de certains pour la chimie. Ceux qui s'y intéressent ne se donnent pas les moyens requis pour accéder à la connaissance par manque de manuel scolaire. Ce phénomène est plus accentué dans les campagnes. Aussi, le cadre réservé par les établissements n'est pas conforme à l'enseignement et l'apprentissage de la chimie. Avec le manque de laboratoire, l'enseignement des sciences physiques fait face à plusieurs problèmes tels que l'absence de la pratique expérimentale, la méconnaissance du rôle fondamental de certains concepts et l'absence du support didactique dans la plupart des cours lors de l'enseignement des concepts abstraits. Ceci fait souvent paraître la chimie comme une discipline ennuyeuse pour les apprenants. Cela porte à croire que, l'enseignement de la chimie est uniquement basé sur l'accumulation des connaissances, dans le but de comprendre certains phénomènes. Pourtant, la valeur que recherche une société moderne se mesure à la faculté que les élèves ont à pouvoir transformer la connaissance théorique en connaissance pratique. On aurait souhaité qu'après un thème qui regroupe plusieurs leçons,

l'apprenant soit capable de mobiliser les ressources pour acquérir une compétence transversale, c'est-à-dire en lien avec les autres matières de la formation (Sciences de la Vie et de la Terre, Physique, Technologie, Informatique...) et capable d'appliquer dans d'autres contextes. Cette compétence devra lui permettre de résoudre les problèmes réels issus, pour la plus grande partie, de la vie active. « La chimie est l'une des disciplines scolaires enseignées dont les objectifs portent sur l'initiation des élèves à une pratique expérimentale de façon progressive grâce à l'étude des situations concrètes au cours de laquelle ils devront prendre une attitude active » (Ngono, 2010, p.4).

On peut observer l'existence du laboratoire dans certains établissements malgré le fait qu'ils ne sont pas souvent équipés comme l'a signalé Ngono « Ceci montre l'importance des locaux aménagés pour les séances d'expérimentation que sont les laboratoires. Cependant, les ressources financières requises pour l'aménagement, l'exploitation et la maintenance des laboratoires sont loin de la portée de la majorité des établissements secondaires au Cameroun » (Ngono, 2010, p. 5). C'est pour cette raison que les objectifs sont partiellement atteints, puis l'expérimentation se réalise sous forme de schéma en salle de classe. Après ledit schéma, suit une description théorique de l'expérience. Les schémas et la description sont limités pour la compréhension d'un concept abstrait et un phénomène expérimental qui nécessite la pratique : « Une expérience est généralement quelque chose de dynamique, c'est-à-dire qui évolue dans le temps. Les remplacer par des schémas commentés ne permet pas aux enfants de se représenter toute la vivacité d'une expérience » (Ngono, 2010, p. 10).

La conséquence est observée au niveau des cours qui sont purement théoriques causant un handicap chez les apprenants sur la possibilité de se familiariser avec le domaine microscopique. C'est à dire le réel caché. On observe aussi les mauvais résultats aux examens officiels dans les séries scientifiques. Une autre conséquence est le redoublement observé dans ces séries notamment le niveau 3^{ème}, 1^{ère} et T^{le}. Le gouvernement, conscient de cela, a instauré deux types d'épreuves aux examens officiels pour les niveaux 1^{ère} et T^{le} scientifiques : la chimie théorique et la chimie pratique. Pour ce deuxième type, Il s'agit de proposer aux élèves des exercices à caractère expérimental. En faisant un rapprochement entre les deux types d'épreuves, on constate qu'elles sont purement théoriques étant donné que le deuxième type considéré comme pratique ne donne pas la possibilité d'une quelconque manipulation à l'apprenant, ni à la confrontation d'une réalité cachée. Ce manquement amène les parents à orienter les enfants vers les séries littéraires. C'est ainsi que dans ces filières

littéraires, les effectifs sont toujours pléthoriques par rapport aux filières scientifiques puisque le dégoût des sciences est déjà installé, surtout en science physique.

Vu le rôle primordial de la chimie dans notre société, il est capital que nos apprenants prennent acte de l'utilité des sciences physiques, notamment de la chimie dans la vie active. Mais on note plutôt une démotivation des apprenants face à l'apprentissage des sciences et en particulier les sciences physiques. Cette démotivation aboutit le plus souvent à l'abandon de l'école à la fin du premier cycle du secondaire comme le constate Mbock (2014) : « Le taux d'élèves quittant l'école sans qualification est élevé. De nos jours, environ 25 % des élèves de la classe de sixième du secondaire arrivent en classe de terminale » (par. 2). Pour lui, il est question de récupérer les 75 % d'apprenants qui abandonnent l'école précocement afin qu'ils ne soient plus une lourde charge pour la société moderne. De ce fait, le marché de l'emploi étant de plus en plus exigeant sur la qualité de la main d'œuvre, il est nécessaire de faire acquérir aux jeunes apprenants les capacités indispensables pour une meilleure insertion dans la société, ce qui aura comme effet la réduction du taux de chômage actuel.

L'autre problème réside au niveau du fait que les enseignants de chimie du sous-système francophone au Cameroun abordent le concept de mole sans prendre en compte les difficultés des élèves. Cette forme d'enseignement conduit à la mémorisation intégrale des formules chimiques. Les chercheurs en didactique de la chimie ont accordé, ces dernières années, beaucoup d'intérêts aux conceptions des apprenants sur le concept de mole. Ces études visent à une prise en considération du rôle que joue la didactique de la chimie et interpellent les enseignants à faire recours sur les conceptions des apprenants lors de l'enseignement du concept de mole. C'est la raison pour laquelle nous proposons un apport didactique dans l'amélioration des performances des élèves camerounais dans le cadre de cette recherche dans le respect des trois domaines d'apprentissage en chimie.

6. Les trois domaines du savoir en chimie

En chimie il existe en général trois domaines de savoir proposés par Johnston en 1982. Il a été parmi les premiers à porter son regard sur les difficultés d'enseignement apprentissage de la chimie liées au registre macroscopique, microscopique et symbolique. Ces trois registres occupent les trois sommets du triangle appelé triangle de Johnston qui a subi une évolution. Plusieurs chercheurs ont estimé que le registre macroscopique ne se limite pas uniquement au domaine expérimental mais aussi au domaine de modélisation (Dehon & Snawaert, 2015). Les deux auteurs prennent l'exemple des concepts explicatifs comme le concept d'élément

qui peut être modélisé au niveau microscopique. Ces trois niveaux ont servi d'outils efficaces pour identifier les conceptions des apprenants en chimie dans le but de faciliter son enseignement (Gilbert & Treagust, 2009). « Ce n'est, en effet, qu'après avoir maîtrisé ces trois domaines et leur interrelation qu'un étudiant pourra aspirer à utiliser correctement les modèles de la chimie pour prédire et expliquer les réactions chimiques » (Cornier, 2013, p.7). Certains auteurs parlent de relation de triplet (Nicoll, 2001 ; Treagust & *al.*, 2003 ; Talanquer, 2011).

Les recherches montrent que la chimie est le plus souvent enseignée par la majorité des enseignants à travers le registre macroscopique et le registre symbolique. Pour comprendre les phénomènes chimiques, il est indispensable de prendre en compte les trois niveaux et d'établir le lien entre eux. Ces trois niveaux fonctionnent comme une chaîne alimentaire, quand un maillon est absent, il y a déséquilibre. Pour ce cas précis, l'ignorance d'un niveau (niveau microscopique) peut être à l'origine des difficultés d'apprentissage de certains concepts abstraits en chimie.

6.1. Le domaine macroscopique.

C'est le tout premier niveau quand nous parlons de la connaissance chimique. Il constitue le monde perceptible des phénomènes vus à l'œil nu. À ce niveau, les apprenants ont des difficultés à faire une différence entre une transformation chimique et une transformation physique d'une part et d'autre part à percevoir la conservation de la masse au cours d'une transformation chimique (Benzidia et *al.*, 2021). Les enseignants ne tiennent pas souvent compte du fait que l'apprentissage du langage chimique est un problème crucial pour les apprenants (Canac & Kamen, 2016). Pourtant, même la mauvaise utilisation du langage peut contribuer à la non distinction du domaine microscopique et du domaine macroscopique. À cet effet, cette utilisation doit être prudente (Gilbert & Treagust, 2009). Les apprenants n'arrivent pas souvent à donner la signification des formules chimiques dans le registre macroscopique et dans le registre microscopique. Cette incapacité conduit à la mauvaise lecture ou une mauvaise appréciation d'une équation de réaction.

6.2. Le domaine microscopique

C'est un niveau très complexe car il est accessible uniquement par imagination. Il conceptualise les entités élémentaires (atomes, ions, molécules, charges ...). On assiste à la conservation des atomes au cours d'une transformation chimique. La difficulté est qu'on ne perçoit pas la rupture des liaisons, ni le réarrangement des atomes, ni la formation des

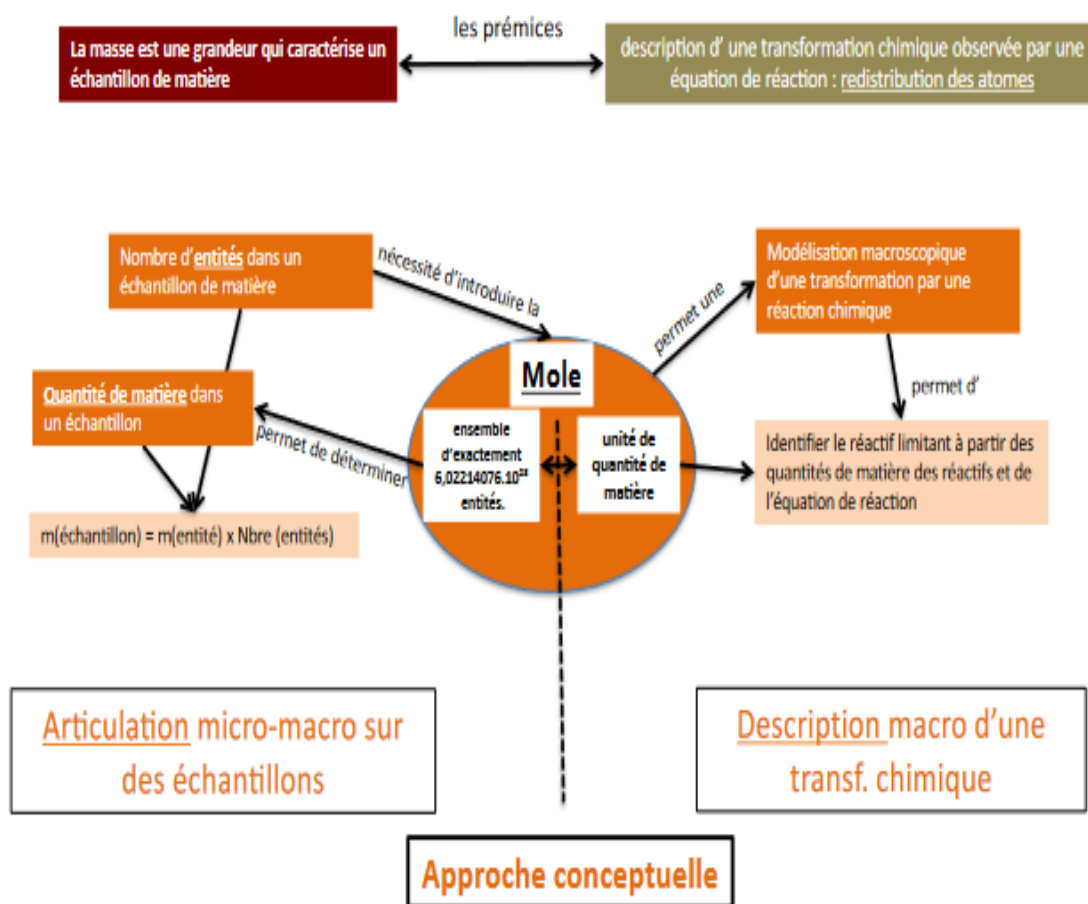
nouveaux produits. Á cet effet, une précision dans le langage est importante pour rendre efficace la communication entre l'apprenant et l'enseignant. Le manque de cette précision peut développer les conceptions auprès des élèves. Selon Johnston, ce niveau est inscrit dans le domaine de la modélisation (Dehon & Snauwaert, 2015) ; c'est le niveau central en chimie car il implique la transformation chimique qu'on explique, la nature particulière de la matière. Mais il semble que la chimie est enseignée au collège sans impliquer le niveau microscopique pour expliquer la nature des composés (Cormier, 2015).

Rappelons que ce triangle place au sommet les trois domaines d'apprentissage et il est nécessaire d'établir le lien entre eux dans l'enseignement des concepts abstraits (Gilbert & Treagust, 2009). La prise en compte de ce lien n'est pas souvent observée dans nos enseignements. L'enseignant fait plutôt le lien entre le registre macroscopique et le registre symbolique pourtant l'obstacle se situe au niveau du lien entre le microscopique et le macroscopique. Cormier en 2014 a montré que les entités qui relèvent du niveau microscopique comme les molécules sont mal représentées au niveau symbolique. La difficulté manifestée dans un domaine d'apprentissage impacte la compréhension de l'autre. C'est la raison pour laquelle les apprenants décrivent la matière telle qu'ils la voient, c'est-à-dire de façon continue puisque le domaine microscopique n'est pas visible (Cormier, 2014).

La figure suivante présente la prise en compte du domaine macroscopique et microscopique pour l'enseignement du concept de mole.

Figure 2

Enseignement de la mole dans le monde macroscopique et microscopique (Ducamp & al., 2022)



La mole quantifie la matière dans un échantillon. Elle permet, à cet effet, de mobiliser une transformation chimique par une réaction chimique au niveau macroscopique. Quand l'un des réactifs est totalement consommé, la réaction s'arrête. Ce réactif prend le nom de réactif limitant. Le défi majeur à relever dans l'enseignement apprentissage de la chimie est de chercher une stratégie qui vise à établir le passage de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique dans le processus de construction d'un concept.

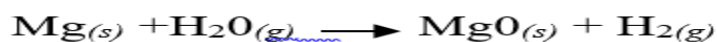
6.3. Le domaine symbolique

C'est un domaine qui implique tous les signes qui facilitent la communication chimique. Un élève peut observer ces signes sans faire lien avec la chimie, vu que nous sommes totalement hors du cadre de la chimie ; c'est la naissance des obstacles. Plusieurs recherches ont montré que les difficultés que rencontrent les apprenants résident dans l'utilisation et l'interprétation des symboles chimiques (Canac, 2020). Selon Teber (2013), le

registre symbolique est un langage familial des chimistes qui facilite le passage du niveau macroscopique vers le niveau microscopique.

Le registre symbolique est le résultat final de ce qui se passe au registre macroscopique et microscopique. En d'autres termes, l'écriture d'une équation de réaction chimique est le résultat d'un mélange de deux corps de couleurs différentes et la réaction entre eux. Ce domaine illustre alors les formules brutes des espèces chimiques et représente le symbole de ce qui se déroule dans une réaction chimique sous forme d'une équation. Ces symboles sont souvent mal assimilés par les apprenants. Le carbone de symbole C est également la troisième lettre de l'alphabet que l'élève connaît depuis la maternelle. Quand il arrive au collège, il apprend que cette lettre « C » représente aussi le symbole de carbone en chimie, l'hydrogène est représenté par la lettre « H », L'oxygène par la lettre « O ». Plus grave encore, on ne voit ni l'oxygène ni le carbone à l'œil nu. Dans une équation de réaction chimique, le signe + n'a pas la même signification qu'en mathématiques. Le chiffre 2 en chimie, par exemple, porte le nom de coefficient stœchiométrique pour établir la conservation de la matière dans une équation, quand il est placé devant un composé ; il porte le nom d'indice dans le cas contraire (les composés « 2SiO_2 » et « SiO_4 »). À ce niveau les élèves font la confusion entre l'indice et le coefficient stœchiométrique comme nous avons signalé plus haut. De même, considérons la réaction de neutralisation de $\text{H}_2\text{SO}_{4(aq)} + 2 \text{NaOH}_{(aq)} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_{4(aq)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$. Cette équation montre qu'une mole de H_2SO_4 réagit avec 2 moles de NaOH pour former une mole de Na_2SO_4 et 2 moles d'eau (Aborah, 2019).

En nous inspirant sur les travaux de Marais et Jordan (2000) portant sur l'analyse des symboles utilisés dans la synthèse de l'ammoniac, nous allons exploiter quelques points pour analyser les symboles chimiques utilisés dans l'interprétation d'une réaction chimique. L'exemple de cette équation présente la réaction du magnésium qui brûle dans la vapeur d'eau pour former de l'oxyde de magnésium et le dihydrogène.



Les apprenants doivent :

1. Identifier les symboles des éléments magnésium et hydrogène et le composé oxyde de magnésium ;
2. Pouvoir interpréter MgO comme l'atome de magnésium et l'oxygène qui se combine pour former l'oxyde de magnésium et non comme une association de deux atomes ;

3. Savoir que les chiffres qui ne sont pas placés devant les atomes et molécules comme on observe dans certaines équations voudraient tout simplement dire que les coefficients stœchiométriques sont égaux à 1 et qu'une mole de Mg a réagi avec une mole de H₂O pour former une mole de MgO et une mole de dihydrogène ;
4. Le « + » placé avant la flèche signifie « réagit avec » et non « s'additionne à » qui est une signification mathématique ;
5. Le « + » placé après la flèche signifie « et » et non « s'ajoute à » ;
6. Interpréter la flèche comme « pour former » et non comme « équivaut » ;
7. Identifier Mg et H₂O comme réactifs, MgO et H₂ comme produits de la réaction ;
8. Réaliser que les réactifs sont dans un système d'équilibre hétérogène ou le magnésium constitue la phase gazeuse ;

De même, la réaction entre la solution de chlorure de sodium (NaCl) et le nitrate d'argent (AgNO₃) forment les produits tels que le nitrate de sodium et le chlorure d'argent suivant l'équation :



9. L'élève doit savoir que dans l'écriture des deux équations plus haut, les symboles d'état utilisés sont placés entre parenthèse à la droite et en indice de chaque formule. Ces symboles nous renseignent sur l'état physique d'un corps. Notons que la taille de la police est réduite par rapport à la taille de la police utilisée pour écrire l'équation.

Tableau 5

Symbole de l'état des composés en chimie ([https:// pure.unamur.be](https://pure.unamur.be))

Symbole de l'état en chimie	Signification
(s)	Le composé est solide
(l)	Le composé est liquide
(g)	Le composé est gazeux
(aq)	Le composé est soluble dans le solvant

Dans le même ordre d'idée, les élèves ne maîtrisent pas comment interpréter les noms chimiques et les formules brutes sur les critères macroscopiques et microscopiques et

l'utilisation des formules brutes pour l'écriture des équations de réactions (Conac & Kermen, 2016).

L'enseignant a le devoir de mettre à la disposition des élèves un apprentissage digeste tout en faisant un rapprochement entre les concepts et le langage symbolique en lien avec les autres domaines. « Que l'on considère le niveau symbolique comme un niveau de savoir ou un méta niveau, nous pensons qu'un apprentissage de la chimie sans un enseignement de son langage en lien avec les niveaux empirique, macroscopique et microscopique peut mettre les élèves en difficultés » (Canac & Kermen, 2016, p.2).

7. Le concept de mole dans les manuels scolaires

Le programme est un véritable mode d'emploi du manuel destiné aux professeurs. Il explicite les choix des didactiques des auteurs et les modalités d'utilisation du manuel. Il propose d'autres questionnements et des exploitations diversifiées et permet ainsi à l'enseignant de se positionner et d'adapter ses stratégies didactiques et pédagogiques aux spécificités de sa classe. (Hervieu, 2019, pp.144-149)

Dans un rapport faisant allusion aux réglementations et recommandations officielles liées à l'enseignement des sciences dans les établissements primaires et secondaires en Europe (Eurydice, 2006, p.7), il est écrit que « la manière dont les sciences sont enseignées dans les écoles dépend de nombreux facteurs : ...contenu des programmes scolaires, contenu des tests ou des examens standardisés. Ils influencent, directement ou non, les contenus, les approches et les activités scientifiques organisées en classe ». Pour ce qui est du concept de mole, de nombreuses recherches montrent qu'il est structuré dans les manuels en fonction du ministère en charge de l'éducation de chaque pays (Carmen & Giunta, 2010). Dans ces manuels, les définitions proposées sont parfois différentes des définitions officielles adoptées par le S.I. L'étude historique du concept de mole nous apprend que la définition a évolué avant et après son introduction par le S.I en 1971.

Furio et Guisasola (2000) ont fait une recherche sur « les difficultés à enseigner le concept de mole et le concept de la quantité de matière ». Les études 4 et 5 étaient basées sur la présence ou non de l'évolution historique des concepts dans les manuels scolaires tandis que l'étude 6 s'intéressait à l'existence des idées fausses dans les manuels scolaires. Leurs résultats ont montré que la quantité de matière n'est pas introduite de manière explicite dans les manuels. Les exercices et les activités ne sont pas proposés sur le concept mais on trouve plutôt les activités ou la question fréquente suivante est posée : « calculer le nombre de mole

de... ». Pour ces auteurs, c'est une expression inappropriée. En plus, la mole n'est pas explicitement identifiée avec la quantité de matière. Dans ces manuels, on note également une absence des commentaires historiques de la mole. L'étude de Furio et *al.* (2000) montre que tous les enseignants interrogés ont manifesté une méconnaissance quant à l'origine historique du concept de mole.

Gilbert et *al.* (2015) ont défini la mole comme « une quantité de matière (atomes, ions, ou molécules) contenant le numéro d'Avogadro ($N_A=6,022 \cdot 10^{23}$) de particules ». Pour Carmen et Giunta (2010), ils pensent que certains manuels ne s'adaptent pas aux modifications dans les définitions officielles du S.I ; dans d'autres on voit les termes nombres d'Avogadro, constantes d'Avogadro, numéro d'Avogadro, quantité de chimie, quantité de matière, quantité de substance. 400 travaux qui ont été publiés dans des revues ACS depuis l'année 2000, dans ces articles on trouve l'expression « quantité de substance » employée dans plusieurs manuels. Dans 4380 articles environ, on trouve aussi l'utilisation du terme « nombre de moles ». Ceci est dû au fait que le terme adopté officiellement ne fait pas l'unanimité des chimistes. À cet effet, chaque pays adopte sa définition et ses termes à sa convenance. Le concept est introduit à tort dans la majorité des textes de chimie lui attribuant la signification de masse (Furio, 2002). Il faut noter que cette conception est souvent transposée par les enseignants aux apprenants. Nous signalons aussi que dans certains manuels et publications la mole était identifiée au nombre d'entités élémentaires (Furio, 2002). Il est indispensable que les définitions du concept de mole produites par les apprenants soient cohérentes avec la définition officielle adoptée par le S.I. « la mole est une unité qui mérite un meilleur nom que « nombre de moles » (Carmen & Giunta, 2000, p. 59).

En abordant la définition officielle dans l'enseignement secondaire au Québec, on limite les élèves dans leurs capacités à effectuer des calculs sans avoir nécessairement besoin d'un algorithme » (Belanger & Verreault, 2000, p.2). Avec toutes ces différentes approches, il n'est pas surprenant que les notions comme la masse molaire, la concentration molaire, le volume molaire, la stœchiométrie qui sont liés à la mole ne soient pas maîtrisés par les élèves.

Les écrits antérieurs montrent que le concept de mole est mal conceptualisé par une majorité d'enseignants et mal défini dans la plupart des manuels scolaires (Furio & *al.*, 2000). La conséquence est observée au niveau de la mauvaise compréhension chez les apprenants. Ceci nous laisse souvent croire que les conceptions alternatives des apprenants sont le reflet des pléthores des définitions qu'on retrouve dans les manuels, la littérature montre également

que les conceptions des enseignants au sujet de la mole sont classées en quatre catégories parmi lesquelles l'utilisation de trois définitions qui sont incompatibles avec celle adoptée par le SI. Qu'en est-il de la structure de la mole dans les manuels scolaires camerounais ?

7.1. Le concept de mole dans les manuels scolaires camerounais

Avant l'année 2014, le seul manuel scolaire qui était en vigueur dans le territoire Camerounais était les classiques camerounais en sciences physiques et technologiques. Dans ce manuel, le programme était divisé en trois parties : la première partie réservée à la chimie comportant 4 chapitres, la deuxième partie à la physique constituée de sept chapitres et la troisième partie consacrée à la technologie ayant six chapitres.

Le premier chapitre sur la partie chimie était intitulé « De quoi est constituée la matière ? » Dans ce chapitre, les concepts étaient structurés ainsi qu'il suit :

- 1- Les atomes, les molécules et les ions ;
- 2- La classification des éléments ;
- 3- La mole ;
- 3-1- La masse molaire ;
- 3-2- La relation entre la quantité de matière et la masse molaire.

On se rend compte que le concept de mole ici n'était pas considéré comme un concept fondamental puisqu'il est présenté sur un seul paragraphe ne comportant aucune activité d'apprentissage. Dans ce manuel, le concept est défini comme « La quantité de matière d'un système qui possède autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone 12. » (Classique Africaine, 2002, p.8). Le nombre d'entités élémentaires dans une mole étant $N_A=6.02.10^{23}$.

Depuis l'année 2014, avec le renouvellement des programmes scolaires, on a assisté à une pléthore des manuels scolaires par discipline. En sciences physiques et technologiques les plus utilisés étaient les majors, la collection Dewatek, l'AFREDIT, L'excellence. Dans ces différents manuels, les contenus étaient aussi structurés différemment, ce qui pouvait influencer la transposition didactique des contenus disciplinaires. Pour mettre fin à cette multiplicité des manuels de l'élève, Le Premier Ministre Chef du Gouvernement a signé la ⁶circulaire N°002/CAB/PM du 23 Novembre 2017 portant sur les principes régissant la filière

du livre, au manuel scolaire et autres matériels didactique. « ...Toute discipline inscrite au programme officiel doit être dispensée sur toute l'étendue du territoire national au moyen d'un seul manuel scolaire pour chaque matière... ». Cette décision concerne tous les deux systèmes éducatifs camerounais. Après cette note, l'unique manuel adopté par le ministère des Enseignements Secondaires en sciences physiques pour le niveau 3^{ème} depuis l'année 2017 est la collection Dewatek. Ce livre est subdivisé en quatre modules suivant le tableau ci-dessous :

Tableau 6

Présentation des modules (programme 4^{ème}, 3^{ème}, 2014, p.40).

CLASSES	MODULES		
	N°	Intitulé	DURÉE
3 ^{ème}	1	<i>La matière : ses propriétés et ses transformations</i>	<i>19 heures</i>
	2	<i>Actions mécaniques et énergie électrique</i>	<i>22 heures</i>
	3	<i>Chimie et protection de l'environnement</i>	<i>13 heures</i>
	4	<i>Projets et éléments d'ingénierie</i>	<i>21 heures</i>

Le concept de mole intervient dans le module 1 sur La matière : ses propriétés et ses transformations. La mole constitue la troisième leçon après l'atome et la classification des éléments du tableau périodique. Dans ce manuel on note l'absence d'une étude épistémologique des concepts en général et particulièrement celui de mole nonobstant la présence des activités d'apprentissage.

Dans le guide de l'enseignant (programme officiel, 2004 de l'enseignement secondaire général au Cameroun) du niveau troisième de l'enseignement général, le concept de la mole est structuré comme suit :

Tableau 7

Structure du concept de mole (Extrait du guide de l'enseignant, 2014)

Agir compétant		Ressources	
Exemple d'action	Savoir	Savoir faire	Autre ressources

Intégrer l'unité de décompte de la matière	3- La mole 3-1 Définition mole, masse moléculaire, quantité de matière, constante d'Avogadro.	– Calculer la masse molaire moléculaire d'un composé. – Déterminer la quantité de matière – Distinguer la mole et son symbole	– Balance – Masse marquée – Echantillons de corps purs.
--	--	---	---

Fort de ce constat, le programme de l'enseignement secondaire général camerounais accorde une partie théorique et une partie expérimentale pour la transposition du concept de mole. Mais sur le terrain, le seul matériel didactique principal des enseignants est le manuel scolaire. Il est vrai que, le manuel est :

Un outil représentant le « savoir » par excellence, le manuel joue un rôle privilégié dans la préparation des cours, ainsi que les matériels pédagogiques qui lui sont associés (livre du maître, outils de travaux pratiques, outils multimédias, etc.). Ils représentent la base de la bibliothèque du professeur. Il est recommandé de consulter plusieurs manuels surtout au début de l'année, pour avoir une vision large et comparée des offres pédagogiques proposées, même si l'établissement a déjà choisi tel ou tel manuel.(Hervieu, 2019, p.143)

Notons aussi,

qu'une bibliothèque individuelle est un outil nécessaire pour un enseignant. « En veillant à avoir toujours à porter de main les ouvrages usuels de tout professeur (un dictionnaire orthographique, un dictionnaire des noms propres, un dictionnaire des synonymes, un guide des sites internet, et si possible une encyclopédie), ainsi que les livres de base de sa discipline (manuels scolaires, ouvrages universitaires de référence, programmes officiels, un guide pédagogique, un livre de didactique de la discipline. (Hervieu, 2019, p.150)

Tous ces outils constituent la mallette pédagogique de l'enseignant. Un enseignant qui se sert uniquement du manuel inscrit au programme possède des connaissances statiques puisque certains manuels présentent souvent beaucoup de limites comme nous l'avons signalé plus haut. Pour pallier à ces limites, l'enseignant doit étendre sa documentation pour avoir un champ large sur les contenus disciplinaires. Dans plusieurs établissements au Cameroun, il existe une bibliothèque ; malheureusement les livres qui s'y trouvent proviennent le plus souvent des dons européens qui en majorité n'ont aucun lien avec les contenus scolaires. Certaines bibliothèques qui regorgent de quelques documents en lien avec les contenus ne

sont pas fréquenté par les enseignants puisque le seul support pour la préparation du cours demeure le manuel scolaire.

Ce guide nous a amené à déceler des difficultés dans l'enseignement de la mole. Nous constatons qu'au niveau des ressources (savoir-faire), les objectifs prévus par le guide sont :

- Calculer la masse molaire moléculaire d'un corps ;
- Déterminer la quantité de matière d'un échantillon ;
- Distinguer la mole et son symbole.

Parmi ces objectifs, on note l'absence de la distinction entre la quantité de matière et la masse. Pourtant, c'est un point focal des difficultés des apprenants. Hors mis les manquements du guide et du manuel, il faut aussi signaler que pendant la transposition du concept dans les salles de classe, les enseignants ont tendance à faire recours à la partie théorique au profit de la partie expérimentale. Tout dépend aussi de la transposition interne du manuel scolaire. L'extrait du manuel propose une illustration pour ce qui est de la définition de la mole.

Figure 3

Définition de la mole dans le manuel camerounais Dewatek des classes de troisième. (p.20)

en hommage au chimiste physicien italien **Amedeo Avogadro** pour ses travaux remarquables. Cette constante est notée N_A et s'exprime en mol^{-1} . Sa valeur approchée est égale au nombre d'atomes contenus dans **12 g de carbone 12**, soit **$6,02 \times 10^{23}$ ou 602** mille milliards de milliards ! Ce nombre est énorme ! Ainsi, la mole est la **quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone 12.**

La constante d'Avogadro est le nombre d'entités élémentaires contenues dans une mole. Elle est notée N_A et s'exprime en mol^{-1} . Sa valeur approchée est $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Il s'agit de la partie qui institutionnalise la notion de mole pour les apprenants de 3^{ème}. Cette définition manipulée dans nos salles de classe est celle adoptée en 1971 pendant la 14^{ème} conférence des poids et mesures qui avait reconnue pour la première fois le concept de mole comme septième unité du Système International (SI). La 26^{ème} conférence générale des poids et mesures (CGPM) s'était réunie en novembre 2018 dans le but de redéfinir quatre des unités de base du Système International (SI) parmi lesquelles la mole, le kilogramme, l'ampère et le kelvin (Lucile et *al.*, 2019). On note donc l'évolution de ces unités de base. Ceci est entré en application depuis le 20 mai 2019 (voir cadre théorique sur l'étude épistémologique). Ainsi, la nouvelle définition du concept de mole ne dépend plus du kilogramme.

Nous présentons ci-dessous quelques aspects indispensables pour évaluer un programme scolaire.

- *Le contexte qui peut être défini comme l'environnement physique et intellectuel dans lequel les enseignants et les élèves doivent travailler ;*
- *L'intrant qui est surtout constitué des conceptions des élèves, des compétences et des savoirs visés et qui est le point de départ de la formation ;*
- *Les moyens qui permettent l'implantation du programme et l'atteinte des objets ;*
- *L'extrant qui est le résultat de l'application du programme d'études et se manifeste, entre autres, par le rendement académique des élèves.(Thouin, 2014, p.35)*

Au regard de la structure de la mole dans le manuel scolaire et les différents aspects développés par Thouin, on relève quelques manquements.

L'échec de la réforme d'un programme scolaire peut aussi être soit à l'origine d'une baisse considérable dans le rendement scolaire soit au décrochage scolaire. Un enseignant ne doit toujours pas se focaliser sur le programme scolaire surtout quand il constate une lacune comme le disent certains auteurs. « Si la rénovation de l'enseignement de chimie passe par une rénovation des programmes, elle ne pourra pas faire l'économie d'une réflexion sur ses modalités » (Laugier & Dumon, 2003, p.92). Une réorganisation conceptuelle ne peut se concevoir que dans une réflexion critique autour d'un débat (Bachelard, 1938). Nous pouvons conclure qu'aucune approche qualitative du concept de mole n'est faite avant son introduction. Selon les concepteurs de ce manuel, le concept de mole est plus facile s'il est lié à la masse et à la concentration molaire. Le manuel ne considère pas la mole comme la construction d'une quantité de matière. Alors l'intérêt est plus porté sur l'approche quantitative.

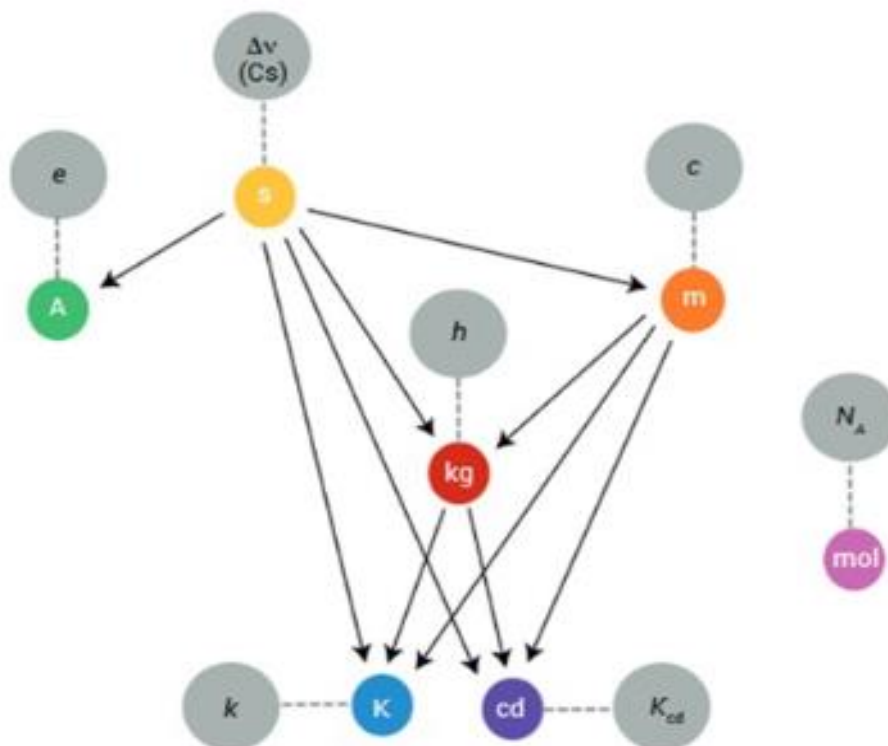
Cette lacune épistémologique peut être à l'origine des principales causes des difficultés d'apprentissage des élèves. La connaissance d'une discipline implique l'aspect de l'origine de la construction de la science d'une part et les principales difficultés rencontrées dans sa mise en œuvre d'autre part.

La source devant nécessairement être toujours plus haute que la fontaine ou s'abreuvent les élèves, il doit avoir une connaissance approfondie de la matière enseignée, des horaires et des programmes parce qu'il doit connaître plus que ce qu'il enseigne. Il doit être qualifié, compétent et conscient de la délicatesse de sa tâche...il doit préparer régulièrement ses leçons pour dominer son enseignement. (Tsafack, 1998, p.79)

Alors, on ne saurait confondre la mole à la masse et à l'entité élémentaire. La mole est l'unité de quantité de matière ; c'est une grandeur différente de la masse (m) et le nombre d'entités élémentaires (N). La figure suivante présente les sept unités du système international.

Figure 4

Les unités de base du système international (Ducamp et al.,2022)



Le kg a un lien avec la majorité des unités du S.I. Rappelons que l'ancienne définition de la mole prenait aussi en compte le kg , pourtant le kg est également une unité du S.I. comme toutes les autres. « La mole est la quantité de matière d'un système qui contient autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0.012 kilogrammes de carbone 12 ». Après la mise sur pied d'une nouvelle définition, nous constatons que de toutes ces unités, la seule qui est indépendante des autres est la mole. La figure ci-dessus montre que le kg s'est totalement détaché de la mole. Elle est uniquement liée à la constante d'Avogadro. Cette autonomie était dans le but de rendre sa compréhension fluide et digeste. C'est pour cela que certains pensent que « Les apprentissages effectifs des apprenants sont le résultat d'un processus de construction des connaissances prenant en compte l'évolution socio historique » (willam, 2017, p. 181).

En dehors des outils didactiques de l'enseignant comme le programme, le manuel scolaire, nous avons également la progression qui est aussi capitale. Au Cameroun, les enseignants fonctionnent avec une progression harmonisée. Le tableau 8 illustre la description de cette progression.

Tableau 8*Fiche de progression annuelle de PCT***FICHE SIMPLIFIEE DE PROGRESSION ANNUELLE DE PCT**

Site officiel des ressources digitalisées (MINESEC) : www.minesec-ditancelearning.cm		
Etablissement :	Classe : 3ème	Année scolaire : 2023/2024
Horaire hebdomadaire : 03 H	Nombre de leçons :	Coefficient : 03
Nom de l'enseignant :	Grade :	Ancienneté :

Trim.	Sem.	Mod.	Catégorie d'action	Leçons	Séances	Digitalisation des enseignements		Durée
						Ressources disponibles en ligne	Ressources disponibles à utiliser en classe	
	1	Ses propriétés et ses informations	Détermination des caractéristiques et des propriétés de la matière.	1- Les constituants de la matière	Atome	Oui		1H
					Molécules et ions	Oui		2H
	2			2-Classification des éléments	Tableau de classification de Mendeleïev	Oui		2H
					Séance TD			1H
	3			3-La mole	La mole	Oui		2H
					Séance TD			1H

Liste des activités expérimentales en 3 ^e			
1	Fabrication des modèles moléculaires	5	Mesure du pH de quelques solutions (eau, hydroxyde de sodium, vinaigre, jus de citron, eau savonneuse, vin de palme)
2	Réaction entre le fer et le soufre	6	Identification de certains produits issus de la combustion d'une mèche imbibée de pétrole lampant
3	Dissolution de certains composés ioniques dans l'eau (Ca(OH) ₂ , NaCl)	7	Test d'identification de quelques matières plastiques PE, PP, PS et PVC
4	Identification des ions Ca ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ , K ⁺ , H ₃ O ⁺ , HO ⁻	8	Réalisation d'une installation allumage simple SA
		9	Réalisation d'une installation va-et-vient

Il s'agit de la progression nationale harmonisée adoptée depuis l'année académique 2023 par le concours des inspecteurs et les animateurs pédagogiques des différents établissements du Cameroun. Elle existe pour tous les niveaux d'études. À la fin de la progression de chaque niveau d'étude, il est prévu une liste des travaux pratiques. En faisant une confrontation entre la progression du niveau troisième et le guide de l'enseignant on constate une contradiction. Dans le guide de l'enseignant, les acteurs ont mentionné une activité expérimentale dans le processus apprentissage du concept de mole. Dans la progression nationale, on compte 9 activités expérimentales. Dans cette progression nationale le temps alloué pour la construction du concept de mole est 3h dont 2h de cours magistral et 1h de travaux dirigés, mais l'activité expérimentale sur la mole est ignorée. En tant qu'acteur

sur le terrain, plusieurs enseignants n'utilisent pas le guide comme support dans la transposition des contenus disciplinaires. Ces derniers se focalisent plutôt dans la progression et le manuel scolaire dans le but d'achever aussitôt le programme. C'est un manque criard dans la mesure où les activités expérimentales prévues ne sont même pas réalisées par les enseignants à plus forte raison quand elle n'existe pas dans la progression.

Découper le programme en chapitre (ou séquence) définissant ainsi une progression sur l'année. C'est en général ce que propose le programme mais chaque enseignant n'est pas nécessairement en accord avec ce découpage, un programme n'est pas rédigé dans un ordre correspondant à des activités à mener dans une classe. Il faut donc l'agencer, construire une hiérarchie et une progression.(Hervieu, 2019, p.141)

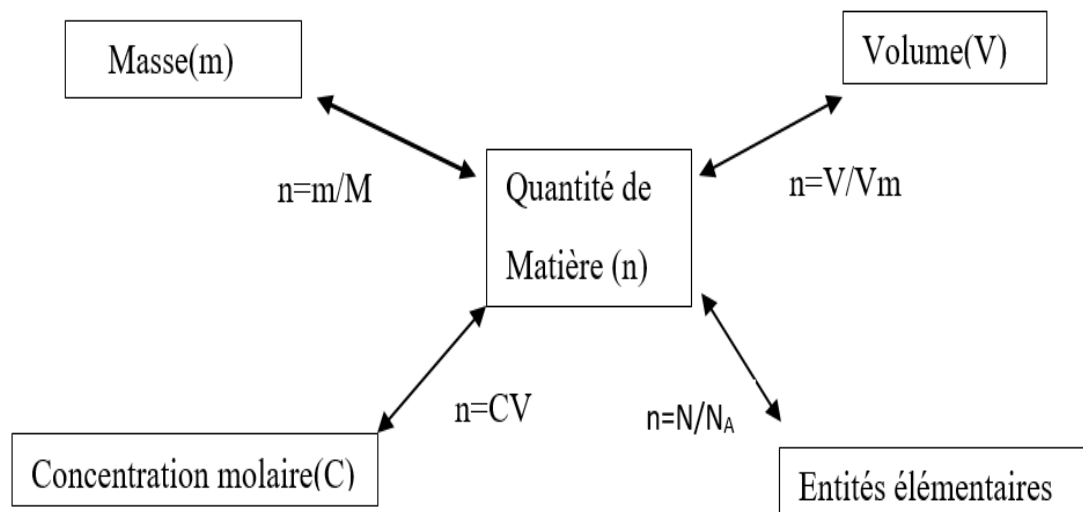
Avec ces limites relevées, on note une mauvaise conceptualisation du concept et un mauvais apprentissage des apprenants. Dans le paragraphe suivant, nous allons identifier les difficultés des apprenants sur le concept.

7.2. Les difficultés d'apprentissages du concept de mole

Pour les apprenants du secondaire, particulièrement ceux du niveau troisième, la mole est un concept qui pose d'énormes difficultés. Beaucoup utilisent le plus souvent les formules officielles pour effectuer les calculs sans toutefois comprendre la complexité qui se cache derrière. Talanquer (2011) a observé qu'un apprenant peut développer une habileté pour manipuler une équation chimique sans véritablement saisir le sens des concepts qui sous-tendent ou des concepts sous-jacents. Cette idée est similaire pour un apprenant qui applique normalement la formule de la quantité de matière sans comprendre significativement la mole, la constante d'Avogadro, la masse molaire, *etc.* La mole est un concept central dans la mesure où elle constitue un handicap pour l'acquisition des autres concepts comme la concentration molaire, la stœchiométrie, le facteur limitant. La quantité de matière est une grandeur en physique et chimie qui intègre dans son champ conceptuel la masse, la masse molaire, la concentration molaire, le volume molaire, la constante d'Avogadro tel que décrit la figure suivante.

Figure 5

La quantité de matière en lien avec la masse, volume, et les entités élémentaires Furio et al. (2000)



Cette figure nous enseigne que pour mesurer la quantité de matière, on peut utiliser la masse, le volume, la concentration molaire et l'entité élémentaire. La quantité de matière est au centre de l'enseignement des aspects quantitatifs de la chimie. À cet effet, les apprenants au lieu d'utiliser la quantité de matière comme équivalent à certains termes (masse, entité élémentaire), doivent plutôt comprendre le concept dans son sens propre, mais aussi les associer explicitement à travers les relations mathématiques. Ceci facilite le comptage des particules.

« Son enseignement/apprentissage vise à faire acquérir aux apprenants des compétences pouvant leur permettre de connaître les applications de ce concept dans la vie courante » (Dandjinou & *al.*, 2019, p. 268).

De nombreuses études montrent que les apprenants commettent des erreurs dans la résolution des problèmes impliquant le concept de mole (Furio & *al.*, 2000). Les unités (Kmol, Ibmol, gmol) attribuées à ce concept dans certains manuels scolaires peuvent être l'une des causes de son incompréhension. En jetant un regard rétrospectif sur l'histoire de la mole, on constate que son évolution a subi plusieurs modifications ; ceci peut également expliquer sa controverse.

L'étude de Larson (18) a relevé cinq causes qui entravent la compréhension du concept de mole :

- L'incohérence entre les approches pédagogiques du manuel et de l'enseignant ;
- Le vocabulaire confus du concept de mole ;
- L'anxiété mathématique et la capacité de raisonnement proportionnelle des élèves ;
- Les niveaux cognitifs des apprenants ;
- Le manque de pratique dans la résolution des problèmes.

Faizal et *al.* (s.d.) à travers une revue de la littérature, se sont intéressés aux conceptions alternatives des apprenants sur le concept de mole. Dans cette recherche, il ressort que la définition officielle de la mole adoptée par le SI faisant allusion à l'atome de carbone 12 crée une confusion car la valeur 12 de la masse de l'atome de carbone semble identique à sa masse molaire ; par conséquent, les deux valeurs ont la même signification. La mole est considérée comme une valeur et non comme une quantité. Dans cette recherche, les auteurs relèvent le principal facteur lié au langage scientifique qui est identifié comme un contributeur à des conceptions alternatives car les étudiants sont plus ancrés dans le langage de la vie réelle. On a, par exemple, l'utilisation du poids au lieu de masse pour décrire une quantité sur la mole.

Pour surmonter ces conceptions, les auteurs proposent des stratégies telles que l'utilisation d'analogie, l'illustration des exemples concrets des explications et démonstration, l'utilisation d'une approche de résolution de problème. « Lors de l'enseignement de la mole, une transposition, cohérente en lien avec le système international est le seul moyen d'atténuer les difficultés auxquelles font face les apprenants pour comprendre le concept (Ainley, 1991 cité par Stephen et *al.*, 2014). La constante d'Avogadro est une valeur énorme, abstraite, théorique, déterminée expérimentalement et la mole est une unité du SI. Alors les enseignants doivent transformer ces savoirs de façon à ce qu'ils soient digestes pour les apprenants ; c'est-à-dire d'une manière que ces derniers peuvent saisir.

Belanger et Verreault (2000) ont relevés trois classes de conceptions au sujet de la mole :

- La mole qui est une quantité est considérée comme une masse. Confusion avec la masse molaire qui est enseignée juste après, le conflit entre masse molaire et masse atomique ou moléculaire, difficulté à se représenter la quantité même quand la mole est considérée comme une quantité ;
- La mole est définie comme le nombre d'Avogadro et n'est pas reliée au carbone 12 ;

- Les propriétés de gaz reliées à la mole sont souvent étendues aux liquides et aux solides et il y'a la confusion à propos de l'application ou non du volume de 22,4 L.

Schmidt-Rohr (2020) a fait une analyse sur deux définitions simultanément utilisées. Il précise que plusieurs chimistes n'ont pas accepté les aspects continus de la définition officielle et considèrent la mole toujours comme un nombre. Ces derniers soutiennent leurs positions par le fait que la mole en tant que nombre fonctionne bien dans la pratique. Il propose que la présentation du concept de mole sous forme de nombre plutôt que son introduction comme l'unité d'une quantité réduira considérablement la confusion pendant son apprentissage. Pour relever l'équivoque dans la définition officielle, les chimistes devraient remplacer « contient » par « est « égal » ; ainsi une mole égale à $6.02214076 \times 10^{23}$ entités élémentaires. La définition officielle du SI ne fait pas l'unanimité chez tous les scientifiques. Giunta (2010) à travers sa recherche dans 400 articles publiés dans les revues ACS, révèle que dans d'autres articles, les auteurs préfèrent le terme « numéro d'Avogadro » 5749 articles par rapport à la « constante d'Avogadro », soit 1541 articles. L'ancienne définition qu'on retrouve encore dans certains manuels à l'instar du manuel camerounais donne plutôt une valeur approximative de la constante d'Avogadro et dit que le nombre d'atome d'une substance de 12 C dans une masse de référence 0,012 kg. Elle fait également allusion au kg.

Certains enseignants qui ne mettent pas leurs connaissances à jour se basent sur l'ancienne définition pour faire une transposition du concept en mettant l'accent sur la masse de particules plutôt que sur la quantité qui est la mole. Comme l'affirment certains manuels scolaires, le concept est introduit à tort dans la plupart des manuels lui attribuant la signification de masse chimique et nombre d'entités élémentaires. Furio Azcon et Guisasola (2002) préconisent l'utilisation du terme quantité à la place de nombre de mole.

Nous comprenons que la construction du concept de mole pose beaucoup de difficultés à transposer par les enseignants et même à l'apprentissage. Nous pensons que ces difficultés sont liées à plusieurs facteurs ci-dessous :

- L'introduction tardive du concept de mole dans les programmes scolaires ;
- Les insuffisances de la part des enseignants émanant de leur formation initiale (Halloun, 2019) ;
- L'impossibilité pour les enseignants en situation de classe de compléter les enseignements théoriques par le volet pratique lorsqu'il faut enseigner les sciences de la

modélisation. Beaucoup d'acteurs estiment que le concept de mole a peu de lien avec l'expérience ;

– On note également le développement des conceptions. C'est la raison pour laquelle plusieurs didacticiens se sont intéressés aux conceptions des apprenants comme un élément qui favorise l'apprentissage (Giordan ,1995 ; Pallas , 2004). Ces derniers nous font comprendre que les conceptions sont souvent en décalage avec les idées scientifiques réelles qui doivent être apprises. C'est dans cet ordre d'idée que Halloun (2019) dans ses travaux a fait une analyse didactique du contenu des productions des élèves et des enseignants à travers les tests administrés aux élèves et les fiches de préparation présentées par les enseignants. Il ressort de cette étude que les enseignants possèdent des représentations et les élèves commettent des erreurs sur certains concepts en chimie, en mathématiques en lien avec l'apprentissage de la mole.

Certains chercheurs à l'instar de Thouin ont relevé trois grands volets pour une compréhension parfaite de l'analyse d'un contenu : « une synthèse des notions et des concepts qui seront enseignés, les difficultés que les élèves risquent d'éprouver quand ces notions et concepts seront enseignées, la façon d'expliquer les difficultés prévisibles des élèves » (Thouin, 2014, p.103).

Pour le concept de mole, Halloun (2019) a fait une étude didactique de ce concept. Nous matérialisons quelques extraits dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9

Analyse didactique du contenu (Halloun, 2019 p. 83)

Concept	Définitions	Difficultés
1- L'atome : Au début de l'apprentissage de la mole, l'apprenant doit acquérir le concept d'atome pour un apprentissage efficace et fluide du concept de mole.	L'atome est la plus petite entité chimique qui entre dans la constitution de la matière.	Difficultés liées aux domaines du savoir en chimie : L'élève perçoit la matière comme étant continue. Il n'appréhende pas l'abstraction du monde sous-microscopique : la matière, selon l'apprenant, ne peut pas être faite de petites particules.
2- La mole : C'est un concept qui pose des difficultés énormes dues	La molécule est un assemblage d'atomes liés entre eux par des liaisons	Difficulté linguistique : Certains apprenants confondent molécule et mole. Les

<p>à la dualité des deux domaines, sous-microscopique et macroscopique.</p>	<p>covalentes.</p>	<p>apprenants qui ont des difficultés linguistiques en français auront des problèmes avec ce vocabulaire. Une mole de molécules sera considérée comme une molécule.</p>
	<p>La mole est une quantité de matière.</p>	<p>En physique, la masse est une quantité de matière. En chimie, l'expression « quantité de matière » est utilisée dans les exercices pour désigner la détermination d'un nombre non mesurable. L'apprenant s'expose à la confusion entre la masse et la mole et peut considérer que 1 g est égale à 1 mol. « Certains apprenants pourraient éviter d'établir des liens interdisciplinaires (la masse sera abordée uniquement en physique et la mole en chimie) ». L'élève a la difficulté de retrouver le lien entre la masse et le nombre de mole.</p>
<p>2-La mole</p>	<p>La constante d'Avogadro ($N_A = 6,023 \times 10^{23}$)</p>	<p>Difficultés dues à la constante d'Avogadro :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'apprenant a de la difficulté à saisir les grands nombres ; • « L'apprenant peut considérer 6,023 et l'exposant de 10 comme deux nombres indépendants, sans toutefois réaliser le sens de l'exposant 23 » ; • Le nombre décimal 6,023 crée une confusion chez l'apprenant : y a-t-il 0,023 atome ?

	Le symbole de la constante d'Avogadro est N_A .	<p>Difficulté liée au langage symbolique :</p> <p>Les apprenants ont tendance à confondre le symbole (N_A) avec celui de l'élément sodium (Na), les deux symboles sont constitués des mêmes lettres. En plus, le symbole de l'élément sodium est enseigné avant l'introduction du symbole de la constante d'Avogadro.</p>
	« La mole est un ensemble constitué d'un nombre d'Avogadro ».	<p>Difficulté liée aux domaines d'apprentissage en chimie :</p> <p>« Un raisonnement formel doit aider à penser le monde sous-microscopique qui est abstrait ». Mais l'apprenant ne parvient pas à distinguer le registre sous-microscopique et le registre macroscopique.</p>

Les conceptions des apprenants constituent donc l'un des principaux facteurs qui influencent l'apprentissage. Avec un enseignement qui ne prend pas en compte les conceptions des apprenants, les objectifs du cours sont partiellement atteints. Ce point de vue est partagé avec Giordan : « Si l'enseignant ne tient pas compte de ces conceptions, elles font obstacles et les notions enseignées sont éludées, déformées ou restent isolées à côté du savoir familier » (Giordan, 1990 p.75). Les concepts de stœchiométrie de volume, et la quantité de matière ne sont pas maîtrisés même avec l'utilisation de l'avancement chimique (Ducamp & Rabier, 2007).

Il n'est pas souvent étonnant que les apprenants qui n'appréhendent pas totalement le concept de mole éprouvent des difficultés à comprendre d'autres sujets ultérieurs comme la stœchiométrie (Aborah, 2019). Il relève quelques facteurs liés à cette compréhension partielle.

- Les apprenants ne disposent pas de documents de référence appropriés en chimie ;

- Les apprenants ont des difficultés avec les problèmes en lien avec les mathématiques ;
- Les apprenants ne se rendent pas au laboratoire pour une quelconque manipulation ;
- Le concept de mole est enseigné par les méthodes inappropriées ;
- Les enseignants ne donnent pas de travail personnel de l'élève (TPE) à faire à la maison ;
- Les apprenants ne s'intéressent pas beaucoup à la chimie ;
- Le concept de mole est enseigné sans aucun matériel didactique préalable ;
- Les apprenants n'étaient pas disposés à l'apprentissage de la chimie ;
- Le transfert de connaissance était obsolète chez les apprenants ;
- L'absentéisme des enseignants dans les salles de classe.

C'est pour palier à ces problèmes que la préoccupation est devenue croissante dans le monde entier dans la recherche d'une meilleure approche pour l'enseignement et l'apprentissage de la mole. Le but recherché est de trouver les méthodes innovantes qui vont permettre à l'enseignant d'accorder plus d'attention sur le concept.

La didactique de chimie doit valoriser et rationaliser cette science, plus précisément le concept de mole, qui est un concept polysémique en chimie. C'est ainsi que plusieurs didacticiens se sont intéressés aux difficultés des élèves sur le concept de mole comme un élément qui favorise son enseignement et son apprentissage. (Ansah *et al.*, 2018 ; Ayoberd & Yaayin, 2018 ; Belanger & Verreault, 2000 ; Chastrette & Cros, 1985 ; Ibrahima, 2007 ; Jennifer & Duncan, 1999 ; Fumaroli & Gautier , 2018). Ces auteurs ont proposé plusieurs stratégies pour une remédiation.

8. Les travaux antérieurs sur le concept de mole

En France, Chastrette et Cros (1985) ont fait une enquête sur « la maîtrise de la notion de mole et son évolution entre 16 et 20 ans de la seconde au DEUG (A 1^{ère} année, B 1^{ère} année et B 2^{ème} année) ». L'objectif est d'évaluer le degré de la maîtrise de la mole et distinguer ses principes facettes (définitions, composition des corps purs, stœchiométrie des réactions des réactions, molarité) et de mesurer l'évolution de cette maîtrise en fonction des apprentissages réalisés (classes littéraires ou scientifiques, évolution au cours du temps dans une même filière depuis la classe de seconde jusqu'au premier cycle universitaire). Pour atteindre ces objectifs, des données ont été recueillies par un questionnaire à choix multiples. Les résultats

montrent que le pourcentage de bonnes réponses varie parfois assez fortement de la classe de seconde C jusqu'en 2^{ème} année (45 % en seconde C, 53 % en première C, 76 % en terminale C, 53 % en terminale D, 44 % en terminale D). Ces résultats ne sont pas satisfaisants et les principales erreurs identifiées sont liées à la non prise en compte de la stœchiométrie et à la confusion entre atome et mole. En plus, la mole est considérée comme unité de masse. Aucune solution n'a été proposée pour une remédiation. Barlet et plouin (1994) signalent dans leur article d'autres difficultés relevées par Dierks (1981) qui surviennent pendant l'introduction de la grandeur « quantité de matière » et l'application de son unité « mol ». Ils font une remarque selon laquelle les obstacles que rencontrent les apprenants sur le concept de mole est « le passage du niveau microscopique décrit par le modèle au niveau macroscopique observable ». Mais passer de l'invisible au visible est nécessaire pour les apprenants afin d'accéder à un stade formel et d'arriver à un niveau opératoire plus concret. Cependant, ce n'est qu'une simple proposition.

En Afrique du sud, Jennifer et Duncan (1999) ont fait une enquête sur la compréhension de la mole par les étudiants (première année de génie chimique) et l'utilisation d'activités concrètes pour promouvoir un changement conceptuel. Le but de cette enquête était d'identifier une méthode d'enseignement qui intègre les difficultés des apprenants sur les unités (gmol, lbmol ; kmol en kgmol) utilisés en génie chimique. Pour atteindre ces objectifs, ils ont mené un entretien suivi d'un pré-test pour identifier les conceptions des étudiants par la suite. L'intervention a été conçue pour remédier aux idées fausses identifiées lors des entretiens et du pré-test. À cet effet, cinq activités distinctes ont été conçues que les élèves ont exécutées séquentiellement. La première activité visait à aider les élèves à comprendre la signification d'un gmol en tant qu'unité de comptage. Il était question pour les apprenants d'examiner un nombre égal de balles de squash et de balles de ping-pong (nombres égaux mais des masses clairement différentes). Les bouteilles contenant chacune un gmol d'une substance différente leur ont été montrées afin de leur donner une idée de la quantité d'un gmol de chacune des substances. Des questions ont été posées dans le but d'orienter les apprenants tout au long de l'activité.

Dans la deuxième activité, les différences entre un gmol, un lbmol et un kmol sont abordées. Chaque groupe d'élèves devait mesurer, dans des récipients appropriés, 1 gmol d'eau, 1 lbmol d'eau et 1 kmol d'eau. Ils ont ensuite dû répondre à une série d'items sur la signification de ce qu'ils avaient fait (Sont-ils les mêmes ? Expliquez la différence. Laquelle

contient le nombre de molécules d'Avogadro ? Pourquoi aucune d'elles n'occupe $22,4 \text{ dm}^3$?
Que signifie la masse molaire dans vos propres mots ?

Les résultats ont été analysés afin d'évaluer quantitativement l'effet de l'intervention. Si une moyenne est prise sur les items testant des idées fausses particulières, une idée fausse moyenne A est passée de 38 % à 22 %. On notera que le plus grand changement conceptuel semble se produire en rapport avec les idées fausses A. Il faut noter que les unités ibmol et kmol sont hors programme pour la plupart des manuels scolaires.

Bélanger et Verreault (2000), par le biais des manuels scolaires de chimie du niveau quatrième secondaire québécois (14-15 ans), ont fait une transposition didactique du concept de mole et ses trames conceptuelles (quantité de matière, volume et concentration chimique). Ils ont constaté que les notions telles que la mole, la concentration chimique et le volume sont complexes et abstraits. Bélanger et Verreault pensent que si les apprenants font un bon travail intellectuel, ces concepts peuvent devenir concrets. Concernant la mole, les objectifs énoncés par le manuel scolaire ne tiennent pas compte du sens large de ce concept. En fait, la mole ne s'associe pas juste à une quantité de matière, au nombre d'Avogadro ou à une masse molaire, mais aussi au concept de molécule, de masse, d'atome, de volume, de température et de pression. « Mais il est possible pour les apprenants de visualiser la mole avec ses $6,022 \times 10^{23}$ particules, il deviendra facile pour eux de savoir combien il y a de particules dans 1 mole comme dans 3 moles ou dans 1020 moles. Il faut aussi préciser que pour y arriver, un travail de fond est nécessaire. Malheureusement, la transposition proposée par les auteurs n'a pas été testée dans les conditions réelles d'apprentissage car la recherche est restée théorique.

En Espagne, Azcona et al. (2000) ont fait une étude sur « les difficultés à enseigner le concept de quantité de matière et le concept de mole auprès de 36 enseignants stagiaires, 47 enseignants du secondaire et 6 enseignants de l'université ». Le but est de vérifier si certains enseignants ont une connaissance insuffisante de l'évolution du concept de la quantité de matière et le concept de mole.

L'étude est faite à travers 8 études expérimentales avec l'analyse des manuels scolaires, des enquêtes et des entretiens. L'étude 1 examinait les idées des enseignants sur la quantité de matière par un questionnaire de trois items dans lequel il leur était demandé de comparer la quantité de matière de plusieurs substances (masse, volume, atomes). Par la suite, un entretien a été mené.

L'étude 2 est consacrée à une enquête et une entrevue avec les enseignants il leur est demandé si pendant leurs enseignements, ils introduisent le concept de mole avec une bonne méthode. Les études 7 et 8 sont conçues pour examiner les idées fausses des enseignants à travers un questionnaire et un entretien. Ces études ont obtenu les résultats ci-dessous.

L'étude 1 montre que 50 % des enseignants stagiaires formateurs associent la quantité de matière avec une idée qualitative atomistique. Peu d'enseignants évoquent la nécessité d'enquêter sur le problème que le concept de mole essaie de résoudre. Pour 82,4 % d'enseignants, aucune approche qualitative du concept n'est faite avant son introduction dans la séquence d'enseignement. 88,2 % des enseignants ne considèrent pas que la construction de la quantité de matière est plus facile si elle est liée à la masse et au nombre d'éléments. En plus, tous les enseignants ont déclaré qu'ils ne connaissent rien sur l'origine et l'évolution de la mole. En ce qui concerne la signification attribuée au concept de mole, seulement 10,6 % d'enseignants l'identifie à l'unité de la quantité de matière. 89,4% attribuent ce concept à la masse et au nombre d'entité élémentaires. 38,9 % des enseignants ont une idée confuse de la quantité de matière la rendant identique à la masse et 44,4 % au nombre d'entités élémentaires.

Comme conclusion, l'enseignant doit inclure une discussion significative sur les concepts techniques. En plus, l'enseignement de la chimie doit introduire les concepts nouveaux (quantité de matière et mole) en prenant des idées qualitatives comme premier traitement ; une fois le concept abordé qualitativement, il est possible de mieux le définir et mieux le comprendre.

Au Moyen-Orient, Ünlü (2006) a fait une étude auprès de 53 élèves de la 9^{ème} année. Le but de cette étude est d'analyser l'efficacité de la méthode explicite de résolution de problème accompagné d'un enseignement par analogie sur la compréhension du concept de mole. La méthodologie employée était la suivante : les élèves ont été divisés en deux groupes 26 élèves pour le groupe expérimental et 27 pour le groupe témoin. Un post-test est administré aux deux groupes ; un questionnaire à choix multiples (43 items) dont une réponse juste et quatre distracteurs est utilisé pour collecter les données. Par la suite, le groupe témoin a subi un enseignement par la méthode traditionnelle accompagnée des problèmes supplémentaires qui ont été résolus par la méthode de proportionnalité. Pour le groupe expérimental, les élèves ont subi un enseignement par la méthode explicite de résolution de problème accompagné d'un enseignement par analogie.

La première phase est la méthode explicite basée sur la résolution des problèmes. Les étapes sont :

- Écrire la nature de l'information donnée sous forme symbolique ou sous forme narrative ;
- Écrire ce qui est demandé ;
- Se rappeler des prérequis pouvant être utile et les écrire ;
- Faire un plan de résolution des problèmes et les écrire ;
- Résoudre le problème en utilisant les mathématiques.

L'enseignant a donné les informations sur la résolution des problèmes avant la leçon : il s'agit d'un problème de calcul lié au concept de mole. Les réponses sont discutées entre les élèves et l'enseignant par la suite. La deuxième phase est l'enseignement par analogie. Les œufs sont utilisés comme analogie ; il s'agit de comparer la masse de 4 œufs et la masse de 4 moles d'atomes de fer puis, l'enseignant a introduit les problèmes d'équivalents à la mole. Une feuille de travail comprenant les informations requises pour la compréhension de l'analogie a été donnée aux élèves suivie d'une discussion.

Les résultats ont été analysés en fonction de la moyenne générale des élèves. Pour le groupe expérimental, on a une moyenne générale de 38,42 % au post-test contre 18,66 au pré-test. Pour le groupe témoin, on a une moyenne générale de 35,33 % au post-test contre 18,66 % au pré-test. Il conclut en disant que la compréhension du concept de mole utilisant la méthode explicite de résolution de problème accompagnée d'un enseignement par analogie est significative par rapport à la méthode traditionnelle. Il faut noter que l'auteur déplore le fait que les résultats ne sont pas positifs concernant les attitudes des élèves envers la chimie en tant que matière scolaire.

Cependant, malgré une légère progression entre les résultats du pré-test et du post-test, cette approche n'est pas pratique car les élèves ne manipulent pas ; par conséquent certains élèves mémorisent les solutions pour les différents types de problèmes et conduisent à l'échec lorsque des problèmes nouveaux sont présentés.

Au Sénégal, Ibrahim (2007) en classe de seconde a utilisé « une **approche** méthodologique pour la construction de l'unité de quantité de matière à partir d'une situation-problème ». Le but est de faire appréhender l'unité de la quantité de matière. Il a élaboré une démarche hypothético-déductive en s'appuyant sur la situation problème basée sur le comptage des grains du riz dans un sac de 100 kg comme travail à faire à la maison. Après un

long débat avec les apprenants, l'enseignant a sorti une tasse de thé et a demandé à un apprenant de mesurer le nombre de tasse de riz issu d'un pot de 500 g de riz. La mesure donne 7 verres et $\frac{1}{4}$. Pour un souci d'harmonisation, une capsule de stylo à bille sera utilisée. « En fonction des capsules, plusieurs valeurs ont été trouvées (20 ; 24,5 ; 25 ,25 ; 22, 8...). Enfin, le nombre de grains de la première capsule a permis de trouver le chiffre 57. Le calcul final ($200 \times 7.25 \times 20 \times 57$) va donner 1 653 000 grains ». Avec ces calculs, le concept de la mole a été introduit. Notons qu'aucun test n'a été fait pour mesurer l'efficacité de cette approche.

En Serbie, Babić-Kekez et *al.* (2013) ont fait une recherche auprès de 50 élèves de 7^{ème} année à l'école primaire (13-14 ans). Le but de la recherche est de déterminer l'influence de l'enseignement apprentissage par une approche systémique sur les acquis des apprenants de 7^{ème} année de chimie au sujet du concept de mole. Les difficultés relevées sont :

- Les difficultés liées à la constante d'Avogadro ;
- Les difficultés avec les principes de bases en mathématiques ;
- Différences dans les capacités des apprenants à résoudre des problèmes en deux étapes par rapport aux problèmes en une étape ;
- Difficultés avec les tâches qui sont modifiées en ajoutant une notation scientifique ;
- Difficultés à comprendre la mole comme unité de la quantité de matière.

Un pré-test est administré à 96 apprenants puis 50 élèves ont été choisi pour la recherche dont 25 élèves pour le groupe témoin et 25 élèves pour le groupe expérimental. Sur la base du pré-test, les apprenants sont répartis en trois groupes principaux caractérisés comme suit : *excellent, bon, acceptable*. Dans chacun des trois groupes, il y avait deux sous-groupes à savoir les sous-groupes expérimentaux et les sous-groupes témoins. Les cinq premiers apprenants du groupe expérimental qui avaient de fortes notes dans le pré-test ont été caractérisés comme excellents suivi par le 2^{ème} groupe de 15 élèves du groupe expérimental qualifié de bon et le groupe de 5 élèves qualifié d'acceptable. La même procédure a été effectuée pour le groupe contrôle. L'étude a été menée sur une période de 2 semaines et pendant ce temps les élèves apprenaient la quantité de substance, la mole et la masse molaire. Deux approches ont été utilisées pour renforcer la compréhension des apprenants concernant la mole. Le sous-groupe expérimental apprenait en utilisant l'approche systémique tandis que le sous-groupe témoin apprenait par la méthode conventionnelle. Pour le premier cours dans le groupe expérimental, l'enseignant a utilisé l'approche systémique pour expliquer les liens entre l'ensemble des concepts à savoir la masse molaire, la quantité

de matière, la mole et la constante d'Avogadro. Pour le deuxième cours, de nouvelles systémiques vides ont été présentées aux étudiants et le professeur joue le rôle de guide. Un post-test est administré à la fin et le score maximum possible est de 12 pts.

Les résultats ont montré que le groupe expérimental a un pourcentage de réussite de 66,83 % contre 50,17 % pour le groupe témoin. Cependant, il faut noter que les élèves qualifiés de bons dans les deux sous-groupes n'ont pas compris le concept de masse molaire et son unité. Aussi, ils n'ont pas compris la mole comme l'unité de la quantité de substance, les difficultés avec les tâches qui nécessitent une procédure en deux étapes n'ont pas été comprises, 31% pour le groupe témoin et un taux un peu élevé pour le groupe expérimental. Comme limites, il est difficile pour l'élève de lier un concept initial avec un concept final en passant par les concepts intermédiaires avec une approche systémique. Les enseignants et les élèves ayant une faible compétence visuelle peuvent avoir les difficultés avec cette approche. Elle nécessite beaucoup de temps pour que les enseignants apprennent à la construire et à l'appliquer dans leurs processus d'enseignement.

Moss et Pabari (2010) ont mené une étude sur 100 apprenants élèves d'âge scolaire (14-17 ans) soit 44 étudiants de 1^{ère} année, 61 de 2^{ème} année et 3^{ème} année universitaire et les enseignants (6) sur l'incompréhension de la mole. Les objectifs sont : examiner la raison pour laquelle les étudiants, à différents stades de leur éducation, ont les difficultés sur le concept de mole et d'explorer les façons dont les élèves peuvent mieux le comprendre et l'expliquer.

Pour la méthodologie, un questionnaire semi structuré a été conçu pour sonder les enseignants, les lycéens et les étudiants. Les trois questionnaires étaient libellés comme suit :

- « Quelle est la matière scientifique la plus difficile ? – Quel est le style d'apprentissage préféré ?
- Quelles sont les activités bénéfiques pendant le cours de chimie ? L'utilisation d'activités pratiques, les questions sur la connaissance de la mole et de son importance ».
- Le questionnaire adressé aux écoliers. « Quand la mole était introduite pour la première fois s'ils l'ont trouvée difficile et quelles améliorations pourraient être apportées pour aider à la compréhension ? » ;
- Pour les étudiants, « à quel point ils ont trouvé la mole difficile pour l'enseigner ? Quelles sont les ressources qu'ils utilisent pour enseigner ? ».

Les résultats ont montré que 68% des élèves et 55% des étudiants ont reconnu avoir eu les difficultés avec ce concept. Comme solutions, les enseignants proposent, afin de mieux enseigner, de :

- Présenter le concept à un niveau simple ;
- Fournir une définition claire ;
- Réviser les principes fondamentaux ;
- Des classes plus petites ;
- Fournir une explication plus claire ;
- Faire la pratique ;
- Expliquer plus claire dans les manuels ;
- Passer plus de temps à l'enseigner ;
- Rendre l'enseignement /apprentissage plus amusant ;
- Faire des apprentissages en groupe ;
- Trouver les causes des difficultés déclarées par les étudiants ;
- Modifier l'enseignement médiocre ;
- Remédier aux ressources insuffisantes ;

En plus la mole en tant que quantité doit être soulignée dans le but d'aider les apprenants à développer sa compréhension

- Enseigner les calculs de manière à englober plusieurs formats afin que les étudiants puissent apprendre de leur méthode préférée surtout pour ceux qui luttent avec les mathématiques.
- Introduire le concept dans les basses classes en utilisant les analogies ;
- Montrer l'importance de la mole et ses rapports avec la vie courante.

Au Nigéria, Omwirhiren (2015) a mené une étude chez les apprenants du 2nd cycle du secondaire (17 ans) dans l'objectif de déterminer les erreurs d'apprentissage sur la mole sur les problèmes quantitatifs. L'étude est menée auprès de 120 élèves choisis au hasard. Un test diagnostique basé sur le modèle hiérarchique d'erreur de Newman a été utilisé. Le but du modèle est d'identifier les erreurs des élèves dans les disciplines liées aux mathématiques. Le modèle classe les types d'erreurs en fonction du niveau de résolution des problèmes effectués par les apprenants. Les six types d'erreurs reconnues par le modèle sont : l'erreur de l'écriture, l'erreur de compréhension, l'erreur de transformation, l'erreur de développement des compétences, l'erreur d'encodage et l'erreur de négligence.

Les apprenants ont été soumis à un test qui a permis de les classer en deux catégories ; les plus performants ayant obtenu un score de 65 % et plus, les moins performants pour un score d'un taux compris entre 50 et 64 %. Pour les résultats concernant la résolution du problème sur le concept de mole, le taux d'élèves qui commettent les erreurs en fonction du modèle sont : 11 % des élèves commettent des erreurs de transformation, 36 % des élèves commettent des erreurs liées au processus du développement des compétence, 36 % des élèves commettent des erreurs de compréhensions et 9,16 % des élèves commettent des erreurs liées à l'utilisation des formules. Les causes de ces erreurs sont le manque d'emphase des enseignants dans l'enseignement et la simplification des concepts tels qu'ils apparaissent et l'apprentissage par cœur de la part des élèves. Comme solutions, il préconise que les enseignants, dans leur pratique enseignante, devraient encourager les élèves à se concentrer et procéder par étape de manière logique pour surmonter les difficultés des apprenants. En plus, l'enseignant doit rendre la leçon portant sur le la mole passionnante en encourageant le travail de groupe. Enfin, les élèves doivent faire des exercices de résolution de problème.

Au Nigéria, Lamidi et al. (2015) ont fait une étude avec pour but de déterminer les effets de la maîtrise d'une stratégie pédagogique d'enseignement apprentissage sur la réussite des apprenants du premier cycle du secondaire sur le concept de mole. L'étude est menée dans deux classes de plus de 50 élèves et la répartition des apprenants est sensible au genre (mélange assez raisonnable des garçons et des filles). Le groupe expérimental est constitué de 60 élèves (29 filles et 41 garçons) et le groupe témoin est constitué de 50 élèves (20 filles et 30 garçons). Dans chaque groupe, les apprenants sont classés en fonction du score obtenu en chimie au trimestre (élèves moyens et faibles) : sont classés comme élèves forts les scores de 70%, les moyens compris entre 41 et 69 % et les faibles 40 % ou moins. Selon le même ordre d'idée, le groupe expérimental avait 20 scores élèves forts, 27 scores moyens et 12 scores faibles. Un post-test a été administré aux deux groupes par un questionnaire pour déterminer le degré de compréhension des apprenants sur la mole et le groupe expérimental a reçu un cours successif sur une période de deux semaines.

L'enseignant a d'abord administré un test formatif tiré du contenu de la leçon ; ensuite, la leçon a été faite à la fin de cette première phase et le test formatif a été administré avec quelques questions remaniées dans le but de faire une différence entre les performances des apprenants au début et à la fin afin d'exclure ceux qui ont 80%. Après, une révision a été organisée pour les élèves n'ayant pas maîtrisé le concept et enfin, un test correctif leur a été proposé. Pour éviter le désordre, un test d'enrichissement a été administré aux élèves qui

avaient déjà une maîtrise parfaite du concept. Pour le groupe témoin, ils ont reçu un enseignement conventionnel, comme à l'accoutumée. À la fin, un post-test a été soumis aux deux groupes.

Comme résultats, le groupe expérimental ayant reçu un enseignement basé sur la maîtrise de la stratégie d'enseignement apprentissage a eu un score moyen de 15,50 et pour le groupe témoin on enregistre un score moyen de 7,04. Ces résultats ont montré également que la maîtrise de la stratégie d'enseignement n'influence pas sur le genre, un score moyen de 15,7 pour les hommes et de 15,00 pour les filles. Nous pouvons tirer comme conclusion que la maîtrise de la stratégie d'enseignement apprentissage a un effet significatif sur la compréhension de la chimie car elle a aidé les scores faibles et moyens à améliorer leurs résultats. Cependant, les auteurs n'ont pas mis sur pied un type de stratégie pédagogique d'enseignement apprentissage pour une bonne compréhension du concept.

Chong (2016) a fait une recherche sur l'altération des concepts de mole et la concentration en vue d'établir la confusion conceptuelle dans l'application de $M1V1 = M2V2$. Les résultats ont montré que les élèves font la confusion entre la mole et la concentration, par conséquent à l'application $M1V1 = M2V2$. Il signale que le facteur qui contribue à cette incompréhension est la non maîtrise du concept de mole car les difficultés avec le premier entravent l'apprentissage du second. Il pense que la maîtrise parfaite de ce concept est fondamentale pour comprendre le concept de la concentration.

Au Ghana, Kennedy et *al.* (2018) ont travaillé sur l'utilisation d'une approche constructiviste pour améliorer la compréhension de la mole par les élèves de la deuxième année de chimie au lycée d'Adobewura. L'objectif était d'utiliser cette approche pour améliorer les performances des apprenants. Le test, basé sur les aspects quantitatifs du concept de mole, a été administré pour identifier les conceptions. Ensuite, la recherche action utilisée pour une remédiation consistait à mettre sur pied une technique de démonstration. Enfin, un post-test a été soumis pour évaluer l'impact de cette approche. Les résultats montrent que 76,67 % des apprenants ont eu un score compris entre 41 et 90. Malheureusement, le test était centré sur les questions quantitatives pour la majorité et, par conséquent, un apprenant ayant une bonne maîtrise des notions mathématiques peut obtenir un bon score sans avoir appréhendé le concept de la mole.

Au Ghana, Yaayin et Ayoberd (2018) ont fait une autre étude auprès des enseignants stagiaires de première année du collège Tamale. Le but était de montrer l'influence de

l'approche par problème sur la perception et l'attitude des apprenants à l'égard du concept de mole. Pour atteindre le but visé, ils ont d'abord administré un post-test à 88 enseignants pour confirmer une mauvaise perception et l'attitude des apprenants à l'égard du concept de mole. Ensuite, ils ont divisé les 88 élèves en deux groupes : 44 apprenants pour le groupe contrôle ont subi un enseignement basé sur l'approche par lecture et 44 apprenants pour le groupe expérimental un enseignement basé sur l'approche par problème. 88,7 % des étudiants du groupe expérimental ont attesté que le concept de mole est facile, 95,4 % d'étudiants indiquent qu'ils sont à l'aise lorsqu'ils apprennent le concept de mole, 90,9 % des apprenants sont en désaccord avec le fait que les termes utilisés sur le concept de mole font peur et 84,1 % des apprenants ont convenu qu'ils comprennent facilement les symboles et unités utilisés sur la mole. Cependant, dans le groupe contrôle, 47,7% des étudiants affirment que le concept de mole est facile, 52,3 % des étudiants ont confirmé être à l'aise avec ledit concept, 52,3 % des étudiants sont d'accord que les termes utilisés dans le concept de mole font peur et 59,1 % des étudiants comprennent facilement les symboles et les unités utilisés sur le concept de mole. Toutefois, cette recherche est plutôt centrée sur les enseignants stagiaires et l'objectif visé demeure les perceptions et les attitudes et non la construction et l'apprentissage du concept.

En France, Fumaroli et Gautier (2018) ont mené «une étude didactique de l'enseignement de la quantité de matière en seconde générale et technologique ». Le but était de déconstruire la confusion entre la masse et la quantité de matière et d'expliquer aux élèves l'intérêt qu'il y a à utiliser la quantité de matière ; d'identifier les difficultés couramment rencontrées par des apprenants de seconde générale et technique sur la quantité de matière. Elles constatent que pendant l'apprentissage, les élèves font la confusion entre la masse et la quantité de matière et pour elles, les origines de cette confusion proviennent d'une part de la définition de la masse qui fait intervenir la quantité de matière dans les manuels scolaires et d'autre part, du mot quantité utilisé dans la vie courante. « Une autre difficulté est la signification pléthorique attribuée à la mole ce qui entrave chez les élèves le passage de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique » (Fumaroli & Gautier, 2018 P.62). L'origine peut aussi provenir de l'introduction tardive de ce concept dans le programme scolaire. Elles ont également relevé les difficultés calculatoires du fait de la mauvaise conversion et la puissance de 10. Pour y remédier, elles ont mené une activité expérimentale qui consistait à peser par binôme une quantité de grains de riz et de graines de lentilles afin de comparer leurs masses. Une activité documentaire constituée d'une petite histoire du concept

de mole, de sa définition, celui de la masse molaire et le tableau de classification périodique dans le but d'exploiter théoriquement ces documents et ensuite répondre aux questions posées. Les résultats montrent que les concepts de quantité de matière (28 %), de masse molaire (24 %), nombre d'Avogadro (25 %) et de mole (32 %) ne sont pas acquis pour un bon nombre d'élèves. Cela est dû au fait que les activités documentaires qui intégraient ces concepts étaient destinées à une simple lecture. L'objectif général était de déconstruire la confusion entre la quantité de matière et la masse, pourtant selon Potvin (2014), la conception n'est pas déconstruite ; il existe plutôt une coexistence entre la conception erronée et celle scientifique. Notons aussi que l'émission des hypothèses par les apprenants n'a pas été prise en compte.

Aborah (2019) a fait une recherche sur 40 apprenants et l'objectif de sa recherche était d'utiliser quelques méthodes d'enseignements actives pour améliorer les performances des apprenants sur le concept de mole.

Un pré-test est administré à ces 40 apprenants qui forment un seul groupe. La stratégie employée est basée sur les activités. Les apprenants sont organisés en cinq groupes de 8 élèves par groupe. Chaque groupe est chargé de prendre de brèves notes par activité. Dans la première activité, il s'agit de dissoudre les particules de permanganate dans l'eau pour expliquer le concept de concentration molaire. La prochaine activité est de travailler avec les boîtes d'allumettes et les oranges non mûres dans le but de comprendre la notion de quantité de substance. Á cet effet, chaque groupe a reçu une boîte d'allumette et trois oranges ; l'enseignant leur a demandé de compter 12 allumettes et deux oranges. Le chercheur a ensuite fait prendre conscience aux apprenants qu'une douzaine ne peut représenter que 12 allumettes et une paire d'oranges est égale à 2 oranges. Après, une série des questions sont posées aux apprenants : donner le nombre de chaussures dans une paire de chaussures et le nombre d'œuf dans une douzaine d'œufs. Comme exemple pris par l'enseignant, un paquet de 144 est une douzaine de fois 12. Á la suite de cet exemple, la mole est introduite comme unité de la quantité de matière. Enfin, l'enseignant chercheur a expliqué comment calculer la quantité de matière et la masse molaire moléculaire puis des exercices d'application ont suivi. Un post-test a été soumis afin d'évaluer l'impact de ces activités. Les résultats du pré-test révèlent les conceptions suivantes :

- Les élèves confondent la quantité de matière et la masse d'un objet ;
- Les élèves sont incapables de calculer la quantité de matière pour la plupart et ceux qui y parviennent utilisent le gramme comme son unité légale ;

- Les élèves ne font pas la différence entre la quantité de matière et la concentration molaire.

Comme causes nous pouvons citer entre autres :

- La méthode d'enseignement inapproprié ;
- Les matériels didactiques de référence inadéquats ;
- L'anxiété mathématique.

Les résultats du post-test montrent que 32,5 % des élèves ont obtenu un score compris entre 21-25 sur 30, 22,5 % ont obtenu un score compris entre 16-20 sur 30 et 2,5 % ont obtenu un score compris entre 26-30 sur 30.

Toutefois, cette étude a une limite : le domaine de référence n'est pas compatible avec le domaine réel (douzaine d'œufs ...).

En Zambie, (Munyati & *al.*, 2019) se sont intéressés aux connaissances pédagogiques des enseignants sur la mole. De ce fait, le but est de déterminer les connaissances sur le contenu pédagogique du concept de mole auprès des enseignants afin de développer un modèle pour sa transposition. Un questionnaire, l'observation d'une leçon et l'entretien sont utilisés pour collecter les données. 30 enseignants ont rempli les questionnaires qui ont fourni les résultats de base permettant d'identifier les principaux aspects sur lesquels se concentrer pendant les observations de cours et les entretiens. 11 enseignants sont échantillonnés pour une série d'observation et parmi eux, les cours de cinq enseignants ont réellement été observés et les deux autres dont les cours n'ont pas été observés sont invités à compléter la représentation (CORES) du contenu qui était suivi d'une discussion en groupe afin de saisir les points communs sur la représentation du contenu sur le concept de mole ainsi que leurs expériences sur le concept.

Les résultats montrent que les enseignants ont du mal à identifier les idées clés et à comprendre l'interaction entre les concepts sous-jacents pouvant permettre aux apprenants de mieux comprendre le concept de mole. Aussi, les enseignants introduisent la formule empirique avant l'enseignement du concept, ce qui est un obstacle pour la compréhension de la mole dans son aspect quantitatif. Les enseignants n'arrivent pas à expliquer le sens de la masse atomique relative et le lien entre la théorie atomique et le concept de mole ; le lien entre la masse molaire et la masse atomique relative.

Une autre idée fautive est que pendant la discussion, les chercheurs ont posé la question à savoir « Quelle est la masse réelle d'un atome d'oxygène la réponse donnée par

l'enseignant est 16 g ? », ce qui est une limite à la compréhension et la transposition du concept de mole. Quant aux difficultés des apprenants, nous pouvons dire que les apprenants ont associé les masses atomiques relatives des éléments dans le tableau périodique aux masses réelles d'atomes en gramme ; une mauvaise association des niveaux de connaissance macroscopique, microscopique et symbolique, « la confusion entre la mole et la masse ».

Les chercheurs tirent la conclusion selon laquelle certains enseignants responsables des idées fausses font juste un transfert de ces conceptions aux apprenants. Pour résoudre le problème, les chercheurs se sont lancés dans l'élaboration de la carte conceptuelle modifiée par Fang et *al.* (2014) pour une compréhension conceptuelle de la mole qui contient des aspects du réseau des mesures macroscopiques de masse et de volume qui sont liés ; c'est un modèle accepté de la quantité de matière. Malheureusement, cette carte conceptuelle est plus complexe car elle a une vue globale d'un ensemble de concept ou une représentation linéaire qui met l'accent sur toutes les relations entre eux.

En Zambie, Asiana et Kasompo (2019) ont travaillé sur l'effet de la cartographie conceptuelle sur la réussite de l'apprenant sur le concept de mole aux élèves de 11^{ème} année (38 garçons et 42 filles) dans une école secondaire publique du district de Kabwe. L'objectif de cette étude était de déterminer l'efficacité de la cartographie conceptuelle sur la réussite de l'apprenant sur le concept de mole et de vérifier si les résultats des apprenants diffèrent considérablement selon le sexe des apprenants. La méthodologie employée consiste à administrer un pré-test puis à scinder au hasard deux groupes, un groupe expérimental et un groupe témoin. Les apprenants du groupe expérimental ont appris le concept de mole avec l'intégration de la cartographie conceptuelle. Après l'apprentissage, les apprenants ont également été invités à dessiner leurs propres cartes conceptuelles avec comme choix d'élargir les cartes conceptuelles initiales qu'ils avaient dessinées. Il leur a été demandé de dessiner des cartes conceptuelles spécifiques basées sur les leçons couvertes.

Les apprenants du groupe témoin ont appris le concept de mole comme les apprenants du groupe expérimental mais sans l'intégration des cartes conceptuelles. Ils ont eu recours à des discussions en classe et en groupe, à des activités pratiques et à des travaux de groupe. Ils ont régulièrement reçu des devoirs en termes de résumés et de calculs, sauf la cartographie conceptuelle.

Une autre étude a été menée par Halloun (2019) avec pour objectif général d'étudier l'impact d'une formation portant sur le concept de mole donnée à des enseignants du

secondaire sur l'évolution de leurs connaissances et compétences professionnelles et sur la réduction des obstacles didactiques chez les élèves. La formation a été planifiée selon un cycle de DBR (Design Based Research) et était découpée en cinq mésocycles ; dans chaque mésocycle, la chercheuse est appelée à animer des activités de perfectionnement. Parmi ces mésocycles, on en a un dans lequel l'analyse et l'exploration sont observées, trois mésocycles pour construire et améliorer l'outil didactique et le dernier basé sur l'analyse et la réflexion. Pour le premier mésocycle, le but était de mettre sur pied une approche pédagogique active pour les enseignants, de répertorier les difficultés auxquelles les enseignants sont confrontés afin d'adopter quelques solutions, d'identifier chez les apprenants des obstacles didactiques sur la mole. Quant au mésocycle 2, il était question de concevoir le matériel didactique, de planifier en animant la première activité et orienter les enseignants à concevoir une séance de cours sur le concept de mole. Les mésocycles 3 et 4 consistent à améliorer le matériel didactique dans le but de combler les manquements et le dernier est essentiellement réservé à l'évaluation. Les résultats du premier mésocycle montrent que les élèves possèdent des obstacles didactiques sur la mole. Quant aux enseignants, ils ne prennent pas en compte les difficultés rencontrées par les apprenants lorsqu'ils conceptualisent la mole et ont une connaissance superficielle sur des approches actives. Les résultats des apprenants dans les autres mésocycles montrent une amélioration dans le processus d'apprentissage et une réduction des obstacles didactiques. « Quant aux enseignants, ils sous-estiment la difficulté du concept de mole dans la progression des apprentissages et possèdent des représentations très superficielles des approches constructivistes » (Halloun, 2019 p.123).

Malgré cette évolution, il y a toujours des difficultés qui persistent en fonction des items tels que la notion de la quantité de matière (40 %, 16 %). De plus, cette démarche nécessite l'intervention de plusieurs acteurs.

Dans les Philippines, Sanchez et Taborada (2020) ont mené une recherche avec 30 apprenants de la 9^{ème} année du cours du soir (13-18 ans). Le but visé était d'analyser l'impact de l'utilisation d'une stratégie d'apprentissage assistée par les pairs sur les scores des apprenants de 9^{ème} année en chimie au sujet du concept de mole. La méthodologie employée est la suivante : les 30 élèves sont divisés en deux groupes de 15 élèves pour le groupe témoin et 15 élèves pour le groupe expérimental (le groupe expérimental est jumelé par les camarades plus performants). Un pré-test est administré aux deux groupes. Par la suite, l'enseignant a donné un polycop aux apprenants sur le concept de mole en tenant compte des objectifs de la leçon qui étaient la définition de la mole, son utilisation dans les équations chimiques, son

application dans la vie courante. Ces derniers ont pris connaissance du sujet au préalable dans leur domicile. Lors de sa mise en œuvre, l'enseignant a donné des activités préliminaires, des exemples de scénario, des problèmes à résoudre pour illustrer le concept ; ensuite la formation des groupes a été faite et à l'intérieur de chaque groupe une discussion sur le concept était menée, les plus performants guidaient les autres sur les zones sombres. Pour la résolution des problèmes, un élève par groupe lit et les autres proposent la solution ; si elle n'est pas correcte, le plus intelligent les guide à obtenir la meilleure solution. L'enseignant les assiste tout au long de l'épreuve. Le groupe témoin a reçu un cours magistral où l'enseignant était le conférencier mais avec des activités bien structurées. Enfin, un post-test a été administré.

Les résultats ont montré que dans le groupe expérimental la moyenne générale des élèves est 11,4 au post-test contre 5,87 obtenu au pré-test. Le groupe témoin a obtenu une moyenne générale de 8,40 au post test contre 5,93 obtenu au pré-test. Pour ces chercheurs, les enseignants doivent utiliser la stratégie de polycop par les pairs comme une forme de remédiation pour les apprenants travailleurs. Malgré cette légère différence observée, ces résultats montrent que le niveau de performance des élèves sur le concept de mole dans les deux groupes est nettement inférieur à la norme établie par le ministère de l'éducation. Cependant, cette stratégie n'est pas très cathodique étant donné que les élèves considérés comme les plus performants peuvent imposer leurs conceptions erronées à leurs camarades qui vont immédiatement l'intégrer suite d'un excès de confiance.

Au Ghana, Adu-Gyamfii et Vorsah (2021) ont porté leurs investigations sur 32 professeurs de chimie. L'objectif était d'examiner les pratiques enseignantes sur la nature et la perception de l'enseignement de la mole. Une méthodologie mixte a été utilisée, une approche quantitative basée sur une enquête auprès des enseignants et une approche qualitative basée sur l'observation des cours des enseignants et les entretiens. Pour l'enquête, un questionnaire sur l'échelle de type Likert a été utilisé (Fortement d'accord, d'accord, incertain, en désaccord, et fortement en désaccord). Les entretiens se sont déroulés en deux étapes, avant et après la leçon.

Pour les résultats, 96,88% des enseignants ont convenu que le concept de mole peut être mieux appréhendé si et seulement si les enseignants l'abordent avec le matériel didactique adéquat ; 92,63 % des enseignants confirment que ce concept nécessite beaucoup de travail et ils pensent que son enseignement doit être accompagné par le biais des activités pratiques au laboratoire ; 71,25 % ont déclaré avoir ce qu'il faut comme langage scientifique pour mieux enseigner ce concept ; 81,25 estiment que la compréhension de ce concept

nécessite de bonnes connaissances en mathématiques ; 75 % ont convenu que le concept se rapporte à la masse d'une substance dans 12 g de carbone 12 et 59,32 % ont convenu que le concept de mole peut être compréhensible lorsque l'on dispose d'une bonne épistémologie du concept. Pour ce qui est de l'observation et les entretiens, il en ressort que l'enseignement de la mole est confronté au manque de ressources adéquates telles que les planches adaptées, les caisses d'œufs. Les enseignants considèrent la mole uniquement comme l'unité de la quantité de matière au lieu d'avoir une vue d'ensemble. Les chercheurs concluent en disant que les enseignants de chimie ont une perception positive modérée de la nature de l'enseignement du concept. Plusieurs ne pratiquent que ce qu'ils professent et, par conséquent, ça contribue aux difficultés d'apprentissage des apprenants. À cet effet, le Ministère de l'Éducation doit veiller à inspecter régulièrement les enseignants pour s'assurer de l'efficacité de ces derniers.

Nous constatons que les difficultés liées au concept de mole qui ne datent pas d'aujourd'hui perdurent encore tant dans les pays occidentaux que dans les pays africains. Ceci pour plusieurs raisons parmi lesquelles l'inefficacité des différentes méthodes utilisées par les enseignants et dans les manuels scolaires. Au vu de ce qui précède, nous allons faire ressortir notre problème de recherche suivi de la question principale.

9. Problème, question et hypothèse générale, objectifs de recherche

Rappelons que l'enseignement de la chimie est complexe du fait des multiples concepts qui nécessitent un lien étroit entre les trois domaines de savoir. En dehors de ces trois domaines couramment utilisés, Talanquer (2011) a proposé les domaines multi-corpulaire, sous-atomique et supramoléculaire. Halloun propose trois façons d'aborder ces domaines « par des modèles, par de la visualisation et par de l'expérimentation... puisque la visualisation nécessite du matériel de manipulation et des ressources informatiques et que l'expérimentation nécessite des laboratoires bien équipés » (Halloun, 2019, p. 42). Nous avons aussi les difficultés d'ordre épistémologique et les mauvaises croyances sur le comportement de la matière ne sont pas en reste. Comme disait un auteur: « L'individualisme fait considérer la connaissance en termes de croyances » (Chalmers, 1997, p.184). Il explique la position de l'individualiste dans le processus de construction de la connaissance : « L'individualisme voit la connaissance comme un agencement particulier de croyances possédées par les individus et qui se situent dans leurs esprits ou cerveaux » (Chalmers, 1997, p. 185). Quand on est incapable de justifier une idée avec des preuves tangibles, elle est fautive. Cette preuve ne doit pas se limiter expérimentalement. Selon le même auteur, le statut d'une connaissance valide doit se référer aux fondements du concept.

Ces croyances ne peuvent pas être identifiées quand un enseignement est basé sur la méthode traditionnelle. Nos évaluations montrent que le système éducatif camerounais a plusieurs défis à relever notamment les mauvais résultats dans les matières scientifiques. De moins en moins d'apprenants sont aptes à appliquer une formule en lien avec la quantité de matière.

De tout ce qui précède, le problème que pose cette étude est celui de la difficulté d'acquisition du concept de mole.

➤ **La question principale**

Les apprenants du niveau troisième perçoivent mal le concept de mole. Cette mauvaise perception peut se justifier par le fait que l'enseignement des sciences dans nos établissements est plus centré sur le maître ; ce type d'enseignement met l'accent sur les connaissances théoriques. Ces connaissances sont souvent situées sur la mémoire à court terme. Face à ce dilemme, on va assister à la démotivation des apprenants quant à l'apprentissage des sciences physiques, démotivation qui croît avec le temps. Concernant la chimie, cette démotivation affecte négativement les apprenants quant à l'amour de la discipline. En réalité, peu d'élèves sont capables de décrire et d'expliquer les phénomènes en chimie, notamment les réactions qui se produisent entre les réactifs, une équation de réaction. De plus, ils sont aussi incapables de vérifier certaines lois chimiques comme la loi de Lavoisier. Ces difficultés de maîtrise des notions chimiques et particulièrement la notion de la mole sont parfois associées à plusieurs facteurs. Le principal facteur, comme nous avons signalé plus haut, est l'usage des méthodes d'enseignements ou pédagogiques classiques. À cela s'ajoutent, entre autres, l'absence du matériel didactique même de récupération. En d'autres termes, les enseignants ne disposent pas assez d'outils didactiques indispensables pour aborder le concept de mole. Pour ce qui est des élèves, leurs difficultés proviennent le plus souvent des mauvaises conditions d'apprentissage, notamment des préjugés de ces derniers face aux disciplines scientifiques, sans oublier l'influence de l'environnement social qui est parfois défavorable à l'apprentissage. Plusieurs études ont proposé des dispositifs dans le but d'aider les enseignants pour une meilleure transposition du concept de mole mais les difficultés perdurent. Les apprenants possèdent toujours de nombreuses conceptions sur le concept de mole.

Les didacticiens internationaux ont beaucoup œuvré pour mettre en lumière les difficultés des apprenants en chimie. D'autres travaux proposent de ne pas se limiter uniquement à l'étude de ces difficultés, mais d'en trouver l'origine et de proposer une piste de remédiation. C'est dans ce contexte que le parcours de cette recherche est basé sur la réponse

à la question suivante : Quelle est l'influence de la démarche d'investigation sur les difficultés que les apprenants des classes de 3^{ème} de l'enseignement secondaire général au Cameroun rencontrent lorsqu'ils conceptualisent le concept de mole ? La réponse à cette question principale dépendra de notre hypothèse générale. Cette hypothèse sera mesurée sur le terrain.

➤ **Hypothèse principale de recherche**

L'apprentissage basé sur la démarche d'investigation permet de surmonter les difficultés que les apprenants des classes de 3^{ème} de l'enseignement secondaire général au Cameroun rencontrent lorsqu'ils conceptualisent le concept de mole. Notre recherche tourne autour d'un objectif principal et des objectifs spécifiques.

➤ **Objectif Général**

Dans ce travail de recherche, nous sommes à la quête d'une piste de solution à une préoccupation basée sur les difficultés des apprenants et leurs origines au sujet de la mole. En effet, comme nous avons signalé plus haut, il n'y a pas encore une recherche dans le contexte camerounais sur l'enseignement apprentissage de la mole par la démarche d'investigation comme mode de transposition didactique. La question principale de recherche mentionnée dans ces travaux contribue à l'atteinte de l'objectif. Une fois les difficultés des élèves repérées au pré-test et donc certaines sont confirmées par les écrits, nous cherchons à les considérer comme objectifs didactiques à atteindre tout en étudiant l'influence de la démarche d'investigation sur les difficultés que les élèves rencontrent lorsqu'ils conceptualisent le concept de mole. Pour atteindre l'objectif général, il est important de spécifier les objectifs secondaires.

➤ **Objectifs secondaires**

- Identifier les difficultés que rencontrent les apprenants des classes de 3^{ème} de l'enseignement secondaire général au Cameroun lorsqu'ils sont évalués sur le concept de mole et leurs origines ;
- Étudier l'influence du processus d'enseignement apprentissage basé sur l'émission des hypothèses suivie de l'expérimentation dans un contexte socioconstructiviste sur les difficultés des apprenants lorsqu'ils sont de nouveau évalués sur le concept de mole.

Il s'agit de mettre en lumière les erreurs que les apprenants commettent lorsqu'ils conceptualisent le concept de mole.

En somme, ce travail de recherche mettra en évidence les difficultés des apprenants et leurs origines lorsqu'il mobilisent les ressources pour répondre aux questions en lien avec la mole. Dans le contexte camerounais, cette recherche proposera une nouvelle approche basée sur la D.I pour mieux enseigner le concept de mole à travers ses différentes étapes. Toutefois, pour bien mener cette recherche il est primordial de définir les concepts clés. Cette tâche fera l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 2 : CADRE CONCEPTUEL

Le caractère exploratoire de la recherche de cette thèse nous amène à parler du cadre conceptuel au profit du cadre théorique comme l'exige toute recherche de justification (Cormier, 2014). Par ailleurs, le premier chapitre nous a fait ressortir la problématique et la question principale de la recherche. Quant au chapitre 2, nous y parlerons du cadre conceptuel qui sous-tend notre travail de recherche.

1. Définition des concepts

1.1. Les entités chimiques

Une entité chimique est la plus petite constituante non dissociable d'un corps. De ce fait, toute matière est composée d'entité élémentaires qui ne sont pas visibles. Ces entités forment la base en chimie et quelle que soit la nature de la matière, on retrouve ces entités. Dans la pratique, on peut déterminer le nombre d'entités connaissant sa quantité de matière par l'expression $N = n \times N_A$ où N est le nombre d'entités ; n « est la quantité de matière » ; N_A est la constante d'Avogadro. « Dans un échantillon de corps pur de masse m constitué d'entités de masse $m_{\text{entité}}$, le nombre N d'entités présentes dans l'échantillon est $N = m/m_{\text{entité}}$ m et $m_{\text{entité}}$ dans la même unité » (Nathan, 2019 p.28)⁷. Selon le dictionnaire français Eurlex 2019, « une entité élémentaire peut être un atome, une molécule, un ion, un électron ou toute autre particule ou groupement spécifié de particules ». Ces particules peuvent être les atomes, les molécules, les ions, les électrons

1.1.1. L'atome

L'atome est la plus petite entité qui constitue la matière. Dans les années 1500, Guillaume de Conches l'affirmait par cette définition « des particules simples et extrêmement petites par lesquelles, selon leur juxtaposition, toutes les choses du monde physique ont été formées et dont les qualités ont été produites » (www.techno.science.net).

Le concept d'atome est apparu au 5^{ème} siècle par le concours du philosophe Démocrite qui pense que la matière est la constitution des particules très petites invisibles et insécables. Sa pensée a été acceptée au 19^{ème} siècle par Platon et Thomson qui ont découvert la structure de l'atome. Plus tard, Rutherford montre qu'un atome est aussi constitué d'un noyau placé au centre. Ainsi, Rutherford publie le modèle de l'atome dit « modèle planétaire » où les électrons gravitent autour du noyau, il explique dans son expérience que la matière a une structure lacunaire.

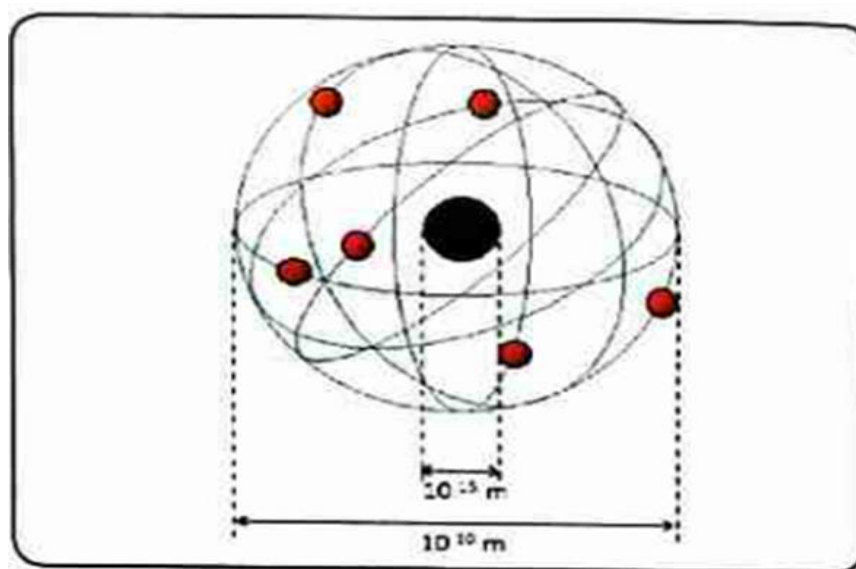
⁷www.maxicours.com : physique chimie 5^{ème}, 4^{ème}, 3^{ème} : Histoire du modèle de l'atome.

Bohr va poursuivre dans le même sens en montrant qu'autour du noyau, les électrons ont une trajectoire déterminée mais cette idée est rejetée par Schrödinger. Selon Dalton (1808), les atomes sont formés de boules de masses différentes sauf les atomes d'un même élément d'après son modèle. En 1897, John découvre l'électron et explique qu'il est chargé négativement. Thomson en 1904 reconnaît que l'atome est électriquement neutre ; c'est-à-dire que les charges positives du noyau compensent les charges négatives des électrons. Ces modèles ont été retouchés et c'est en 1930 qu'apparaît la théorie quantique par Schrödinger qui est le modèle actuel. Nous constatons que la compréhension de l'atome est basée sur les modèles. « L'atome est une entité microscopique invisible qui n'a ni exemples ni attributs perceptibles par conséquent, on ne peut le comprendre qu'à l'aide des modèles » (Nguessan, 2016, pp.242-243). Pour Ouasri & ravanis (2016), « Le concept d'atome appartient aux concepts qui n'ont pas d'exemples et attributs perceptibles » (p.80).

Un atome est formé d'un noyau et autour de ce noyau gravitent les électrons sous forme d'un nuage électronique. Ce noyau regorge de charges positives. Nous présentons l'aspect d'un atome.

Figure 6

Extrait du manuel DEWATEK en Physique-Chimie-Technologie des classes de niveau 3^{eme} illustrant le modèle simplifié de l'atome (2014, p.6)




D'après cette figure, le diamètre du noyau est environ de 10^{-15} m contrairement à celui de l'atome qui est de 10^{-10} m , c'est-à-dire le diamètre de l'atome est largement supérieur à celui du noyau (1.000.000 fois). Un atome est caractérisé par son nombre d'électron ou son

numéro atomique noté Z. Ils sont représentés par les symboles ou par les couleurs conventionnelles. Le tableau suivant matérialise l'exemple de quelques modèles atomiques.

Tableau 10

Extrait du manuel DEWATEK en physique-Chimie-Technologie des classes de 4^{ème} illustrant quelques modèles atomiques (2014, p.24)

Modèles atomique	Couleur Conventionnelle	Nom de l'atome
	Blanc	Hydrogène
	Noir	Carbone
	Rouge	Oxygène
	Jaune	Soufre

Chaque atome est matérialisé par une couleur. L'hydrogène de symbole H est représenté par la couleur blanche, le carbone de symbole C par la couleur noire, l'oxygène de symbole O est représenté par la couleur rouge et le soufre de symbole S par la couleur jaune.

1.1.2. Les molécules

Le concept de molécule prend son origine sur la base du fait qu'il existe des substances formées par les liaisons entre deux ou plus d'atomes dans la nature. C'est dans ce contexte que les objets de l'univers sont établis, d'où l'apparition de la molécule au V^{ème} siècle. Avogadro, en 1811, stipulait que « La plus petite particule qui constitue un gaz n'est pas nécessairement un atome unique, mais une combinaison d'un certain nombre de ces atomes unis par des forces attractives pour former une molécule unique » (www.superprof.fr). L'UICPA⁸ la définit comme « une entité électriquement neutre comprenant plus d'un atome. Ils sont liés entre eux par des liaisons ». « Une molécule est entité discrète, sous-microscopique de la matière formée d'un regroupement d'atomes, mais ayant une charge nulle » (Ouasri & ravanis, 2016, p.80). Précisons qu'une molécule peut aussi être formée d'un seul atome (H₂ ; O₂ ; Cl₂...).






Chaque molécule possède une formule et un nom qui permettent de l'identifier et de la distinguer des autres. Dans la nature, il existe une pléthore de molécule qui sont représentées

⁸Union international de chimie pure et appliqué.

par les modèles dans la pratique. Les tableaux suivants montrent l'exemple de quelques modèles moléculaires compacts et éclatés.

Tableau 11

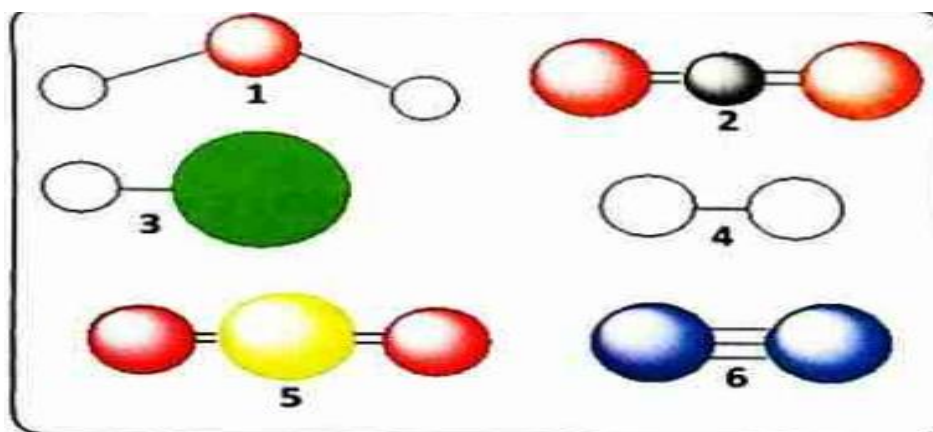
Quelques modèles moléculaires⁹

Noms	dihydrogène	dioxygène	diazote	eau	dioxyde de carbone
formules	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	CO ₂
Modèles moléculaires					

Rappelons que le tableau ci-dessus montre les modèles compacts. Il existe aussi les modèles éclatés.

Figure 7 :

Extrait du manuel DEWATEK en physique-Chimie-Technologie du niveau 3^{eme} illustrant quelques modèles moléculaires éclatés (2014, p.6)



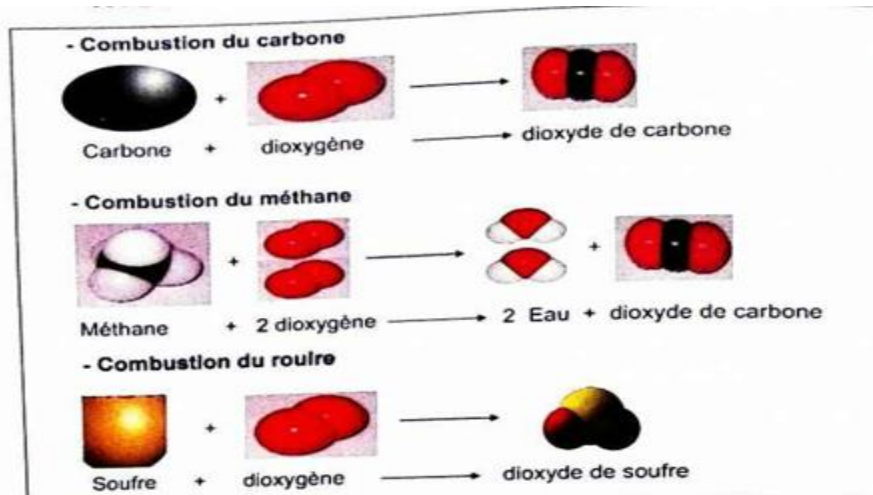
Cette figure ressort six modèles éclatés. Le modèle 1 représente la molécule d'eau et est constituée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène. Le modèle 2 représente le dioxyde de carbone qui est constitué d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène. Le modèle 3 est le chlorure d'hydrogène constitué d'un atome de chlore en vert et d'un atome d'hydrogène en blanc. Le modèle 4 représente la molécule du dihydrogène. Le modèle 5 est la molécule de dioxyde de soufre formé d'un atome de soufre et de deux atomes d'oxygène. Le modèle 6 représente la molécule de diazote constituée de deux atomes d'azote.

Au niveau quatrième, les apprenants doivent utiliser ces modèles pour ressortir les équations de réactions chimiques. La figure suivante en montre quelques exemples

⁹ <https://college-ci.online/course/view.php?id=1821>: Les modèles moléculaires.

Figure 8

Équations de combustion à l'aide des modèles moléculaires illustrée par le manuel DEWATEK des classes de 4^{ème} (2014, p.28)

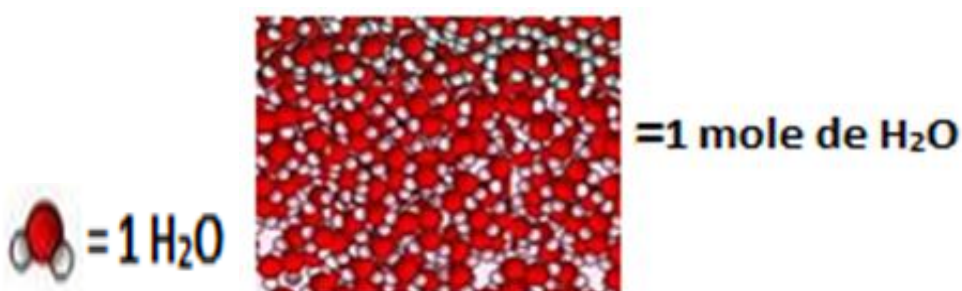


Avec ces modèles, les apprenants doivent réaliser qu'au cours d'une réaction chimique, le nombre et la nature des atomes se conservent et que les atomes des différents réactifs s'associent pour former les différents produits.

Pour le niveau troisième on peut utiliser les icônes moléculaires pour former une mole de molécule de H₂O.

Figure 9

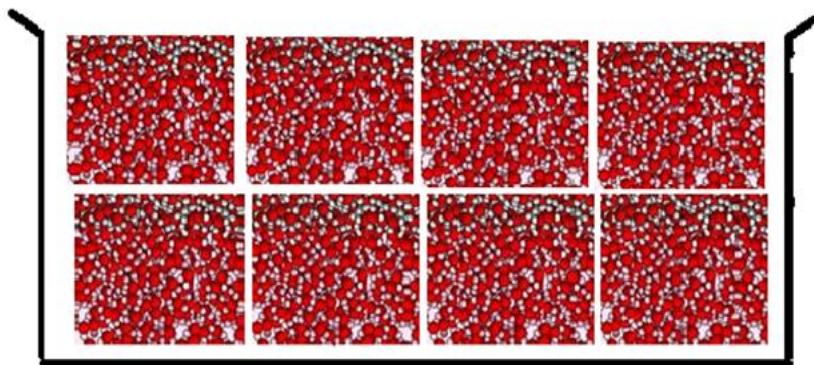
Icône d'une molécule et d'une mole de H₂O



À partir d'une mole de cette molécule, on peut faciliter la détermination du nombre de molécules contenues dans la cuvette ci-dessous connaissant le nombre d'atome contenus dans une mole d'eau. Á travers le modèle moléculaire, l'enseignant est capable de construire plusieurs activités.

Figure 10

Les moles de molécules contenues dans une cuvette

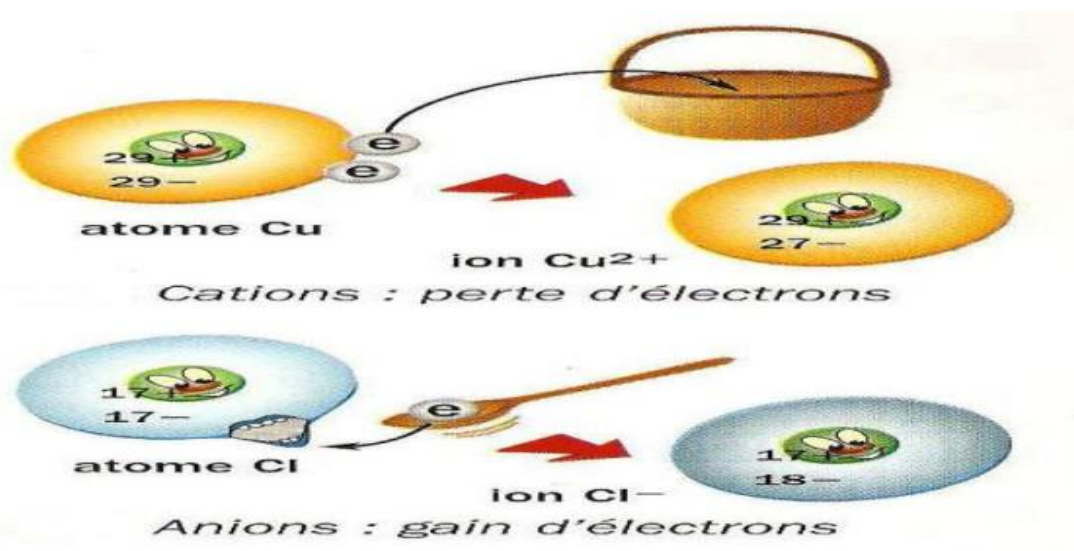


1.1.3. Les ions

« Un ion est une entité discrète sous-microscopique de la matière formée d'un atome, d'un regroupement d'atomes et ayant une charge nette non nulle, positive, négative » (Ouasri & ravanis, 2016, p.80). Alors, un atome qui gagne un ou plusieurs électrons est chargé négativement, c'est un ion négatif appelé anion. Un atome ayant perdu un ou plusieurs électrons est chargé positivement, il constitue un ion positif appelé cation. Pour représenter un ion, on écrit la formule brute et on précise le nombre d'électrons perdus ou gagnés en exposant. La figure suivante montre la formation des ions et dans cette figure, nous avons un atome de cuivre à l'état neutre avec un numéro atomique égal à $Z=29$ quand il perd deux électrons il se charge positivement et adopte $Z=27$ comme numéro atomique. Un atome de chlore à l'état neutre a pour numéro atomique $Z=17$; quand il gagne un électron, il se charge négativement et adopte le numéro atomique $Z=18$.

Figure 11

Formation d'un cation et d'un anion (Nguessan, 2016)



Le tableau ci-dessous représente quelques cations et quelques anions.

Tableau 12

Quelques cations et anions

Nom du cation	Symbole	Nom de l'anion	Symbole
Ion cuivre	Cu^{2+}	Ion chlorure	Cl^-
Ion sodium	Na^+	Ion sulfure	S^{2-}
Ion potassium	K^+	Ion hydroxyde	HO^-
Ion aluminium	Al^{3+}	Ion sulfate	SO_4^{2-}

On distingue les ions monoatomiques et les ions polyatomiques. Les ions constitués d'un seul atome sont appelés ions monoatomiques. Les ions polyatomiques sont les ions constitués de deux ou plusieurs atomes. Le tableau suivant montre quelques exemples d'ions monoatomiques et polyatomiques.

Tableau 13

Quelques ions monoatomiques et polyatomiques

Ion monoatomique	Symbole	Ion polyatomique	Symbole
Ion magnésium	Mg^{2+}	Ion sulfate	SO_4^{2-}
Ion sodium	Na^+	Ion hydronium	H_3O^+
Ion chlorure	Cl^-	Ion hydroxyde	HO^-
Ion aluminium	Al^{3+}	Ion nitrate	NO_3^-

1.1.4. La quantité de matière

Selon Nathan (2019), « La quantité de matière est la grandeur utilisée pour compter un nombre d'entités microscopiques. Elle s'exprime en mole (de symbole mol). Une mole d'entités correspond exactement à un paquet de $6,02214076 \cdot 10^{23}$ entité » (p. 98).

L'auteur attire notre attention sur des erreurs ou confusions, « cette expression fait souvent référence à une masse ou à un volume, car ces deux grandeurs sont très couramment utilisées pour caractériser un échantillon de matière » (Nathan ,2019 *ibid*).

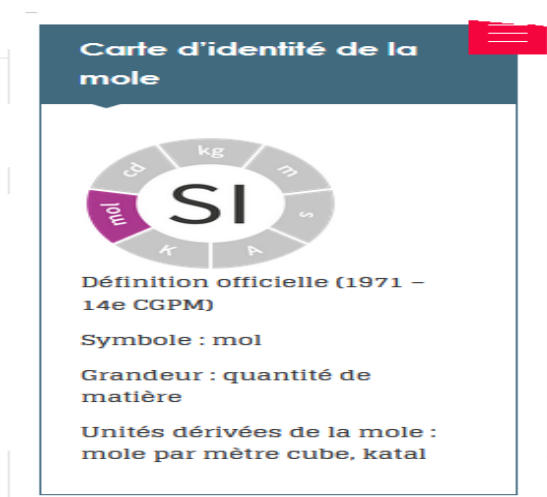
En physique chimie, c'est une quantité mesurable en mole. Notons que dans la pratique il est impossible de mesurer la masse d'une seule entité de corps, « m détermine la masse d'une entité par la pesée d'un échantillon macroscopique d'une quantité n précise de cette entité » (Nathan ,2019).

1.1.5. La mole, comme unité de mesure en chimie

La mole est l'unité de mesure de la quantité de matière et la dernière des sept unités de base à avoir été intégrée au Système International d'unité en 1971 (Lecourt & Bourgeois, 2006). Rappelons qu'elle a été officiellement définie comme « la quantité de matière d'un système qui contient autant d'entités élémentaires qu'il y'a d'atomes dans 12g de carbone 12. Ces entités élémentaires peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons... » (www.chimiephysiquescience.files.wordpress.com). Cette définition suppose que la mole est spécifique à la chimie qui traite d'une infinité de substances.

Figure 12

Carte d'identité de la mole



Elle constitue d'une unité dérivée. Selon le dictionnaire Le Robert en 1993, le Katal est l'unité d'activité catalytique utilisée pour exprimer la quantité de catalyseur capable de catalyser une réaction chimique ou biochimique à hauteur d'une mole par seconde dans des conditions expérimentales clairement définies¹⁰. Son symbole est le kat. Il a été introduit en octobre 1999 dans le dispositif du SI par la 21^{ème} Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM). Il est donc considéré comme une unité dérivée de la mole.

➤ Pourquoi adopter une unité pour la chimie ?

Si la mole, comme définie ci-haut, est une unité de mesure, avec quoi la mesure-t-on donc ? Son origine est d'abord liée au besoin de satisfaire les chimistes dans leurs mesures et de mettre fin aux questions. Ainsi, en 1971, elle a été reconnue comme 7^{ème} unité du SI.

En chimie, la mole a deux significations :

- C'est une grandeur pourvue d'une unité de mesure ;

¹⁰ Le Robert : Dictionnaire en ligne. <https://sourceforge.net>

- C'est aussi une grandeur qui permet aux chimistes de quantifier la matière. Il s'agit le plus souvent de mesurer la masse de l'élément, de la molécule ou de l'ion sachant que dans une mole il y'a toujours $6,02214071 \cdot 10^{23}$ qui est la constante d'Avogadro.

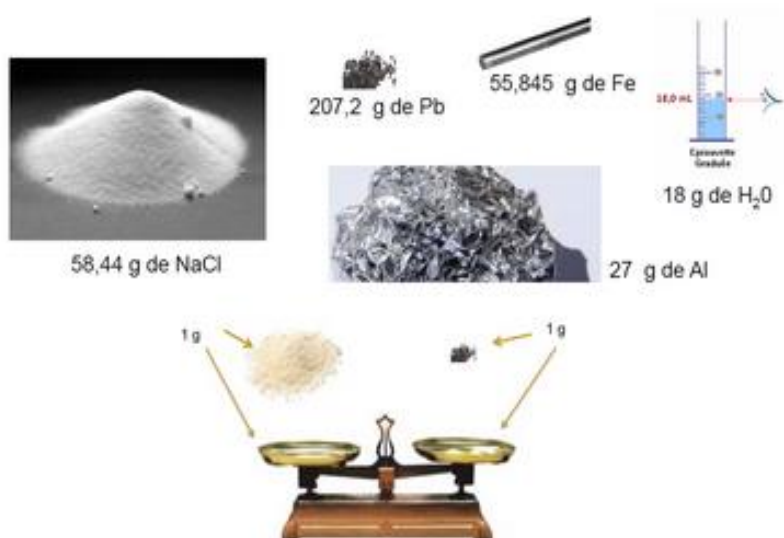
Les chimistes utilisent cette quantité de matière dans plusieurs expressions :

- Le rapport entre la masse d'un échantillon sur sa masse molaire atomique ou moléculaire ($n = m/M$) ;
- Le rapport entre le nombre d'entités élémentaires sur la constante d'Avogadro ($n = N/N_A$) ;
- Le rapport entre le volume d'un corps sur le volume molaire ($n = V/V_m$) ;
- Le produit de la concentration massique et le volume de l'échantillon sur la masse molaire de l'échantillon ($n = C_m \cdot V/M$) ;
- Le produit de la concentration molaire et le volume molaire ($n = CV$).

De toutes ces expressions, le constat fait est le suivant : quelle que soit l'expression utilisée, l'unité est la même et le symbole est « mol ». La mole est une grandeur extensive puisqu'une mol d'eau + 3 mol d'eau = 4 mol d'eau. On peut citer d'autres exemples de grandeurs extensives, tels que la masse : 5 Kg de sel mélangé à 4 Kg de sel donnent 9 Kg de sel contrairement aux grandeurs intensives comme la pression ou la concentration molaire. La mole est alors reconnue comme une unité de comptage des quantités de matières donc, pour une masse précise d'un élément chimique donné, on va compter N_A entités. On peut illustrer avec quelques exemples.

Figure 13

Représentation d'une mole des différentes espèces



Dans cette représentation, les masses des différentes entités sont différentes et représentent les masses molaires atomiques et les masses molaires moléculaires. Ainsi :

- Une mole de NaCl (chlorure de sodium) correspond à 58,44 g et contient exactement **$6,02214071 \cdot 10^{23}$** molécules de NaCl ;
- Une mole d'aluminium correspond à 27 g et contient exactement **$6,02214071 \cdot 10^{23}$** atomes d'aluminium ;
- Une mole d'eau correspond à 18 g et contient exactement **$6,02214071 \cdot 10^{23}$** molécules d'eau.

En somme, dans un échantillon, une mole de particule contient exactement **$6,02214071 \cdot 10^{23}$** particules de cet échantillon.

La mole est utilisée en médecine pour visualiser le taux de glycémie à travers une sous unité « mmol » comme on peut lire sur les appareils suivants :

Figure 14

Les glucomètres



La figure 8 ci-dessus montre deux glucomètres. Le premier appareil de la marque sinocare sur lequel nous lisons 3,5 mmol/L ; il s'agit du taux de glycémie d'un individu prélevé à jeun. Le deuxième appareil est de la marque one touch Ultra 2 sur lequel nous lisons 88 mg/dL représentant le taux de glycémie exact. La valeur de 3.5 mmol/l doit être convertie en mg/l pour trouver la valeur exacte du taux de glycémie. Notre but n'est pas d'insister sur les conversions mais de montrer l'importance ou l'utilisation du concept de mole dans le domaine de la médecine.

1.1.6. La masse molaire

La masse molaire n'étant pas directement mesurable, il existe une méthode de détermination et une échelle a été construite à travers la mole (c'est-à-dire la somme des masses molaires des éléments qui constituent la molécule). La masse molaire moléculaire de H_2O est constituée de l'élément H et l'élément O avec la masse molaire atomique de $H = 1g/mol$ et la masse molaire atomique de l'oxygène $O=16g/mol$ soit $M_{H_2O}=2M_H+M_O=2+16=18g/mol$.

Asamoah (2016) définit la masse molaire comme étant « l'unité de la quantité de matière » contenant un nombre de particules bien défini. Par exemple, si un individu détient

une mole de chlore et une mole de magnésium, les deux éléments contiennent tous $6,02 \cdot 10^{23}$ atomes mais la masse de l'élément chlore est différente de la masse de l'élément magnésium.

C'est tout simplement parce que les particules de l'élément chlore sont plus lourdes que les particules de l'élément magnésium. Alors la masse du chlore serait supérieure à la masse du magnésium. Les apprenants doivent réaliser que depuis 2019, la nouvelle définition de la mole adoptée est l'unité de quantité de matière contenant exactement $6,02214076 \cdot 10^{23}$ entités élémentaires. L'unité légale de cette masse molaire est le g par mole (g/mol).

La transposition de ces concepts qui s'imbriquent sur la mole doit prendre en compte plusieurs paramètres pour une bonne compréhension. Nous allons aborder le concept de transposition didactique dans le paragraphe suivant.

1.2. Les transpositions didactiques

Les acteurs sont partis du constat qu'entre les savoirs savants et les savoirs enseignables, il y'a un clivage, une distance. A cet effet, il est donc primordial de mettre en œuvre des méthodes d'acquisitions des savoirs, qui devront permettre de passer d'un savoir savant à un savoir à enseigner pour aboutir à un savoir appris. De ce fait, la transposition didactique met en lumière toutes les étapes de la transformation du savoir jusqu'à la pratique de l'enseignant. En d'autres termes, pour que l'enseignement d'un savoir soit possible et efficace, il faudrait que ce savoir puisse subir au préalable certaines déformations, qui le rendront apte à être enseigné. Alors, le savoir enseigné, diffère du savoir à enseigner. Pourquoi introduire la notion de transposition en milieu scolaire ?

1.2.1. Origine de la transposition

Dans les travaux de Verret en 1975, nous apprenons que « la transposition didactique » est un concept qui est apparu en sociologie avec pour objectif de décrire un phénomène lié au savoir. Pour qu'un savoir soit appris, il est indispensable de remettre en forme ce savoir pour le rendre accessible. Cette remise en forme facilite son acquisition. C'est Chevallard (1985) qui l'introduit pour une première fois en « didactique des mathématiques » dans le but de reformer l'enseignement des mathématiques. Pour Chevallard (1985/1991), « c'est le travail qui d'un objet de savoir à enseigner fait un objet d'enseignement ». Plus loin, « La transposition didactique, contenu de savoir ayant été désigné comme savoir à enseigner, subit des lors un ensemble de transformations adaptatives qui vont le rendre apte à prendre sa place parmi les objets d'enseignement » (Chevallard & Joshua, 1991, p.39). Aujourd'hui, le concept de transposition didactique est appliqué dans toutes les disciplines. Il s'agit des

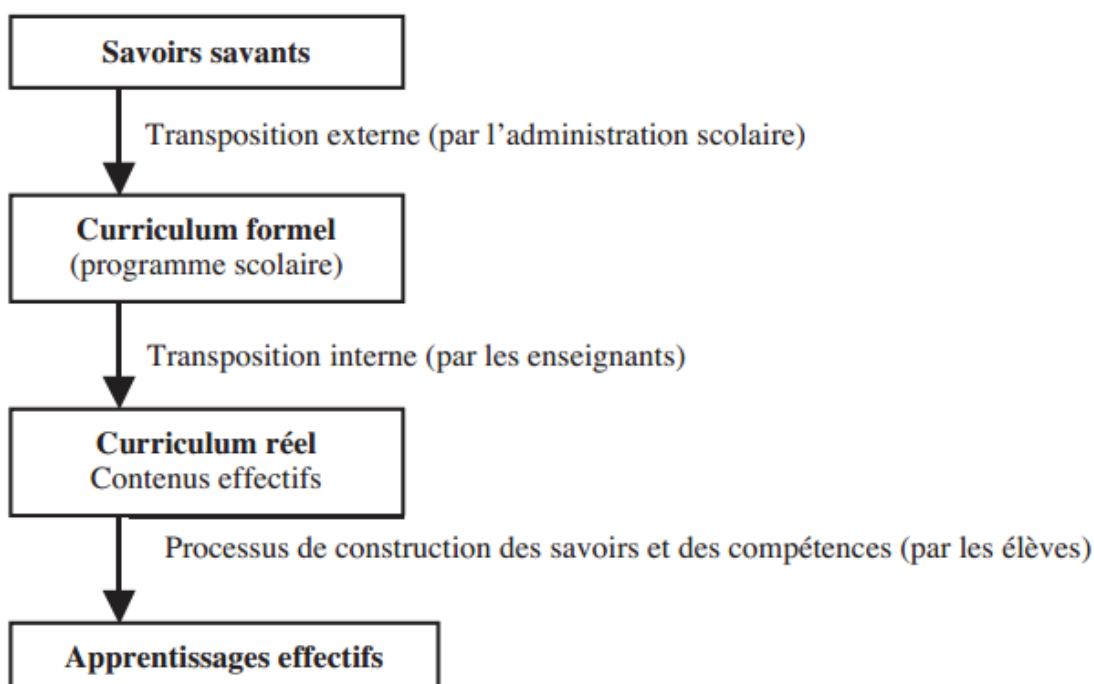
disciplines scolaires constituées des contenus enseignables. Cette notion est devenue inévitable dans le processus de la construction d'une connaissance et est conditionnée par plusieurs étapes (Perrenoud, 1998).

1.2.2. Les étapes de la transposition didactique

Selon Astolfi (1998), il existe deux types de transposition didactique, la transposition interne et la transposition externe. Le schéma ci-dessous adapte pour le processus de la TD est le suivant.

Figure 15

La chaîne de transposition didactique (Perrenoud,1998)



Chevallard en 1985 a compris qu'il n'y a pas de savoir sans pratique. Tout savoir doit être transposé. La première qui appartient à la noosphère (politiciens chercheurs...), c'est-à-dire les spécialistes de chaque domaine.

Les savoirs savants ici sont des connaissances nouvelles acceptées par la communauté formée des experts ou communauté scientifique. C'est cette communauté qui examine les savoirs nouveaux, les valide et les officialise. Ils constituent donc le cadre de référence. Ces savoirs savants sont transformés en savoirs enseignables, il s'agit ici des concepteurs de programmes (inspecteurs pédagogiques...) (Chevallard & Joshua, 1991). Les savoirs à enseigner sont ceux qui répondent au besoin de la société et ne sont pas de nature didactique. Selon Perrenoud (1998), cette première flèche indique la transformation des savoirs et programmes en pratique. Ces Savoirs à enseigner sont les savoirs « qui sont décrits, précisés

dans l'ensemble des textes officiels, ces textes définissent des contenus, des normes, des méthodes » (Audigier, 1988, p.1). Pour Chevallard (1985), c'est la transformation didactique externe et ceci fait l'objet d'un enseignement apprentissage.

La deuxième flèche transforme les savoirs enseignés. A ce niveau, ils sont conceptualisés par les enseignants en fonction du temps alloué pour chaque contenu. Ces enseignants participent le plus souvent aux formations continues pour améliorer leurs pratiques de classe. Ces savoirs sont inscrits dans les manuels scolaires et dans les programmes d'étude. La confection des manuels scolaires où les savoirs sont définis par niveau d'étude et en fonction des âges. Les activités sont proposées tout en éliminant les parties jugées non indispensables pour les apprenants telles que la biographie des auteurs. Pour Perrenoud (1998), c'est la transformation du programme en contenu ; c'est la transposition interne.

La troisième étape est constituée de la transposition interne qui se passe dans la salle. Le savoir à enseigner est enseigné et sera assimilé par les apprenants. On parle des savoirs appris qui sont l'ensemble des connaissances mobilisées par les élèves. L'élève y trouvera l'intérêt si la méthode pédagogique employée est active ; ceci impliquera la mobilisation du savoir dans l'esprit des élèves.

Les savoirs enseignables transposés en milieu scolaire dérivent des savoirs savants. Pour parvenir aux savoirs scolaires, il faut une réorganisation et ceci nécessite un parcours significatif. Plusieurs facteurs peuvent influencer ce parcours, notamment la stratégie pédagogique utilisée par l'enseignant et les conceptions erronées des élèves. Boilevin (2012) a signifié l'inaccessibilité du savoir si la transposition est mal faite. Une mauvaise transposition du savoir par les enseignants déroutent la pensée de toute une génération pourtant les normes de la société sont établies par cette génération. « Les résultats scolaires catastrophiques actuels ne sont que des prédicteurs de la qualité des hommes et des femmes appelés à gérer la société de demain » (Tsafack, 1998, p.49). Plus loin, il affirme que « C'est pourquoi, toute négligence ou marginalisation de l'instruction et de l'éducation de la jeunesse est un manquement grave pouvant retarder pour longtemps l'évolution d'un peuple et d'une nation » (p.59). C'est ainsi que, pour Hugo, quand on enseigne bien un enfant, on a gagné un homme.

➤ **Comment faire pour réussir une transposition didactique ?**

Selon Astolfi et *al.* (2008), on distingue quelques règles à respecter :

- Une vision continue du contenu disciplinaire pour le construire ;

- L'établissement du lien entre l'ancien savoir et le nouveau grâce aux savoirs réorganisés afin de préserver leur continuité ;
- La conception des activités pratiques en fonction du savoir à enseigner ;
- Un enseignement efficace qui aide à prévoir les conceptions des élèves.

Le passage d'un savoir à un autre se fait à travers un triage bien déterminé. La TD externe a lieu hors de la salle de classe par des personnes qui méditent sur les contenus scolaire (les inspecteurs nationaux, les universitaires, les experts en éducation, les chefs de service de l'éducation). Toutefois, les trois savoirs doivent être proches pour éviter le dévouement (Chevallard, 1985). En outre, le savoir enseigné et le savoir à enseigner peuvent s'éloigner du savoir savant dans la mesure où les savoirs savants évoluent. Á ce titre, l'enseignant doit être suffisamment cultivé en sciences afin de mettre ses connaissances à jour ; Bachelard (1938) a parlé d'un savoir enseigné vieux pour un enseignant qui dispense un contenu déjà évolué.

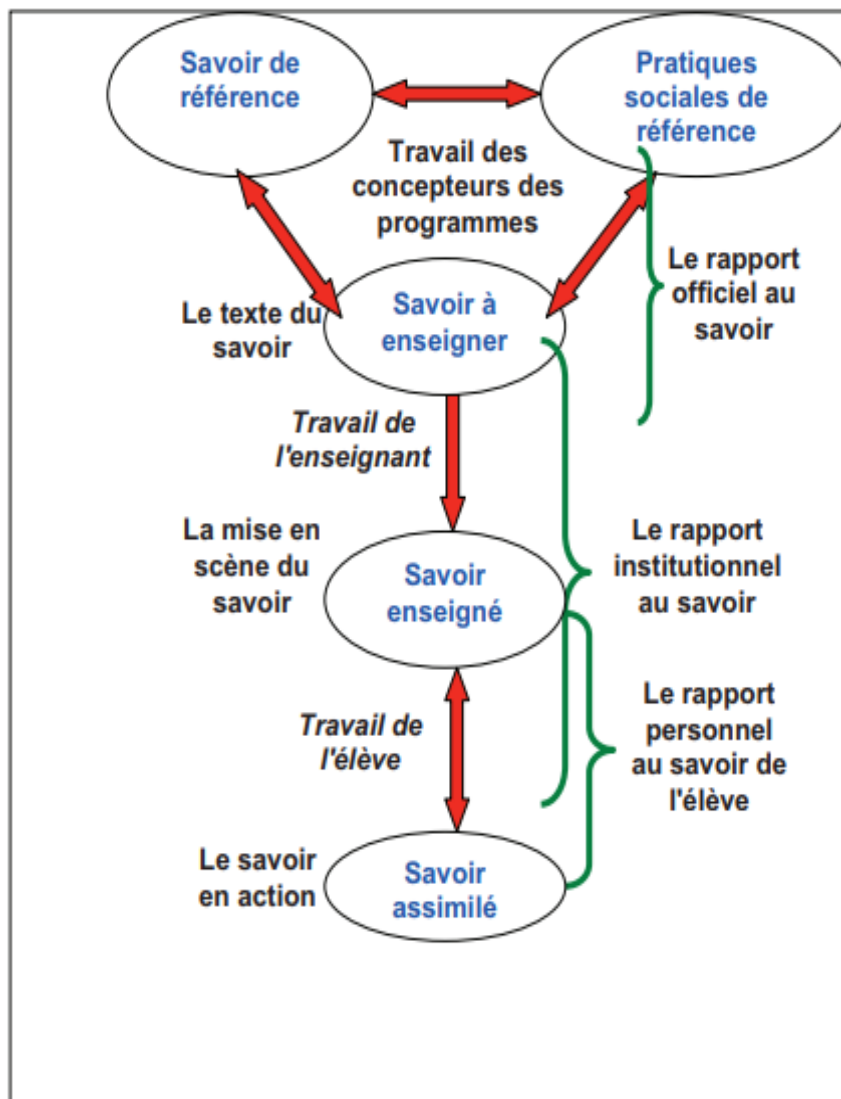
Au vu de ce qui précède, nous pouvons dire que ces savoirs sont différents des savoirs savants car « ils n'ont ni la même origine, ni la même fonction, ni la même destination » (clerc & *al.*, 2006, p.2). Précisons que tous sont issus du savoir savant. Le rôle saillant de l'enseignant est de trouver une approche appropriée pour faire passer son message : « l'une des préoccupations de la didactique consiste à étudier les conditions de la TD, ses contraintes, les écueils à éviter, les précautions à prendre pour que le savoir enseigné ne rende pas impossible le passage ultérieur au savoir savant » (Clerc & *al.*, 2006, p.6). En dehors du savoir savant, il faut aussi mettre un accent sur les pratiques sociales de référence qui est une étape cruciale dans le processus de la transposition.

1.2.3. Les pratiques sociales de référence (PSR)

Les savoirs savants ne constituent pas uniquement le cadre de référence pour la TD c'est ainsi que Martinand, (1986) dans son ouvrage intitulé « connaître et transformer la matière », a pris en compte les pratiques sociales de référence qui désigne « l'ensemble des activités sociales (vécues, connues ou imaginées) qui vont servir de référence pour construire les savoirs à enseigner et des savoirs enseignés » (clerc & *al.*, 2006). C'est pour davantage faciliter l'acquisition du savoir chez l'apprenant comme la prise en compte de l'environnement dans la pratique de classe. La PSR amène l'apprenant à s'intéresser à ce qu'il apprend. La figure suivante de la transposition prend en compte ces pratiques sociales de référence.

Figure 16

Schéma complet des différentes étapes de la transposition didactique (Ouetatani, 2009)



La PSR a permis de mettre sur pied les outils didactiques de référence. Le savoir scolaire ou à enseigner est un savoir difficile car il est conditionné. Il ne dépend pas seulement du savoir savant ou du programme officiel mais aussi de la relation entre élève-enseignant, du temps alloué, du milieu dans lequel il est enseigné, de la culture, de la concentration et du capital économique. Ces paramètres favorisent un apprentissage meilleur.

1.3. Qu'est que l'apprentissage ?

« De façon Générale, l'apprentissage est le fait d'apprendre, l'état d'un apprenti... L'apprenti est celui qui apprend ou qui découvre quelque chose. » (Aime, 2022, p.3). On peut donc définir l'apprentissage comme étant un processus d'activités menées en vue de

s'approprier une connaissance ou une compétence. Dans notre cas précis, nous parlerons d'un apprentissage formel en ce sens où il se déroule dans un cadre institutionnel.

Selon (Cordier et *al.*, 1990 cité par Aime, 2022), la forme d'apprentissage la plus appropriée est l'apprentissage par action dans la mesure où il vise l'acquisition « du savoir, du savoir-faire ou du savoir-être ». L'élève est confronté à une tâche pour laquelle il n'a pas immédiatement la solution ; il doit à cet effet émettre des hypothèses, les tester afin de prendre une décision finale. Cette forme d'apprentissage, dépend de certains facteurs comme « la répétition, qui favorise l'apprentissage et le feedback qui permet à l'apprenant de se rendre compte s'il approche ou atteint l'objectif » (Aime, 2022, p.4). L'apprentissage est une procédure conduisant à une évolution des performances à la suite d'une activité ou d'une expérience. La nature de cette performance peut être observée au niveau du savoir-être lié au comportement et au niveau du savoir et savoir-faire. Ces deux savoirs sont liés à la connaissance et c'est à travers cet apprentissage que l'apprenant adopte une bonne vision sur l'interprétation des phénomènes. Pour aboutir à un bon apprentissage, il faut d'abord sélectionner l'information, l'acquérir, la traiter afin de l'intégrer pour en faire une connaissance objective. Depuis une décennie, les chercheurs s'interrogent sur le processus d'apprentissage des apprenants et sur les stratégies employées pour surmonter les difficultés liées à l'apprentissage. Ces interrogations vont aboutir à la mise sur pied de plusieurs théories d'apprentissage dont nous allons développer quelques-unes dans cette partie.

Steve et ses collaborateurs ont développé les phases du processus d'un bon apprentissage qui sont :

– **La phase d'acquisition**

C'est la distance parcourue par l'information de la perception, mémoire sensorielle à la compréhension. L'enseignant doit bien structurer sa séquence pour permettre à l'élève de saisir l'information. L'apprentissage consiste à inhiber les conceptions alternatives jusqu'à l'intégration du nouveau contenu : « Apprendre implique de faire des liens entre les connaissances nouvelles et les connaissances antérieures emmagasinées dans la mémoire à long terme de l'élève ... » (Steve & Mario, 2005, p. 318).

– **La phase d'intégration**

Cette phase nécessite la création d'une trace qui sera conservée dans la mémoire à long terme ; si l'enseignement est efficace, il y'aura une coexistence entre les connaissances

anciennes et les nouvelles avec prédominance des connaissances nouvelles. Si l'enseignement est traditionnel, la connaissance ancienne va résister au changement.

Pour faciliter cette création, Steve et Mario (2005) proposent trois procédés à savoir « l'objectivation, la consolidation, le réinvestissement ». Pour eux, « l'objectivation » consiste pour l'enseignement, à extraire les concepts essentiels dans sa séquence. Pour y parvenir, l'enseignant doit procéder par un questionnement qui permettra aux apprenants de prendre conscience sur ce qu'il faut retenir. C'est à travers le procédé d'objectivation que l'élève peut se souvenir de ce qu'il a appris et par la suite, il faut consolider les connaissances par les activités de réinvestissement et les révisions fréquentes. À cet effet, l'enseignant a le devoir de proposer des situations concrètes car apprendre c'est poursuivre la réponse d'un questionnement. Cet apprentissage est souvent influencé par plusieurs facteurs.

1.3.1. Les facteurs qui influencent l'apprentissage

L'apprentissage peut être influencé par plusieurs facteurs car chaque apprenant a une histoire qui lui est propre. Pour cette raison, on peut observer une variation sur le style d'apprentissage :

- Facteur lié à la distraction qui peut détourner l'attention de l'élève sur le problème à étudier ; les réseaux sociaux constituent le facteur de distraction le plus dangereux pour les apprenants. En effet, beaucoup n'y vont pas pour mener une recherche, mais simplement pour se distraire. Aussi, l'ambiance de classe peut contribuer à la distraction ;
- Facteur lié à l'environnement familial qui est à prendre très au sérieux. En effet, quand toutes les conditions familiales ne sont pas réunies, l'apprentissage est bafoué car le manuel scolaire, l'orientation parentale, le bien-être de l'apprenant et les conflits parentaux impactent négativement sur l'apprentissage de l'élève. Ces conflits sont parfois à l'origine du stress et du manque de soutien ;
- Relation entre l'élève et l'enseignant : la qualité de relation peut influencer sur l'apprentissage ;
- Nature du programme : quand les contenus sont mal transposés, l'apprentissage est affecté et les conceptions sont multipliées ;
- Disposition cognitive ;
- Question d'habitude ;
- Mémoire à court terme : on oublie des choses avec le temps ;

- Contrainte du contexte/e-learning ;
- Fatigue.

En réalité, la clé du succès réside au niveau de l'application des méthodes d'apprentissage. Pour surmonter ces obstacles, François Michel a proposé 7 profils d'apprentissage regroupés en trois niveaux que le schéma du paragraphe suivant résume.

➤ **Les différents profils d'apprentissage**

Michel (2005), dans son ouvrage intitulé « Les sept profils d'apprentissage » raconte sa petite histoire introductive. À partir de cette histoire, il pose une question : « je profitais de cette opportunité pour savoir pourquoi certains élèves ont des difficultés à apprendre et à se motiver alors que d'autres font preuve d'une relative facilité » (Michel, 2005, p.5). Cette préoccupation semble être universelle pour tous les chercheurs en didactique. Dans une salle de classe, les élèves réagissent différemment, certains ont souvent la latitude d'exprimer leurs opinions et poser leurs difficultés face à une situation tandis que d'autres non car ils manifestent la peur et pour couvrir cette peur, ils diront qu'ils ont compris. Parmi ceux-ci, une autre catégorie se penchera sur d'autres circonstances d'apprentissage telles que les cours de soutien pour justifier leur abstinence. C'est pour cela que l'enseignant doit connaître son public et la stratégie d'apprentissage de ses élèves afin de repérer leurs difficultés pour pouvoir adapter une méthode d'enseignement active. Un élève cancre peut subir des transformations pour devenir intelligent au moyen de la stratégie d'apprentissage, c'est-à-dire savoir comment apprendre et à quel moment le faire. C'est pour cette raison que dans une salle de classe, on a les élèves surdoués, les élèves intelligents, les apprenants moyens, les élèves faibles et les élèves nuls ; tout dépend de la façon dont chacun apprend. Nous présentons ici le témoignage d'Albert Einstein.

Pour reprendre mon passé de lycéen, mon professeur de biologie m'avait montré, de la même façon qu'il était important pour moi de comprendre le « pourquoi des choses », qu'il était inutile de prendre les notes si je n'étais pas à 100% sûr de comprendre ce que j'écrivais. Il me conseilla plutôt de bien écouter en cours, de ne pas hésiter à l'interrompre sur quoi que ce soit si ce n'était pas clair. À la maison, je devais passer mon temps à décortiquer le cours pour connaître l'origine des choses. Par exemple, pour une formule mathématique, plutôt de l'apprendre aveuglement par cœur, mon travail était d'en comprendre l'esprit, de savoir pourquoi elle était écrite de cette façon. Il ne tiendrait pas non plus compte des devoirs que je n'avais pas pu finir du fait de ces petits exercices supplémentaires. Il s'était entendu avec mon professeur de physique qui employa le même procédé avec moi et le résultat fut assez

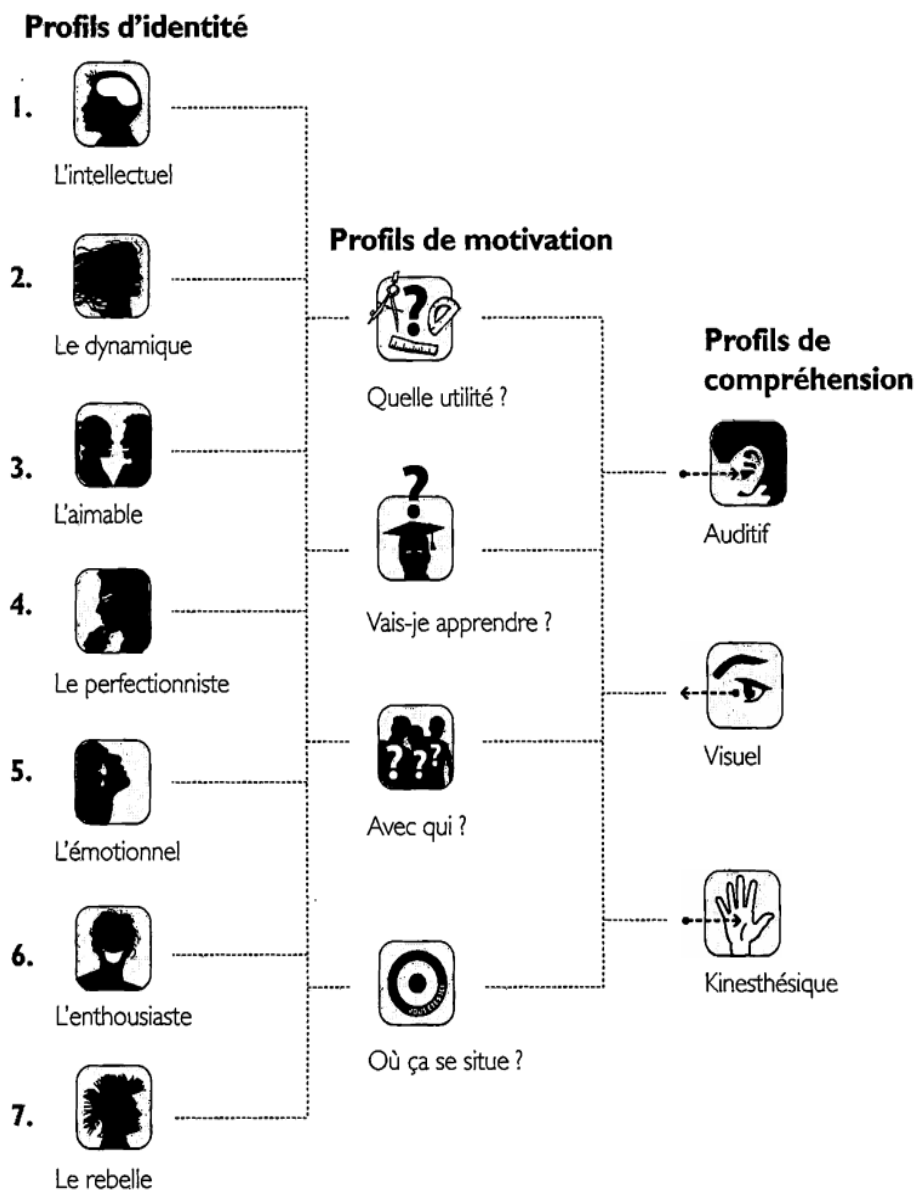
spectaculaire. Ma seconde année en terminale fut le moment de ma scolarité où j'ai eu pour la première fois un réel plaisir à apprendre et à me rendre tous les matins au lycée. Pour le bac je n'ai jamais appris par cœur la moindre formule de mathématiques ni la moindre loi physique. Et c'est de cette façon que je suis passé du statut de cancre à celui d'élève brillant. Quel changement ! Mais les choses auraient été beaucoup plus faciles pour moi si j'avais compris cela plus tôt dans ma scolarité.(Michel, 2005, p.14)

C'est une histoire assez marquante que chaque enseignant a déjà vécu au moins une fois dans sa salle de classe.

Les sept profils développés par François Michel qui mettent en exergue le comportement de l'apprenant sont présentés sur la figure suivante.

Figure 17

Les 7 profils d'apprentissage (Michel, 2005 p.28)



➤ **Niveau1 : Les profils d'identité (la compulsion)**

La compulsion est « une force intérieure irrésistible poussant le sujet à accomplir une action même s'il la désapprouve, la non-exécution étant génératrice d'angoisse » (Michel, 2005, p. 29). Il s'agit pour un apprenant de cultiver le surpassement, l'esprit d'une réflexion poussée pour toujours être meilleur parfois dans l'inconscience ou dans le souci de faire un travail parfait. Pour y parvenir, il doit multiplier les efforts, approfondir la réflexion et éviter de faire les erreurs. On en dénombre 7 :

- Le perfectionniste : il consiste à réaliser correctement la tâche qui est confiée et il intègre l'innovation dans le but d'occuper la première place ;
- L'intellectuel : il insiste sur l'amour d'apprendre, intègre l'envie du travail et présente le caractère d'un bon apprenant ;
- Le rebelle : afin d'éviter l'angoisse qui le mettra dans un état de colère, il cherche à couvrir sa faiblesse. Ce profil ne cadre pas avec ceux d'un bon apprenant. Par ailleurs un apprenant rebelle est un mauvais apprenant ;
- Le dynamique : l'apprenant cultive le sens d'agir rapidement même si la réponse n'est pas correcte mais il n'est pas forcément un bon apprenant ;
- L'aimable : l'apprenant, dans le souci d'avoir une bonne image devant ses parents, émet des efforts pour bien travailler ;
- L'émotionnel : l'esprit créatif est favorisé, les émotions sont en marche ;
- L'enthousiaste : il a la capacité de percevoir un savoir positif.

➤ Niveau 2 : Les profils de motivation

C'est un profil crucial dans le processus d'apprentissage selon Michel (2005) : « il faut ajouter un élément fondamental qui conditionne toute réussite en situation d'apprentissage. C'est la motivation » (p.33). La motivation en soi est un facteur important dans le processus d'apprentissage qui fait appel au développement d'une bonne stratégie d'apprentissage ; l'apprenant est plus impliqué sur la tâche à étudier.

Il a identifié quatre éléments qui soutiennent le profil de motivation :

- L'utilité d'apprendre : l'apprenant est motivé si le cours est utile et cette utilité dépend du degré de compréhension ; un cours fluide, bien transposé est bien perçu par les apprenants. Quand il s'agit des concepts abstraits comme la mole en chimie, si l'enseignant ne rend pas le cours digeste, la motivation ne sera pas observée et les apprenants pourront développer une attitude de rejet, encore plus si les apprenants réalisent que ce concept ne leur sert à rien dans la vie. Nous suggérons aux enseignants de toujours faire un bref aperçu sur l'utilité de chaque concept dans la vie courante avant de l'aborder ;
- Le questionnement sur « apprendre » : le processus d'apprentissage ici est basé sur la curiosité d'esprit, l'apprenant est impressionné sur le fait d'apprendre un savoir. De ce fait, il trouve de l'importance à poursuivre les études même au Supérieur. L'apprenant qui possède ce profil ne se décourage pas ;

- L'intervention de l'enseignant : un apprenant qui possède ce profil éprouve l'amour d'une discipline si le travail nécessite l'apport de l'enseignant, « une personne dotée de ce profil pourra aimer une matière ou un sujet et se mettre à travailler grâce à son enseignant qu'elle apprécie » (Michel, 2005, p.35). En revanche, l'apprenant peut ne pas aimer la discipline parce que l'enseignant est détesté. Nous comprenons que la personnalité d'un enseignant peut influencer sur l'apprentissage car elle inculque la confiance en soi qui est une qualité essentielle qui permet à une personne de croire en ses capacités et en son potentiel pour surmonter les défis liés à l'apprentissage ;
- L'appropriation du programme d'étude : avant tout enseignement, l'enseignant doit au préalable dérouler le programme ou le plan du cours. L'apprenant qui apprend doit savoir où il va et où il se situe.

Voici l'exemple d'un élève qui manifeste le profil d'identité et de motivation lors d'une enquête menée par François Michel.

Qu'en est-il ? Nous avons vu qu'il est de profil d'identité perfectionniste. Il a horreur de se tromper. Maintenant qu'est ce qui le motive à apprendre ? C'est d'abord de savoir à quoi sert concrètement ce qu'on lui enseigne. Éric est donc de profil de motivation « Quelle en est utilité ? » D'ailleurs, Éric aime beaucoup plus étudier et faire des efforts pour travailler qu'auparavant et la connaissance de son profil de motivation permet de comprendre pourquoi sa formation par alternance lui convient bien. Cependant, tout n'est pas parfait car il est encore un peu perdu dans certains cours, comme par exemple en économie et cela se comprend aisément. Comme M. Rivière est de profil de motivation principal « vais-je apprendre ? », il fait souvent recours à l'actualité, ce qui rend ses interventions très complètes. Mais pour Éric, celles-ci seraient tellement plus passionnantes et motivantes si M. Rivière passait plus de temps à expliquer à quoi telle ou telle théorie est utile dans la pratique, notamment dans le monde du travail et de l'entreprise. Bien-sûr il lui en a déjà fait la remarque et M. Rivière a écouté avec attention (normal, pour un profil d'identité aimable). Mais voilà qu'il recommence à inonder le groupe d'informations générales. Éric est perplexe : « Mais je lui ai dit que j'avais besoin de savoir à quoi servent toutes ses théories. M'a-t-il vraiment écouté ? A-t-il fait semblant ? Se moque-t-il de moi ? C'est là que commence le malentendu entre Éric et M. Rivière. (Michel, 2005, p. 37)

Ce témoignage nous interpelle sur notre métier d'enseignant à prendre conscience sur le rôle à jouer.

➤ Niveau 3 : Profil de compréhension

Ce profil s'attarde sur le processus par lequel les informations sont enregistrées. On distingue :

- Le visuel : pour comprendre il faut d'abord voir et, c'est ainsi que, grâce à cette vision on peut différencier les couleurs, les schémas, les images, lire un texte. Ce profil est adapté pour des apprenants du e-learning, les sourds ;
- L'auditif : l'apprenant doit écouter avant d'agir. L'expérimentation est adaptée pour des apprenants dotés de ce profil ;
- Le kinesthésique : c'est un profil réservé aux apprenants qui présentent régulièrement des échecs scolaires, en ce sens où la compréhension s'accompagne du ressenti. Alors, s'il est difficile de ressentir une information, l'apprentissage sera tout aussi difficile pour ces apprenants. Notons que tout le monde est doté de ces trois sens, mais le cerveau privilégie un canal par lequel les informations sont enregistrées.

1.3.2. Comment prendre en compte les profils d'apprentissage pour un bon enseignement ?

Pour un bon enseignement, il faut mettre en œuvre les profils d'apprentissage et pour cela, il faut d'abord réaliser que chaque apprenant a sa façon d'apprendre. Notons également que plusieurs apprenants ne savent pas comment ils apprennent c'est l'une des causes des difficultés des enseignants. « Que se passe-t-il pour les élèves, pour les stagiaires en formation qui connaissent leur profil d'apprentissage ? Ils auront avant tout une perception bien différente de ce qu'ils doivent apprendre ». (Michel, 2005, p.80). Nous pensons que dans le cas où l'apprenant l'ignore, l'enseignant peut lui venir en aide. Chaque enseignant a sa stratégie d'enseignement qui peut influencer sur le style d'apprentissage. Pour cela, chaque enseignant doit d'abord connaître son profil d'apprentissage. « La méconnaissance de la façon dont on apprend soi-même et de celle des autres conduit à des malentendus, à des incompréhensions dans le rapport enseignants-étudiants » (Michel, 2005, p.82). Le mauvais passage de la communication entraîne le mauvais passage du message car il devient difficile voire impossible d'engager une discussion cognitive avec l'enseignant. Pour illustrer ce malentendu, il reprend le cas de l'apprenant Éric.

Pour Éric, ce cours est trop long et il a besoin de temps pour « digérer l'information », pour l'intégrer véritablement (profil de compréhension « kinesthésique »). Bien sûr il pourrait travailler davantage chez lui mais parfois il se sent fatigué et préfère

sortir ou se distraire. Par contre, il a beaucoup de mal à se motiver pour des matières comme les mathématiques ou le français ; il est d'avantage intéressé et motivé par sa période d'alternance en entreprise. Il ne comprend pas à quoi ces matières pourraient bien lui servir (profil de motivation « Á quoi ça sert ... »). Ses résultats en cours deviennent franchement médiocres, Éric se sent perdu et confus, il perd confiance en lui-même et commence à croire qu'il est mauvais, qu'il n'est pas fait pour les études. La spirale de l'échec se met en place. (Michel, 2005, p.83)

L'enseignant est appelé à prendre conscience de la vitesse lorsqu'il est en situation d'enseignement ; il est facile pour l'enseignant d'identifier les difficultés des élèves et de trouver facilement des solutions de remédiation. Le devoir de l'enseignant est d'amener les apprenants à exposer leur profil pour en prendre compte, surtout les apprenants en difficulté. Pour y parvenir, l'enseignant doit instaurer le dialogue entre lui et les apprenants dans le but de mettre en lumière leurs difficultés. En dehors du dialogue, l'enseignant peut se baser sur ses profils personnels afin de faire une analogie comme le signale François Michel « Il est préférable pour l'enseignant d'utiliser sa connaissance des profils d'apprentissage pour mieux évaluer la situation et avoir une perception plus positive de la réalité » (Michel, 2005, p.100).

Connaître le profil est important en ce sens où il constitue un outil pour l'enseignant pour comprendre les difficultés des élèves car l'essentiel n'est pas seulement de les connaître mais de les mettre en application. En dehors de ces profils d'apprentissage, on peut aussi citer d'autres facteurs qui favorisent le processus d'apprentissage :

- La méthode de transposition employée : elle contribue à l'activation de la motivation, de la concentration et de l'écoute ; l'apprenant est plus attentif et ça favorise la prise de notes individuelles et l'appréciation encourage l'apprenant à fournir d'effort ;
- Le sens de la curiosité ;
- L'environnement : c'est un facteur clé qui doit être sain et aéré. L'apprentissage réussit dans un environnement spécialisé. « Apprendre signifie non seulement modifier son comportement, mais aussi et surtout, changer la signification que l'on donne à son expérience » (chevriers et al., 2000, p.5).
- L'intégration de la compétence et de la qualification de l'enseignant par l'apprenant, celui-ci est motivé et s'intéresse davantage à la discipline ;
- L'apprentissage avec les pairs : c'est un facteur qui implique la réduction du stress et de l'anxiété chez certains apprenants et qui stimule le débat au sein du groupe dans le but de partager les idées.

La non prise en compte de ces profils peut développer les conceptions alternatives que nous présenterons dans le prochain paragraphe.

1.4. Les conceptions alternatives

Les élèves possèdent des connaissances préalables avant tout enseignement. Pour Piaget, les élèves ont des prérequis grâce aux expériences vécues. C'est ce qui a motivé les didacticiens à s'intéresser aux conceptions des élèves comme un élément requis dans le processus de l'enseignement apprentissage. L'enseignant devra s'appuyer sur les idées des élèves pour mettre sur pied une stratégie pédagogique efficace. Ces conceptions sont plus diversifiées dans le domaine des sciences puisqu'elles se prêtent à des phénomènes naturels et des modèles. « Les progrès technologiques font que la demande en personnes qualifiées dans le domaine des sciences s'accroît » (Ayrinhac & Bru, 2019, p.4). Le manque de la main d'œuvre qualifiée peut entraver le développement socioéconomique comme l'ont signalé Giordan et Gireault (1987). Avec la résistance des conceptions chez les apprenants, il est difficile d'atteindre les objectifs escomptés.

1.4.1. Définition

Les conceptions sont des idées explicatives que possède chaque individu pour mieux comprendre son environnement. Ces idées sont construites dès le premier âge où l'enfant a une vision sur tout ce qu'il voit. Cette vision lui permet d'interpréter les phénomènes. Les éléments qui favorisent cette interprétation constituent un cadre de référence où l'enfant puise les réponses face à un problème posé. Ce sont ces premières idées que les élèves utilisent lorsqu'ils sont en face d'une situation problème (Ayrinhac & Bru, 2019).

À l'âge de la scolarisation, la mémoire de l'enfant possède déjà de nombreuses idées. Pour Astolfi et Peterfaivi (1993), les conceptions sont des représentations des idées préconçues que l'on a sur un fait ou un sujet dans un contexte particulier. Selon eux, les idées préconçues sur un objet dépendent de la nature de cet objet. Notons que ces idées sont souvent ordonnées et cohérentes. Toutefois, elles ne répondent pas à la théorie scientifique. Les conceptions sont « un ensemble d'idées coordonnées et d'images mentales cohérentes que chaque individu s'est construit pour expliquer le monde qu'il voit, qu'il ressent, qu'il sent » (Morin, 2016, p. 7). Elles privent l'enfant de sa logique et constituent une barrière pour l'accès à la nouvelle connaissance. « Tant qu'elles sont fonctionnelles, elles sont efficaces et garderont leur statut » (Morin, 2016, p. 19). Quand l'élève croit à son raisonnement, il ne voit pas l'intérêt du nouveau savoir à acquérir et, par conséquent, l'objectif sera compromis.

Autrement dit, les conceptions sont des représentations internes des apprenants lorsqu'ils sont confrontés à un concept scientifique (Treagust & Duit, 2008).

Les auteurs utilisent plusieurs appellations pour qualifier le mot conception : conceptions alternatives, conceptions initiales, conceptions non scientifiques, conceptions erronées, conceptions intuitives ; en psychologie on utilise plutôt le terme représentation. Certains auteurs estiment que conception et représentation sont des termes synonymes. Par contre, Reverdy (2018) pense que les conceptions sont individuelles alors que les représentations sont des idées collectives. Ces conceptions sont alternatives lorsqu'elles constituent une connaissance propositionnelle, différente de la connaissance que la science donne au concept. Elles peuvent en outre être incompatibles avec la signification que la science donne du concept (Driver & Easley, 1978). Dans tous les cas de figure, les idées de tous ces auteurs convergent vers un point commun (Viennot, 2008). De Vecchi et Giordan (1989) pensent « qu'il est difficile de parler de conceptions fausses ou vraies, ils préfèrent à cela l'idée de champ de validité d'une conception. L'enseignant pourra conserver cette dernière acceptation tant qu'elle permettra la compréhension des phénomènes et tant qu'elle sera adaptée aux prévisions à la portée des élèves » p.170. Pour eux, il s'agit d'accepter d'abord le mot conception. C'est pour cela que, dans le cadre de cette recherche, nous allons considérer les deux appellations conceptions alternatives et conceptions erronées. Plusieurs auteurs dans leurs travaux utilisent souvent le terme alternative conception puis qu'il est répandu (Cormier, 2014).

Ces conceptions peuvent perdurer même après un enseignement, surtout quand le message n'est pas passé. Au vu de ce qui précède, nous pouvons dire que les conceptions sont des idées préconçues ou préexistantes intégrées dans la mémoire non seulement pour interpréter les phénomènes physiques, mais aussi pour agir sur un contenu vu antérieurement. Ces idées impactent négativement sur le nouveau savoir à construire. Certains auteurs pensent plutôt que ce sont des représentations internes des apprenants à propos d'un concept, plus précisément en science (Cormier, 2014 ; Treagust & Duit, 2008). D'autres auteurs se préoccupent plutôt du fondement de ces conceptions.

1.4.2. Origine des conceptions alternative et leurs résistances au changement

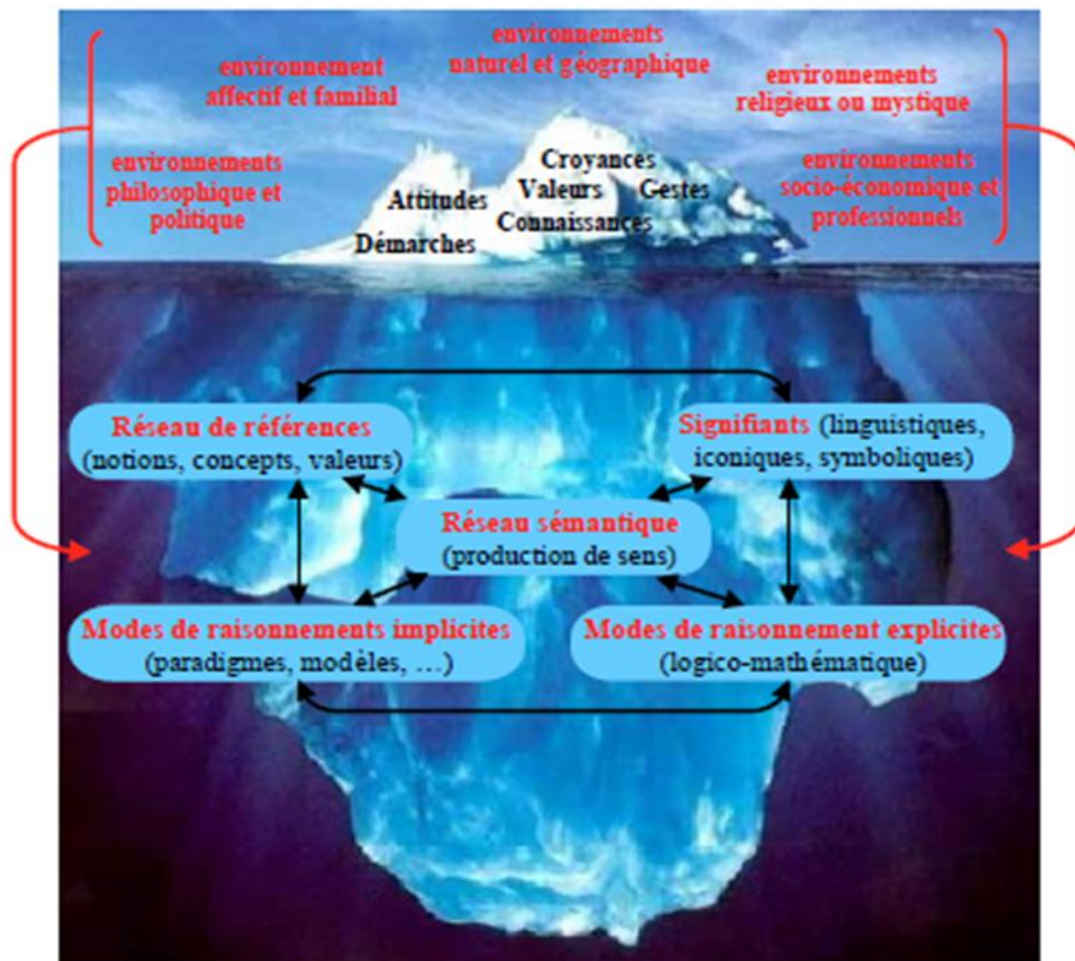
Chaque individu possède ses propres conceptions. C'est pour cette raison qu'on a une multitude des conceptions. Elles dépendent du milieu dans lequel chacun vit ou a vécu. L'origine des conceptions est très étendue. Pour Reverdy (2018), les conceptions peuvent

provenir de l'éducation scolaire (les contenus étudiés antérieurement), des croyances religieuses, les documentaires, des sources audiovisuelles. Nous ajoutons à cette liste les réseaux sociaux sur lesquels les élèves passent plus de temps aujourd'hui et la télévision. Les informations récoltées dans les médias et autres sont interprétées soit en fonction du niveau d'étude de chaque enfant, soit en fonction de sa culture. C'est ainsi que les règles sont formulées. Les conceptions peuvent également provenir de l'environnement comme le dit Chalmer: « La connaissance n'est pas construite à partir de rien par des individus isolés. Nous naissons tous dans un environnement épistémologique où existent déjà de nombreuses connaissances et diverses méthodes pour les produire, les étendre et les améliorer. » (Chalmer, 1987, p. 49). Cet environnement peut avoir un impact sur le mode de raisonnement. Il est vrai que certaines théories prennent en compte l'environnement dans l'acquisition du savoir que nous développerons dans le cadre théorique. Pour certains auteurs, les différentes sources où les apprenants puisent leurs conceptions alternatives sont situées dans l'enseignement et les manuels scolaires (Teber & *al.*, 2002). Pour Martinand (1986), les conceptions alternatives trouvent leur origine dans les pratiques sociales de référence surtout quand ils sont familiers avec lesdits concepts.

Les différents points de vue nous rappellent que les conceptions font appel à des modes de raisonnement et sont influencées par les multiples environnements dans lesquels nous vivons. Ces conceptions sont difficilement exprimées de manière explicite. L'iceberg nous présente les multiples environnements pouvant influencer les conceptions sur la figure suivante.

Figure 18

*L'iceberg des conceptions, modelées par les multiples environnements de l'apprenant
(Giordan & Pellaud, 2004, p.49)*



Giordan et Pellaud mettent en exergue la provenance des conceptions et leur influence sur l'apprentissage à travers l'iceberg des conceptions. L'apprenant est situé dans un environnement où il puise les informations pour résoudre les problèmes. Ces informations provenant de son environnement (culturel, historique, géographique, religieux, socio-économique, politique et surtout affectif) influencent sur son raisonnement. On assiste à la création des obstacles à l'appropriation du savoir scientifique. Pour prendre des mesures sévères, l'enseignant doit faire recours à l'aspect environnemental dans le processus enseignement apprentissage. Par rapport à toutes ces interprétations, Giordan pense que la conception n'est pas un produit de la pensée, mais un processus de l'activité mentale (Giordan, 1996).

Plusieurs chercheurs affirment que les conceptions résistent aux apprentissages même avec les leçons déjà enseignées. « Les recherche en psychologie cognitive nous révèlent que

les représentations ont un tel pouvoir explicatif spontané qu'elles deviennent durables et résistent au changement » (Steve & Mario, 2005, p.317). Cette existence met toujours en péril tout apprentissage à franchir comme le dit Steeve : « Elles constituent des obstacles à la compréhension d'une situation d'apprentissage. L'enseignant devra au départ vérifier si les élèves possèdent des connaissances antérieures et si nécessaire, procéder à leur enseignement préalablement à l'apprentissage des connaissances nouvelles » (Steve & Mario, 2005, p.318). Bachelard a qualifié cela d'obstacle épistémologique. Dans l'acte d'apprentissage où les troubles et des lenteurs sont observés, il y a des obstacles épistémologiques (Bachelard, 1934). Pour lui, « La notion d'obstacle épistémologique peut être étudiée dans le développement historique de la pensée scientifique et dans la pratique de l'éducation » (Bachelard, 1938, p.20). Son souci est de prendre en compte cet obstacle dans le secteur de l'éducation qui est encore méconnu. C'est un combat très difficile à mener car la preuve est basée sur la fructification des approches pédagogiques qui naissent tout le temps. Astolfi et *al.* (2008) pensent que l'analyse didactique des conceptions vise à anticiper les obstacles auxquels les apprenants peuvent se heurter pendant leur cursus scolaire.

Pour faire valider un concept par la communauté scientifique, les chercheurs mettent du temps. Quand on fait l'étude épistémologique et historique d'un concept, on comprend la contradiction qui a existé entre eux pour enfin trouver un point de convergence sur le concept donné. Au vu de ce clivage entre ces experts, il serait étonnant qu'en un laps de temps l'apprenant acquiert facilement un savoir. Il faut relever que certains apprenants font évoluer leurs conceptions juste après un enseignement tandis que d'autres, pour la plupart, font évoluer leurs conceptions au niveau supérieur. Une bonne explication ne suffit pas pour faire évoluer les conceptions. L'enseignant ne doit pas être surpris qu'après une leçon, les nouvelles conceptions se forment et s'accumulent sur les anciennes conceptions. Il faut réaliser qu'en chimie, il est difficile de déterminer l'origine des conceptions erronées comme en physique et biologie où les élèves entrent dans la classe avec des idées premières rencontrées dans la vie quotidienne comme le cycle menstruel en biologie (Taber, 2001). Contrairement à la chimie ou plusieurs contenus ne sont découverts qu'après un enseignement.

1.4.3. Les conceptions comme obstacles à l'apprentissage

Un apprenant possédant des conceptions alternatives rencontre toujours des obstacles dans le processus d'apprentissage. Selon Ambomo (2022), une conception est « l'ensemble

des connaissances qu'une personne, à un moment donné et dans une situation donnée, semble mobiliser pour résoudre une tâche » p.120.

Alors que ces connaissances sont alternées avec des informations non conformes à la théorie scientifique, l'élève a le devoir de mettre en cause ce qu'il croit connaître dans le but d'intégrer les informations nouvelles et utiles. Plusieurs recherches dans le domaine de l'enseignement ont montré l'utilité des obstacles dans le processus d'apprentissage. Selon Bachelard (1934), « c'est en termes d'obstacle qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique » (Bachelard, 1934, p.16). Ainsi dans son ouvrage intitulé « la formation de l'esprit scientifique », il présente plusieurs obstacles.

➤ **Obstacle épistémologique**

Pour Bachelard (1934), l'obstacle épistémologique est observé au niveau de la connaissance non questionnée ; il s'agit du développement historique des contenus disciplinaires, c'est-à-dire quand, pourquoi et par comment un contenu disciplinaire a apparu. C'est un obstacle qui s'incruste sur l'aspect évolutif et le fondement d'un concept. C'est une tâche réservée aux épistémologues et non aux historiens. À cet effet, Bachelard précise le rôle de chacun. « L'historien des sciences doit prendre des idées comme des faits. L'épistémologue doit prendre les faits comme des idées, en les insérant dans un système de pensées. Un fait mal interprété par une époque reste un fait pour l'historien, c'est au gré de l'épistémologue un obstacle, c'est une contre-pensée » (Bachelard, 1934, p.20). C'est pour cette raison que la science n'est pas stable car la théorie scientifique est évolutive. Notons que chaque théorie est utile à une époque donnée et il peut arriver que les chercheurs trouvent la limite à ladite théorie et en propose une autre. La plupart des manuels scolaires ne prennent pas en compte l'épistémologie des concepts ; alors, un enseignant qui se focalise uniquement sur ce guide comme seul support risque explorer l'obstacle épistémologique chez les apprenants. C'est le combat mené par Bachelard qui déplore le fait que dans l'enseignement, la notion d'obstacle soit méconnue.

➤ **Obstacle lié à l'expérience première**

Il est considéré comme le premier obstacle. Face à une situation qui nécessite une réflexion, l'apprenant se réfère immédiatement à la première expérience « Nous donnerons de nombreuses preuves de la fragilité des connaissances premières, mais nous tenons tout de suite à nous opposer nettement à cette philosophie facile qui s'appuie sur un sensualisme plus ou moins franc... » (Bachelard, 1943, p.27). Cette première expérience constituera plus tard

une connaissance antérieure où les apprenants se réfèrent pour résoudre un problème. « Les connaissances antérieures constituent la base à laquelle recourent les étudiants dans le processus de construction de nouvelles connaissances » (Tardif, 1997, p.17). Pourtant ces connaissances antérieures n'ont pas le même statut que les connaissances scientifiques (Bachelard, 1938).

La notion d'obstacle s'observe à travers les erreurs, qui sont reproductrices et résistantes. Ces erreurs ont une source de référence ; Brousseau (1983) signale que l'erreur n'est pas seulement liée au hasard, ni à l'ignorance ni à l'incertitude mais aussi aux connaissances anciennes.

➤ **Obstacle didactique**

Un obstacle didactique est la conséquence d'un apprentissage antérieur mal assimilé. Il y a une distance non négligeable entre la connaissance antérieure et celle qu'on veut mettre sur pied ; la distance n'est pas négligeable parce que, pour atteindre la nouvelle connaissance, il faudra déployer une méthode active qui n'est pas si évidente étant donné que la conception est bien installée. Il faut donc considérer tous les contours « ...si les choix pédagogiques de l'enseignant ou du système éducatif sont erronés, ces derniers vont fonctionner comme obstacle à l'apprentissage des nouvelles connaissances et induire l'élève en erreur » (Mamouni, 2016, p.1). Brousseau (1988) met l'importance sur cet obstacle didactique ; pour lui, il est fonction du choix du système éducatif. Une approche non active induit l'apprenant en erreur et crée ainsi les obstacles.

1.4.4. Comment prendre en compte les erreurs ?

Un obstacle ne saurait être évité ou contourné. En 1996, Astolfi dégage six étapes nécessaires pour les intégrer dans l'enseignement :

- Les entendre : il faut écouter patiemment les apprenants, analyser leurs productions et ne pas se focaliser sur les réponses justes des apprenants ;
- Les comprendre : cette étape est basée sur la compréhension des erreurs. Il faut éviter le dénigrement avec les termes comme paresseux, nul, cet élève n'a rien dans la tête ; au contraire, il faut exploiter ses mauvaises réponses pour énoncer les objectifs obstacles ;
- Placer l'élève au centre de la quête de son savoir : cette étape consiste à monter des expériences ou des activités d'apprentissage qui permettront à l'élève de prendre conscience lui-même de ses erreurs. Quand l'apprenant identifie ses

propres conceptions, il est plus facile pour lui de les faire évoluer. C'est pour cette raison qu'un chercheur affirme que :

La capacité à une organisation vigilante du travail en classe suppose que la planification soit un moment essentiel du travail de l'enseignant. Elle suppose également que cette planification ne s'arrête pas à la « préparation des cours ». C'est-à-dire au choix des savoirs que l'enseignant veut transmettre au cours de la leçon, à une réflexion didactique sur leur découpage et leurs modes de présentation aux élèves. Mais il tient aussi à la préparation des « tâches » que les élèves vont accomplir et des conditions matérielles dans lesquelles ils vont les accomplir. (Hervieu, 2019, p.59)

Selon Perrenoud (1998) l'enseignement est considéré comme un acte chargé de la gestion des incertitudes.

- Comparer ses résultats avec les pairs : il est important de comparer les points de vue pour ne pas toujours être figé dans sa position ;
- Instaurer les discussions : lors du débat va naître la notion du conflit sociocognitif ; une notion qui contribue au développement cognitif. Les arguments des uns et des autres sont écoutés avec recours à l'enseignant ;
- Le suivi de leur évolution : c'est une tâche réservée essentiellement à l'enseignant ; c'est la phase de contrôle qui peut être à court ou à long terme.

L'intégration de tous ces éléments dans l'enseignement peut changer le statut d'un élève en difficulté d'apprentissage. « Ce n'est pas parce que l'on a des difficultés à apprendre, que ce soit dans une formation ou en cours que l'on est cancre, ce n'est pas parce que l'on est cancre qu'on le restera toujours » (Michel, 2005, p.11). En d'autres termes, il est possible de changer le statut d'un apprenant. Mais, cela dépend de plusieurs paramètres et le combat des chercheurs en didactique repose sur ces paramètres pour le changement conceptuel.

1.4.5. Le changement conceptuel

« Le changement conceptuel passe souvent par deux grandes stratégies pédagogiques, soit le conflit cognitif (lorsque les étudiants s'aperçoivent que leur conception ne parvient pas à expliquer un phénomène) soit l'approche collaborative (où l'apprentissage se construit à travers la discussion et le travail avec les pairs » (Cormier, 2011, p.52).

Un enseignement est dit efficace si et seulement si les conceptions des apprenants ont évolué. Dans ce cas, on parlera du changement conceptuel. Potvin (2019) dans son ouvrage intitulé « Faire apprendre les sciences et la technologie à l'école », a classé les théories de

changement conceptuel en trois catégories : la théorie de remplacement des conceptions, la théorie de transformation des conceptions et la théorie coexistence des conceptions (Potvin, 2019). Il qualifie les deux premières théories des modèles classiques car chaque catégorie est marquée par une évolution historique.

1.4.5.1. Les modèles de remplacement des conceptions

Les auteurs de ces modèles pensent qu'un enseignant doit avoir atteint son objectif si les conceptions erronées sont totalement remplacées par les connaissances scientifiques. Les plus célèbres sont posner kenneth, stiker hew gertzog en 1982. Ils se sont basés sur les travaux de Kuhn et Piaget pour dire que l'élève doit changer ses conceptions grâce aux processus d'assimilation et d'accommodation (Posner et *al.*,1982). Selon eux, pour qu'il y ait changement conceptuel, la théorie de remplacement des conceptions doit réunir les quatre conditions ci-dessous :

- L'insatisfaction : l'élève doit réaliser que ses conceptions ont des limites et ne peuvent pas lui permettre de résoudre un problème posé ;
- L'intelligibilité : les nouvelles connaissances qu'on cherche à construire doivent se faire d'une manière stratégique, si bien que les apprenants soient capables de comprendre pour éviter l'échec ;
- La plausibilité : les nouvelles conceptions doivent être cohérentes de telle manière que le problème soit résolu avec aisance ;
- La fécondité des nouvelles conceptions : elles doivent être efficaces pour permettre le transfert dans d'autres contextes.

Précisons que ce modèle met au-devant ces quatre contraintes afin de permettre l'accommodation. Ces auteurs pensent également que le changement conceptuel a lieu s'il y'a naissance d'un conflit cognitif ; par exemple si après l'émission d'une hypothèse lors d'une expérience, les résultats sont en contradiction par rapport à l'hypothèse de départ. Le conflit ici crée une insatisfaction et met en cause les conceptions initiales. Le conflit cognitif s'installe quand il y'a une incompatibilité entre les idées initiales et les connaissances scientifiques à construire. Nussbaum et Novick (1982) se penchent également sur le conflit cognitif comme élément central indispensable pour le changement conceptuel. Ils trouvent qu'il est indispensable de faire naître un déséquilibre chez l'élève.

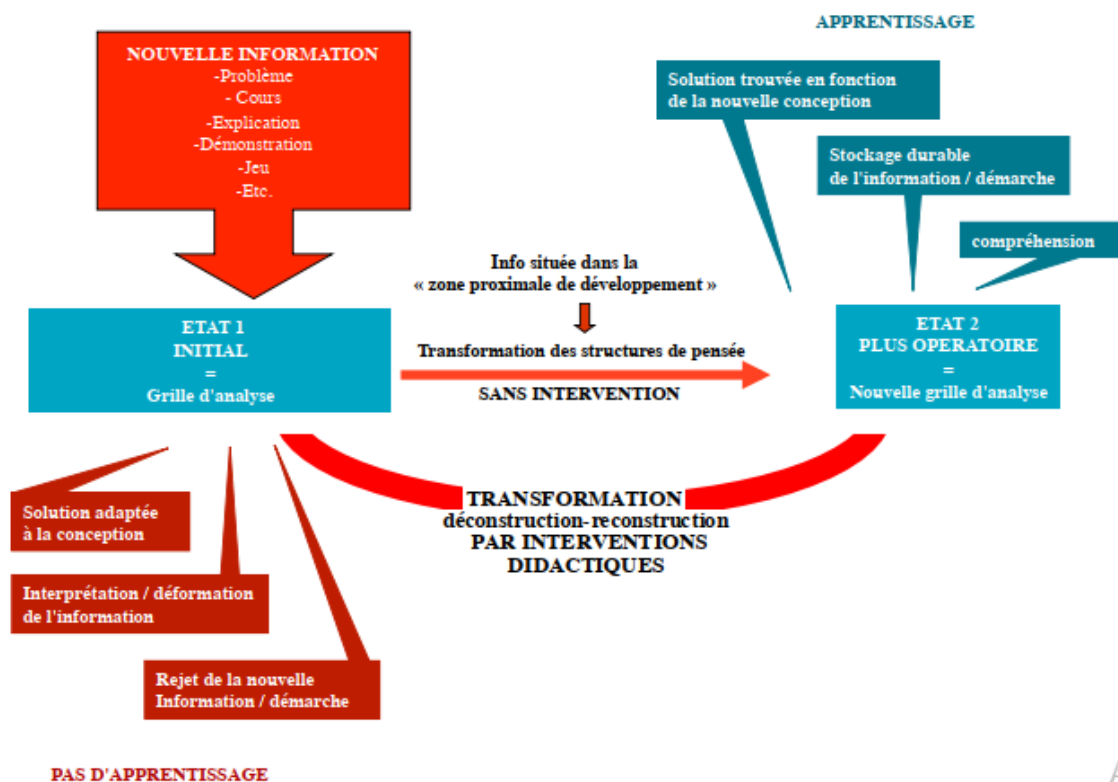
IL faut attendre 1992 pour voir Posner et Strike réviser leur théorie tout en intégrant les aspects affectifs et sociaux estimant que le modèle précédent est trop figé sur la structure cognitive. Cependant, les chercheurs ont montré les limites du conflit cognitif.

1.4.5.2. La théorie classique de transformation des conceptions

Les auteurs de cette théorie se basent sur l'idée selon laquelle le changement conceptuel repose sur la restructuration des conceptions initiales. Ils s'intéressent davantage à l'origine des conceptions. Disessa (1983-2013) estime que les élèves formulent leurs propositions par les idées intuitives, des apparences, des connaissances en pièces ou la fragmentation du savoir appelé p-prims (primitives phénoménologiques). Elle préconise comme solution l'analyse de tous les éléments contenus dans le raisonnement de l'élève tout en identifiant ceux qui sont problématiques afin de les réorganiser. Ainsi, le changement conceptuel est observé par le passage d'un savoir fragmenté (mauvais éléments, bons éléments, mélange de mauvais et bons éléments) à un savoir structuré (élimination des mauvais éléments, maintien des bons éléments, révision du mélange et ajout du manque). Selon elle, les expériences de la vie font que ces p-prims s'accumulent au fil du temps. Pour Vosniadou, les modèles mentaux doivent être révisés par les apprenants pour être remplacés plus tard par les conceptions scientifiques. Il prend l'exemple de la chute d'un objet qui est toujours descendante, c'est un caractère implicite de l'environnement. Giordan et Pellaud (2002) ont soutenu cette thèse en décrivant les étapes de cette transformation sur la figure suivante.

Figure 19

Description du processus de transformation des conceptions (Pellaud & Giordan, 2002 cité par Eastes, 2013, p.76)



Toutefois, certaines recherches montrent que la conception alternative n'est pas transformée, ni détruite mais elle existe toujours même après l'acquisition d'un savoir scientifique : c'est le modèle de la coexistence des conceptions.

1.4.5.3. Le modèle de la coexistence des conceptions : apport des neurosciences

Pour ce modèle, les conceptions initiales existent toujours même après l'intégration des conceptions scientifiques. Les résultats obtenus en neuroscience ont montré que le cerveau doit inhiber les conceptions erronées afin que l'élève fasse appel aux connaissances nouvelles acceptées par la communauté scientifique. Le modèle approprié est celui de la prévalence conceptuelle mise sur pied par Potvin et ses collaborateurs en 2015. Ce modèle prend en compte le développement des réflexes d'inhibition des conceptions erronées et rendre automatique l'utilisation des nouvelles conceptions chez l'apprenant.

Fugelsang & Dunber (2005) ont mené une recherche dans ce domaine et ont montré que l'information est traitée comme une erreur par les apprenants placés en situation de conflit cognitif, ceci à travers les techniques d'imagerie fonctionnelles. Ils vont poursuivre leurs recherches en menant une autre expérience en 2007. Les résultats de cette expérience

vont montrer comment les conceptions alternatives sont toujours présentes même après l'acquisition du nouveau savoir. Le sujet est prompt à activer certaines zones du cerveau pour inhiber ces conceptions erronées et activer d'autres zones pour faire appel aux conceptions scientifiques. Les mêmes résultats sont obtenus par Masson en 2012.

1.4.6. Intérêt des conceptions

Pour l'enseignement, l'intérêt que présentent les conceptions est multidimensionnel. Les conceptions sont une source pour une évaluation diagnostique. Cette évaluation renseigne l'enseignant sur les connaissances que possèdent les apprenants sur le sujet qu'il veut mettre en œuvre. Après avoir identifié ces conceptions, l'enseignant mettra sur pied une stratégie active accompagnée des activités adéquates pour les surmonter vers les connaissances sollicitées. L'enseignant s'appuie sur ces conceptions pour faire l'état des lieux (attitude, degré de réflexion de chaque élève). C'est la phase initiale pour la mobilisation du nouveau savoir. Ce travail en amont est très capital pour l'enseignant et s'il y'a échec à cette étape, les conceptions vont persister et se renforcer. C'est ce que disait Giordan et De Vecchi (1989) : les conceptions erronées ne persistent pas seulement, mais peuvent également se renforcer.

Pour l'apprentissage, l'émergence des conceptions provoquent la motivation chez les élèves et les placent au centre de l'apprentissage. Quand l'apprenant se rend compte que l'enseignant s'intéresse à sa pensée, il se sent valorisé. Elles permettent à l'élève de s'intéresser au cours et de confronter sa pensée à celles de ses pairs afin de prendre conscience des limites de sa vision. Ainsi, il pourra structurer la nouvelle connaissance. À travers ces conceptions, l'apprenant s'auto évalue. Pour Marion (2016), l'élève gagne en développement de ses compétences langagières. Alors, comment peut-on identifier ces conceptions ?

1.4.7. Identification des conceptions : dispositifs appropriés

Le recueil des conceptions constitue une fondation pour un enseignement efficace. Plusieurs outils sont utilisés à cet effet tels que le questionnaire, le dessin, un texte sous forme d'une situation problème contextualisée, une image, l'échange oral ; toutes ces techniques utilisées dépendent de l'âge de l'élève et de son niveau d'étude.

➤ Échange oral

Certains élèves préfèrent l'échange oral pour mieux s'exprimer. On les observe souvent dans les groupes d'exposés ; par contre, les élèves qui ne se font pas confiance ont peur de prendre la parole en public puisqu'ils seront jugés négativement par les pairs. Pour

éviter cet obstacle, plusieurs chercheurs réalisent les entretiens individuels en passant par les enregistrements.

➤ **Par écrit**

Identifier les conceptions par écrit a beaucoup d'intérêt car on peut y revenir à tout moment quand surgit le besoin. L'élève en question peut revoir ses écrits plus tard et mesurer son évolution. Cependant, il existe une catégorie d'élèves qui présentent des difficultés à l'écrit. Ils préfèrent s'abstenir sur certains mots que de dévoiler les fautes orthographiques, ces mots cachés peuvent être les conceptions recherchées. Nous avons le questionnaire qui peut être constitué des questions ouvertes/fermées ou des questions à choix multiples. Plusieurs chercheurs portent souvent leur choix sur les questions ouvertes pour la simple raison qu'elles amènent les élèves à une réflexion profonde. Il faut aussi relever que les questions à choix multiples avec justification sont un outil efficace dans la mesure où le choix n'est pas fait au hasard. Cet outil présente souvent plusieurs réponses et parfois le chercheur exige la justification en une ligne sur le choix fait. C'est une technique efficace qui apporte une solution aux élèves qui ont les difficultés à l'oral et à l'écrit. Il guide davantage la pensée des élèves.

➤ **Par dessin**

Le dessin est utilisé surtout chez les jeunes enfants pour identifier les conceptions et il doit être explicatif. Ils vont observer les images et commenter. Il faut relever que plusieurs techniques peuvent être combinées pour identifier les conceptions et rendre son analyse pertinente et efficace. Ces techniques peuvent aussi varier en fonction de chaque leçon. Quelle que soit la technique utilisée, la consigne est l'élément fondamental. Elle doit être précise, concise et compréhensible. Le vocabulaire utilisé doit être celui correspondant au niveau des élèves. Pour cela, il doit être significatif et scientifique. Le recueil des conceptions doit être individuel pour permettre d'évaluer la pensée de chaque apprenant.

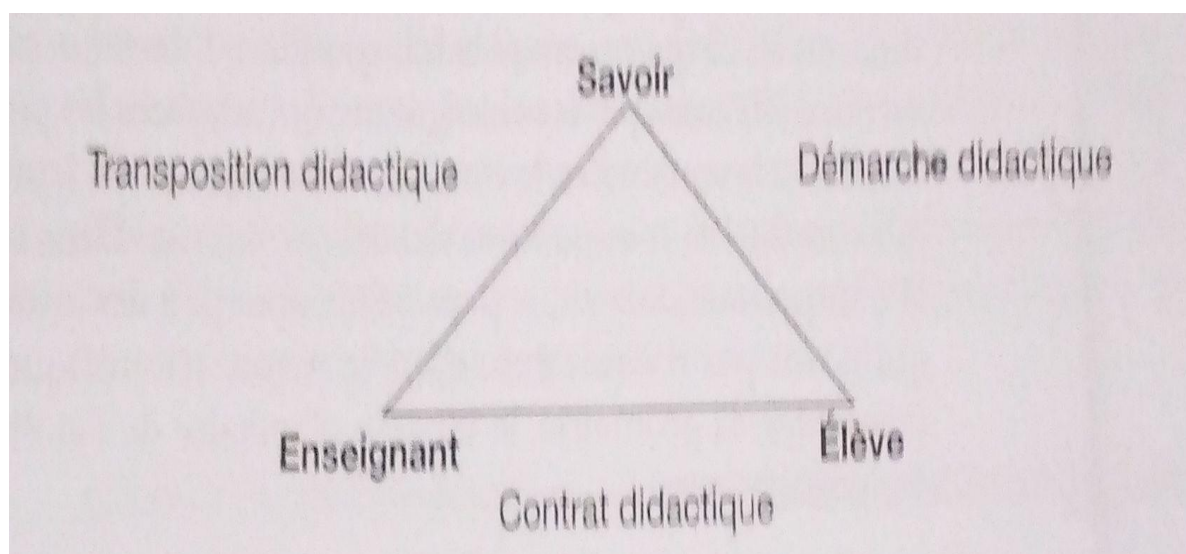
1.4.8. L'analyse des conceptions

Après avoir identifié les conceptions initiales, il faut s'en servir. Comme Astolfi l'a signifié, apprendre consiste à intégrer les connaissances nouvelles. Il est donc important de les analyser et pour ce fait, les grilles d'analyses sont élaborées et variées. Il faut mettre en évidence les obstacles relevés pour rendre digeste la connaissance visée. Elle est adaptée par chaque chercheur en fonction de ses objectifs. Dans la grille on doit retrouver la nature des conceptions et les explications qui en découlent dans certaines grilles, on observe d'un côté

les obstacles épistémologiques, de l'autre côté les obstacles didactiques (Halloun, 2019). N'oublions pas aussi qu'il y'a d'autres conceptions qui n'ont pas d'intérêt didactique par rapport à l'objectif de la recherche. Á cet effet, le choix est porté sur les conceptions utiles et exploitables. Les conceptions erronées qui sont au centre de la recherche en didactique présentent un intérêt tant pour l'enseignant que pour l'élève. Pour avoir un effet significatif, chacun doit jouer son rôle dans la relation tripartite du triangle didactique.

Figure 20

Le triangle didactique¹¹



Le triangle didactique a été développé par Houssaye en 1998 dans le but de trouver le rapport entre les éléments qui constituent ce triangle. Le premier pôle établit le rapport enseignant savoir, l'enseignant est au centre puisque c'est lui qui maîtrise ce qui est digeste pour les apprenants. Le cours doit être bien structuré, convoqué les outils didactiques nécessaires, l'enseignant doit s'intéresser également au contenu du savoir. Si tous ces paramètres ne sont pas réunis, l'apprenant sera buté à un niveau. Dans le contexte camerounais, prenons l'exemple d'un apprenant du niveau quatrième au secondaire du premier cycle où l'enseignant lui demande d'écrire une équation de réaction impliquant les symboles. L'apprenant ne respectera pas la consigne parce qu'elle n'est pas adaptée à son âge. De même, « dans un rapport de laboratoire en chimie, un élève décrit mal une réaction chimique à l'équilibre parce que la notion d'équilibre lui a été présentée de façon purement théorique sans le support concret d'analogies basées sur des manipulations » (Thouin, 2014,

¹¹ <https://dumas.ccsd.fr> : Le triangle didactique pour mieux enseigner.

p.167). Tels sont des exemples qui mettent en péril l'apprentissage quand la relation enseignant-savoir est compromettante.

Le deuxième pôle, qui établit le rapport enseignant-élève, est constitué de deux acteurs et chaque acteur a un rôle déterminant à jouer. Les élèves adaptent la posture d'apprécier les qualités de l'enseignant pour surmonter leurs difficultés. À ce niveau, le contrat didactique doit être ficelé. « Le contrat didactique est l'ensemble implicite des obligations réciproques entre l'enseignant et l'élève. Chacun a des droits et des responsabilités qui ne sont pas clairement énoncés mais qui font partie des rôles de l'enseignant et de l'élève » (Thouin, 2014, p. 22). La réussite des apprenants dépend donc du respect des termes de chaque acteur dans cette relation. La rupture de contrat entraîne un échec scolaire. Thouin (2014) pense que si un enseignant se base sur les réponses habituellement posées lors des examens pour enseigner, il s'expose à une rupture de contrat puisque la construction de la connaissance serait dévalorisée. « Le contrat distribue aussi des rôles différents des uns et des autres dans le traitement d'un objet de savoir donné » (Joshua & Durpin, 1999, p.251).

Le troisième pôle lie le rapport élève-savoir et le processus d'apprentissage est mis en œuvre. L'élève est en autoformation où il acquiert son propre savoir qui peut être le savoir-faire ou le savoir-être, il utilise les outils mis à sa disposition, il expérimente. L'enseignant doit accompagner l'élève à mieux structurer les nouvelles connaissances en s'appuyant sur les échanges entre les pairs, élaborer la méthode de travail conséquente dans laquelle l'élève devra se prononcer sur ses besoins et s'autoévaluer ; l'élève utilise les méthodes proposées. Selon Houssaye (1998), le triangle présente trois pôles mais les deux acteurs constituent vraiment le triangle dans la mesure où l'enseignant et l'apprenant manipulent le même savoir.

Ces trois composantes prennent leur appui sur la relation didactique, la relation pédagogie et la méthode d'enseignement. Si un maillon n'est pas bien installé, on va observer la naissance des difficultés. C'est le cas d'une situation en chimie où pour calculer la concentration massique d'un corps, l'élève procède plutôt au calcul de la concentration molaire parce qu'il n'a pas pris le temps de saisir la consigne qui lui est proposée tout comme un élève qui éprouve les difficultés en lecture ne peut pas interpréter une tâche dans un problème. Thouin (2014) a constaté que « pendant un exposé oral, un élève fait des affirmations identiques à des conceptions alternatives très répandues dans la population » p.167. Nous comprenons que la relation pédagogique, didactique et la méthode d'enseignement ont une étroite liaison.

➤ **La relation didactique**

Dans le triangle de Houssaye (1998), la relation didactique lie l'enseignant au savoir. L'enseignant adopte une méthode active basée sur la présentation du contenu de manière structurée et facilement assimilable par les apprenants et doit multiplier les techniques pour atteindre les objectifs fixés.

➤ **Le chemin pédagogique**

Il concerne l'enseignant et l'apprenant. L'enseignant doit s'adapter aux apprenants en termes de choix de ressources pour favoriser la construction de la connaissance, en faisant recours sur le programme officiel, le manuel scolaire, le projet pédagogique, la progression, la fiche de préparation de leçon.

➤ **Les stratégies d'apprentissages**

L'apprentissage concerne l'apprenant et le savoir. La relation entre l'élève et le savoir trouve sa source dans la prise en compte de sept profils d'apprentissage que nous avons développés plus haut. La connaissance de ces profils d'apprentissage entretient un bon rapport entre l'élève et le savoir. Ce rapport peut aussi être influencé par de nombreuses conceptions alternatives. Il dépend du rôle l'enseignant, plusieurs facteurs sont mis sur pied on peut citer entre autres, la stratégie d'enseignement mise en place, la maîtrise de son public, la personnalité de l'enseignant. La bonne relation entre l'enseignant et l'apprenant est la clé de la réussite scolaire.

En somme, le triangle didactique est un modèle occupant les trois sommets du triangle et ces trois composantes sont liées entre elles. C'est un outil essentiel pour recadrer l'acte d'enseignement ; « 1) le rapport de l'enseignant au savoir (transposition didactique), 2) le rapport de l'élève au savoir (démarche didactique), 3) le rapport de l'enseignant à l'élève (contrat didactique) » (Halloun, 2019). La relation entre l'enseignant et le savoir est conditionnée par les connaissances individuelles de l'enseignement. Ces connaissances ont un impact sur son enseignement. La maîtrise parfaite de la discipline par un enseignant contribue à un enseignement efficace. Cette maîtrise contribue à une bonne exploitation des contenus disciplinaires dans le manuel scolaire. Rappelons aussi que toutes ces relations sont conditionnées par le choix du mode de transposition didactique.

1.5. Démarche d'investigation

Le cadre théorique utilisé pour notre recherche est « la démarche d'investigation ». Cette démarche a été mise sur pied par Georges Charpak à partir de 1996 par le soutien de l'académie des sciences et ses collègues qui prennent le nom de *la main à la pâte*. Le but est de revaloriser l'enseignement des sciences dans une école primaire de Chicago en France. Pendant sa visite aux États-Unis dans les quartiers démunis de Chicago, accompagné de certains scientifiques, il a rencontré le physicien Lederman qui était en situation de classe. Ce dernier utilisait un projet nommé « Hands on » qui veut dire en français « La main à la pâte », un projet utilisé par plusieurs états aux États-Unis depuis 1957 sous le nom de « Inquiry » qui a pour signification « Investigation ». Charpak est très surpris du fait que les élèves sont intéressés, montrent une envie d'apprendre et donnent de bons résultats. Pourtant, dans ces quartiers, l'école n'était pas une priorité pour les habitants. Dès son retour en France, il pense à améliorer l'enseignement des sciences. Une réflexion avec quelques scientifiques est menée à cet effet. C'est ainsi que les sciences (Astronomie, Physique, Géologie, Chimie, Biologie Animale et Végétale) seront intégrées à la maternelle.

Pour expérimenter cette réforme, l'Éducation Nationale Française a lancé 350 classes dans des écoles primaires pour l'enseignement des sciences physiques sous le nom « la main à la pâte » : l'enfant pose des questions et répond par ses propres expériences. L'approche sera donc intégrée dans les manuels scolaires pour s'étendre plus tard dans des collèges et lycées. Il faut noter que les anglo-saxons utilisent plusieurs expressions comme l'« inquiry based learning » (apprentissage par l'investigation), l'« inquiry based teaching » (enseignement par investigation) et le « doing inquiry » (faire de l'investigation) (Anderson, 2004). Contrairement aux pays francophones qui préfèrent l'utilisation du terme « démarche d'investigation ». « Cette démarche, initiée à l'école primaire, s'appuie sur un questionnement des élèves relatif au monde réel » (Matthieu, 2018, p.13). Cette nouvelle forme d'enseignement vient donc mettre fin à l'enseignement traditionnel.

Tableau 14

Comparaison entre l'enseignement traditionnel et l'enseignement par la DI (Dimarq, 2009)

<i>L'enseignement traditionnel...</i>	<i>Auquel on oppose une nouvelle forme d'enseignement...</i>
Transmissif	Interactif
Restreint	Ouvert
Répétitif	Varié
Contrôlé par l'enseignant	Co-construit par l'élève
Artificiel	Ancré dans le réel/authentique

Bien avant, en 1975, les didacticiens tels que Jean-Louis Martinand avaient introduit en France une démarche intitulée OHERIC (Observation, Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation, Conclusion) Lena (2015). Cependant, cette approche fut contestée par de nombreux didacticiens. Nous constatons que les étapes de la DI ne sont pas loin de ce qui a été proposé puis rejeté.

Beaucoup d'enseignants ont expérimenté et ont trouvé l'efficacité de cette démarche. Pour Cariou (2013), cette démarche permet aux apprenants de résoudre des problèmes en prenant appui sur leurs propres forces intellectuelles. Une démarche qui s'est retrouvée plus tard dans plusieurs manuels scolaires dans le monde car elle suscite la motivation et l'implication des apprenants. Elle convoque des compétences et des connaissances variées pour pouvoir manipuler les concepts scientifiques.

➤ **Rôle de la démarche d'investigation en science**

Dans le numéro 13 de l'article Recherches en didactique des sciences et des technologies publié en 2014, (Cross & Grangeat, 2014) présente le rôle des démarches d'investigation. Cette démarche a pour ambition de permettre aux élèves de « faire des sciences ». Cette ambition est sous-tendue par deux objectifs comme le montre la revue de questions menée par (Boilevin, 2012 cité par Cross & Grangeat, 2014).

– L'enseignement des sciences fondé sur l'investigation doit permettre une meilleure compréhension de la science et un apprentissage des connaissances scientifiques par les élèves. Il s'agit de faire évoluer l'image que les élèves se font de la science en

montrant une science qui se construit en suivant des procédures et des façons de faire spécifiques ;

– L’enseignement des sciences fondé sur l’investigation doit favoriser l’apprentissage des connaissances scientifiques en mettant les élèves au centre des apprentissages, en les amenant « à faire », à participer à l’élaboration des connaissances qui sont l’objet de l’enseignement, susciter la curiosité et l’esprit critique. Pendant la démarche d’investigation, les élèves réalisent des apprentissages en effectuant des tâches d’ordre conceptuel et empirique qui ne se limitent pas à du réinvestissement (Calmettes, 2009). Selon Mathé et *al.* (2008), la démarche d’investigation privilégie une approche hypothético-déductive à partir d’un conflit cognitif, ce qui suppose le déplacement d’un point de vue transmission-application vers un cadre socioconstructiviste qui donne la responsabilité aux élèves en termes d’élaboration de savoirs scientifiques. Tinas (2013) propose que tout enseignement qui s’appuie sur une démarche d’investigation devrait disposer d’une pratique pédagogique qui place les élèves en situation de recherche en s’appuyant sur leur questionnement sur le monde réel, d’un objectif qui permet aux élèves de mener des investigations avec l’aide du professeur, lesquelles doivent déboucher sur l’acquisition de connaissances, l’acquisition de compétences méthodologiques et la mise au point de savoir-faire techniques.

➤ **Caractéristiques de la démarche d’investigation**

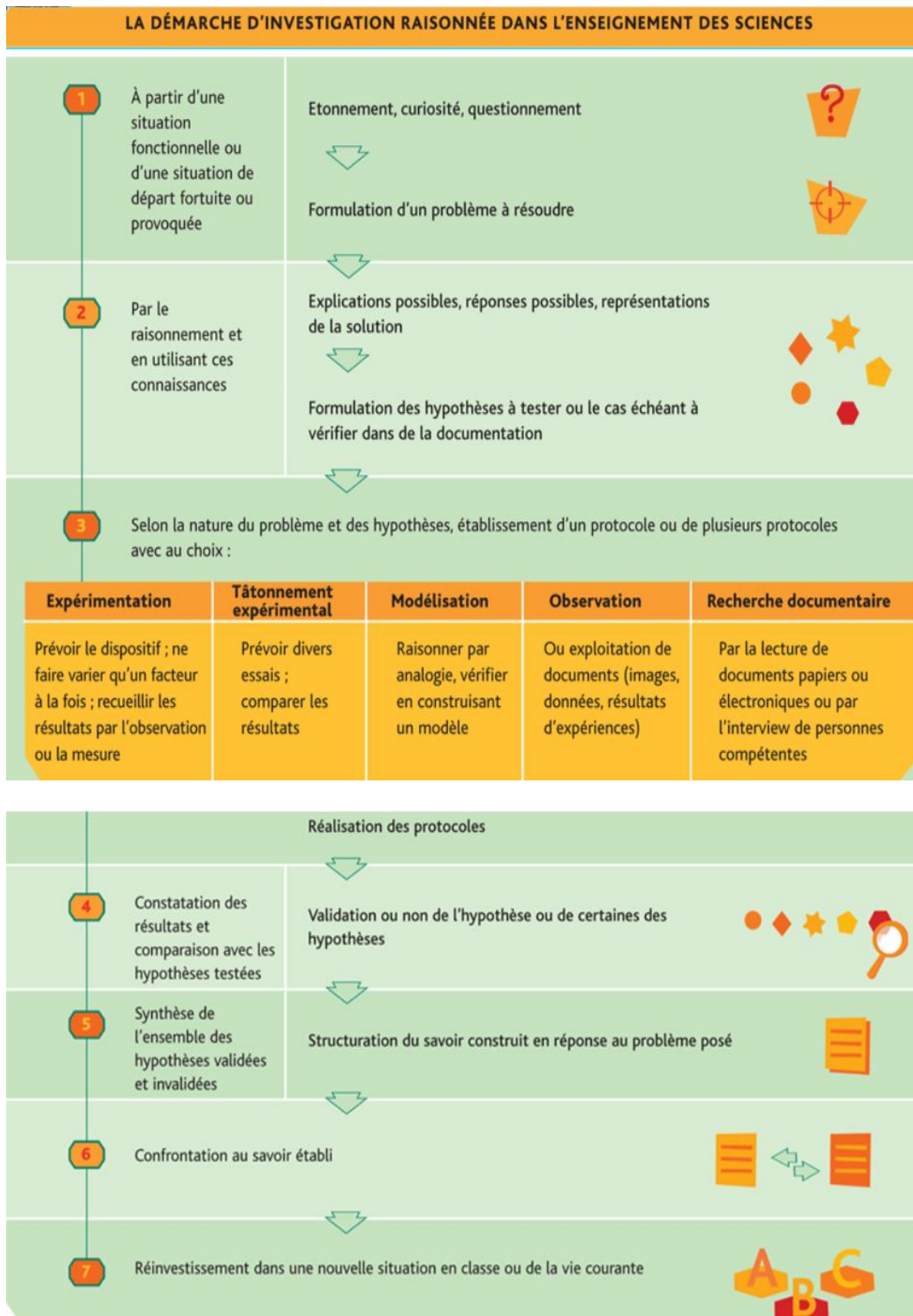
Cette démarche est caractérisée par un certain nombre d’éléments tels que :

- Des situations authentiques et basées sur des problèmes qui peuvent ne pas avoir de réponse correcte ;
- Des procédures expérimentales et des expériences comprenant également de la recherche d’information ;
- Une attention au développement de l’autonomie de l’élève et aux apprentissages autorégulés ;
- Des activités d’argumentation et de communication entre élèves.

1.5.1. Étapes de la démarche d’investigation

Figure 21

Les étapes de la démarche d’investigation (Pérez, 2006)



D'après cette figure nous constatons que la démarche d'investigation a 7 étapes :

➤ **Étape 1 : La situation problème**

Le problème posé doit être captivant et susciter l'attention de l'élève sinon il ne trouvera aucun intérêt à s'y intéresser et, par conséquent, il sera difficile pour l'enseignant de construire la nouvelle connaissance. Cette situation permet à l'enseignant de repérer les acquis initiaux des élèves et d'identifier les conceptions ou représentations initiales des élèves ainsi que les difficultés persistantes. Selon Meirieu, une situation problème doit prendre en compte plusieurs interrogations : quel objectif voulons-nous atteindre ? Quelle est la tâche correspondant à l'objectif fixé ? Cette tâche est-elle bien formulée ? C'est pour cela que le problème doit être clair et accessible aux élèves (Johsua & Dupin, 1999). On distingue deux types de situation problème : la situation problème réelle et la situation problème réaliste. Dans la situation problème réelle, l'apprenant est appelé à pratiquer celle-ci car elle entre dans la formation de l'apprenant ; il doit prouver qu'il est compétent. Dans la situation problème réaliste, l'apprenant ne pratique pas parce qu'il ne dispose pas de matériel.

➤ **Étape 2 : Appropriation du problème par les élèves**

L'enseignant guide les apprenants afin de faire émerger leurs connaissances antérieures sur le problème posé, c'est-à-dire :

- Les aider à reformuler la consigne pour une bonne compréhension ;
- Recentrer le problème à résoudre ;
- Leur donner la possibilité de travailler sur leurs idées initiales.

➤ **Étape 3 : Formulation des hypothèses.**

Cette formulation est faite par les élèves et peut être orale ou écrite. Dans le cadre de cette recherche, elle est écrite et s'opère par groupe. Brown (1982) a signalé dans ses travaux les étapes à suivre pour responsabiliser l'élève dans le processus d'apprentissage. Parmi celles-ci, nous avons la discussion en groupe où l'accent est mis sur l'enseignement par les pairs. Ces étapes renforcent la confiance de l'apprenant et aide l'enseignant à faire un sondage sur ses connaissances antérieures. Chaque groupe doit proposer son protocole expérimental qui sera validé ou invalidé par l'enseignant.

➤ **Étape 4 : Expérimentation conduite par les élèves**

- C'est le moment où chaque élève doit mettre la main à la pâte. On assiste à un débat interne au sein de chaque groupe d'élèves ;
- L'expérience est décrite et réalisée ;

- L'exploitation des résultats a lieu puis, vient la confrontation avec les hypothèses formulées précédemment.

➤ **Étape 5 : Échange argumenté autour des propositions élaborées**

- Communication et échange des résultats obtenus en intergroupe ;
- Confrontation des propositions et débats autour de leur validité.

➤ **Étape 6 : Acquisition et structuration des connaissances**

- Mise en évidence du nouveau savoir avec la méthode utilisée avec l'aide de l'enseignant ;
- Confrontation de l'ancien et du nouveau savoir établi en s'inspirant des productions auxquelles les groupes sont parvenus ;
- Reformulation écrite des connaissances nouvelles acquises avec l'aide de l'enseignant.

➤ **Étape 7 : Opérationnalisation des connaissances**

– Il s'agit des exercices ayant pour but d'automatiser les formes d'expressions liées aux connaissances travaillées. Il s'agit des activités structurantes et dit : « Les activités structurantes ont pour objet de reprendre plusieurs énoncés obtenus précédemment pour les comparer, les dépasser, les décontextualiser... et pour finalement construire un autre énoncé, plus général » (Astolfi, 1998). Considérées comme des activités d'intégration, elles permettent aux apprenants de mobiliser les ressources installées et de consolider leurs acquis ;

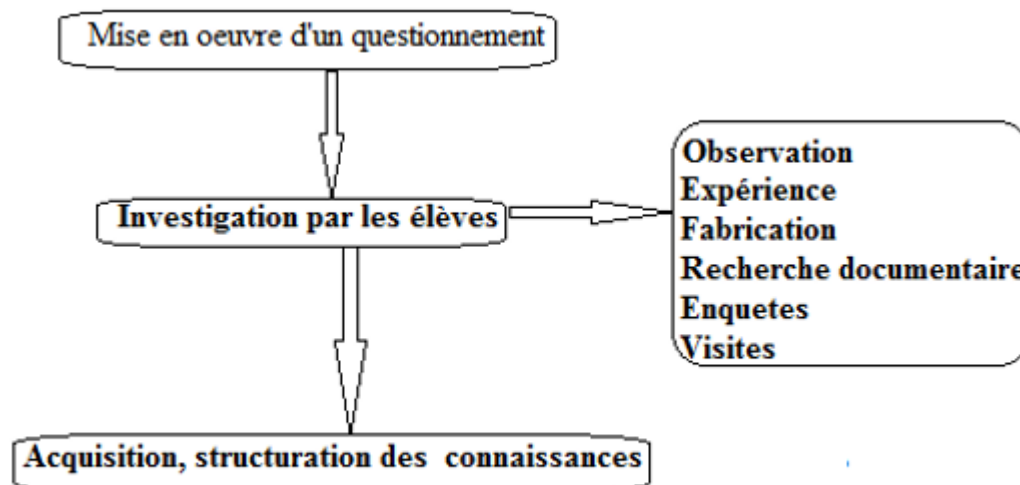
– Le nouveau savoir acquis doit être transversal, c'est-à-dire mettre en œuvre des connaissances construites dans des contextes différents.

Chaque enseignant qui a la volonté d'appliquer cette démarche dans son processus enseignement apprentissage, peut se rassurer sans doute d'une maîtrise parfaite de la science de la part de ses apprenants. Pour faciliter la compréhension des concepts chimiques, l'approche utilisée doit être aussi indispensable que le résultat attendu. Ainsi, cette étude nous amène à orienter nos collègues vers un enseignement basé sur la démarche d'investigation. Après l'émission des hypothèses, l'enfant manipule en raisonnant les éléments conceptuels capables de le conduire vers un résultat explicatif.

On peut résumer toutes ces étapes en trois grands moments d'après Tinas (2013) dans la figure suivante.

Figure 22

Les trois temps forts d'une démarche d'investigation en enseignement Tinas (2013)



Il faut réaliser que pour la pratique dans une salle de classe, les trois temps ci-haut s'étendent sur sept étapes tel que propose (Tinas, 2013). Les recherches antérieures montrent qu'il est souvent difficile de réaliser toutes les étapes de la DI dans une séquence d'enseignement pour défaut de temps. Dans le cadre de cette recherche, nous avons pris toutes les dispositions pour relever ce défi, notamment dans la façon de coordonner les activités.

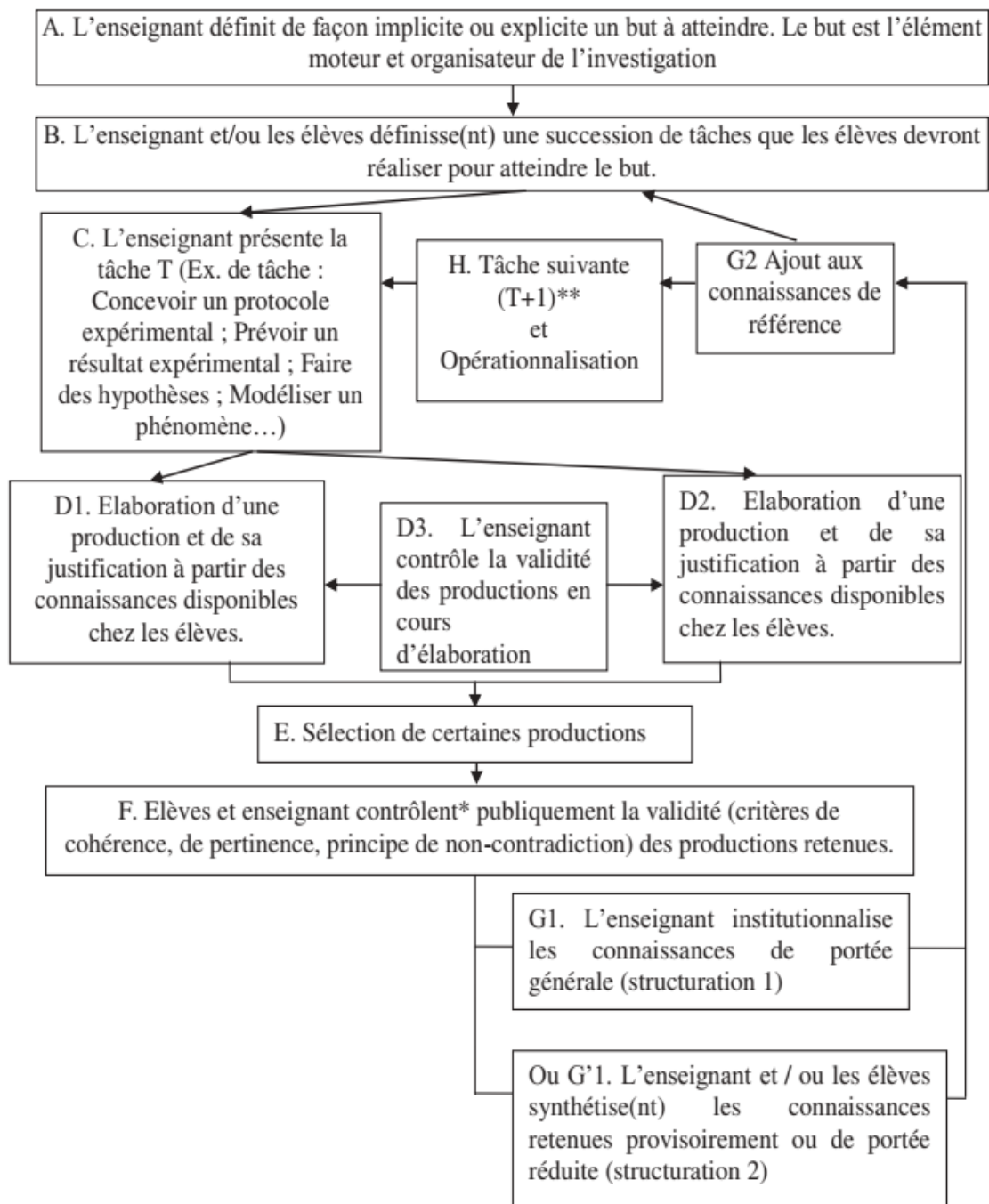
La figure 23 résume toutes les actions menées pendant une séquence d'investigation. Elle a été réalisée par Morge et Boilevin (2007). Dans cette figure, les lettres A, B, C, D, E, F, G et H matérialisent le rôle de chaque acteur dans le processus. Certaines lettres sont segmentées (D1, D2, D3 ; G1, G'1) : il s'agit des actions qui se déroulent au même moment.

« Le modèle ainsi élaboré, prend en considération la construction et l'évolution des connaissances mises en jeux au cours d'une séquence d'investigation, ainsi que le rôle joué par les élèves et les enseignants au cours de cette évolution » (Slimi, 2019, p.59).

Figure 23

Modélisation des actions réalisées en cours d'une séquence d'investigation

(Morge & Boilevin, 2007)



1.5.3. La mise en œuvre de la démarche d'investigation

Plusieurs chercheurs ont exploré dans ce domaine et beaucoup ont eu des résultats probants. Certains d'entre eux ont jugé indispensable de mettre sur pied cette approche comme dispositif de formation à l'enseignant (Calmettes, 2008 ; Perron, 2019) tandis que

d'autres ont mis en œuvre cette démarche dans les différents domaines d'apprentissage. (Millerand, 2006 ; Mathé & al., 2008 ; Calmettes, 2009 ; Guérin, 2012 ; Cariou, 2013 ; Kallaba, 2016 ; Déniel, 2018) ; Molvinger, 2019 ; Slimi, 2019). Les résultats obtenus montrent l'importance de l'autonomie que cette approche offre aux apprenants.

Duclos (2006) a montré que la démarche d'investigation apporte un plus dans l'enseignement des sciences car les élèves sont plus actifs en cours et se sentent plus impliqués parce qu'ils touchent du doigt. De ce fait, cette démarche a été mise en œuvre dans la classe de 5^{ème} dans le but de déterminer la masse d'un litre d'eau à l'aide d'une balance de 200 g et dans la classe de 4^{ème} dans le but d'identifier le dioxyde de carbone dans un milieu.

Millerand (2006) a étudié l'impact et les difficultés de la DI pour l'enseignement de la physique au cycle 2(CP-CE1) de 6 à 7 ans et dans la classe de seconde au lycée. L'objectif était de mesurer l'impact de la DI sur les élèves. Pour atteindre ses objectifs, il a fait un TP classique et un TP appliquant la DI sur le pendule et les paramètres influents ou non sur sa période. Les séances expérimentales ont été faites en deux groupes : 17 élèves au groupe 1 pour le TP classique et 18 élèves au groupe 2 pour le TP utilisant la DI. Les deux groupes sont composés d'élèves hétérogènes. Après cette séance, les intervenants ont exprimé leur point de vue. Pour le professeur, les élèves étaient passifs pour le TP classique et semblaient tous intéressés par le TP appliquant la DI. Les apprenants se sont rendus compte de leurs erreurs et se sont auto-corrigés. La conseillère pédagogique, a été surprise par l'efficacité du TP suivant la DI. Les élèves ayant effectué le TP classique ne voient pas le but des TP. Concernant les TP menés par la DI, 70% des élèves ont trouvé ce TP différent de ceux habituels. Les résultats suivants montrent que les élèves se sont sentis actifs aux questions posées ci-dessous.

1. Qu'est-ce qui est intéressant à étudier dans un pendule ?
2. Quel(s) sont(est) le(s) paramètre(s) dont-on a « testé » l'influence ?
3. Quel(s) sont(est) le(s) paramètre(s) qui ont(a) réellement une influence ?
4. Donner la formule mathématique permettant de calculer T ?

Tableau 15*Pourcentage des deux groupes*

Question \ TP		TP Classique groupe 1	TP Démarche d'Investigation groupe 2
Q 1		47%	50%
Q 2		35%	100%
Q 3		65%	88%
Q 4	Bonne réponse	0%	6%
	Réponse où la longueur L intervient	0%	38%

Ce tableau permet de constater que par la DI, les élèves ont assimilé significativement la notion des TP que par les TP classiques. L'auteur conclue que dans le programme de la 2nde, de nombreux concepts nouveaux comme la représentation de Lewis, la mole, la concentration, la force d'attraction préconisent l'utilisation de la DI pour les séances de TP.

Calmette (2009) a mis sur pied la démarche d'investigation en physique dans le but de former 30 enseignants stagiaires et 12 enseignants expérimentés pour sa mise en œuvre en situation de classe. Il en ressort que, malgré une certaine variabilité dans les mises en œuvre, les enseignants formés et qui ont pratiqué cette démarche font état de leur enthousiasme. Les enseignants ont relevé une participation active des élèves et ceux qui sont en difficultés d'apprentissage réussissent parfois mieux.

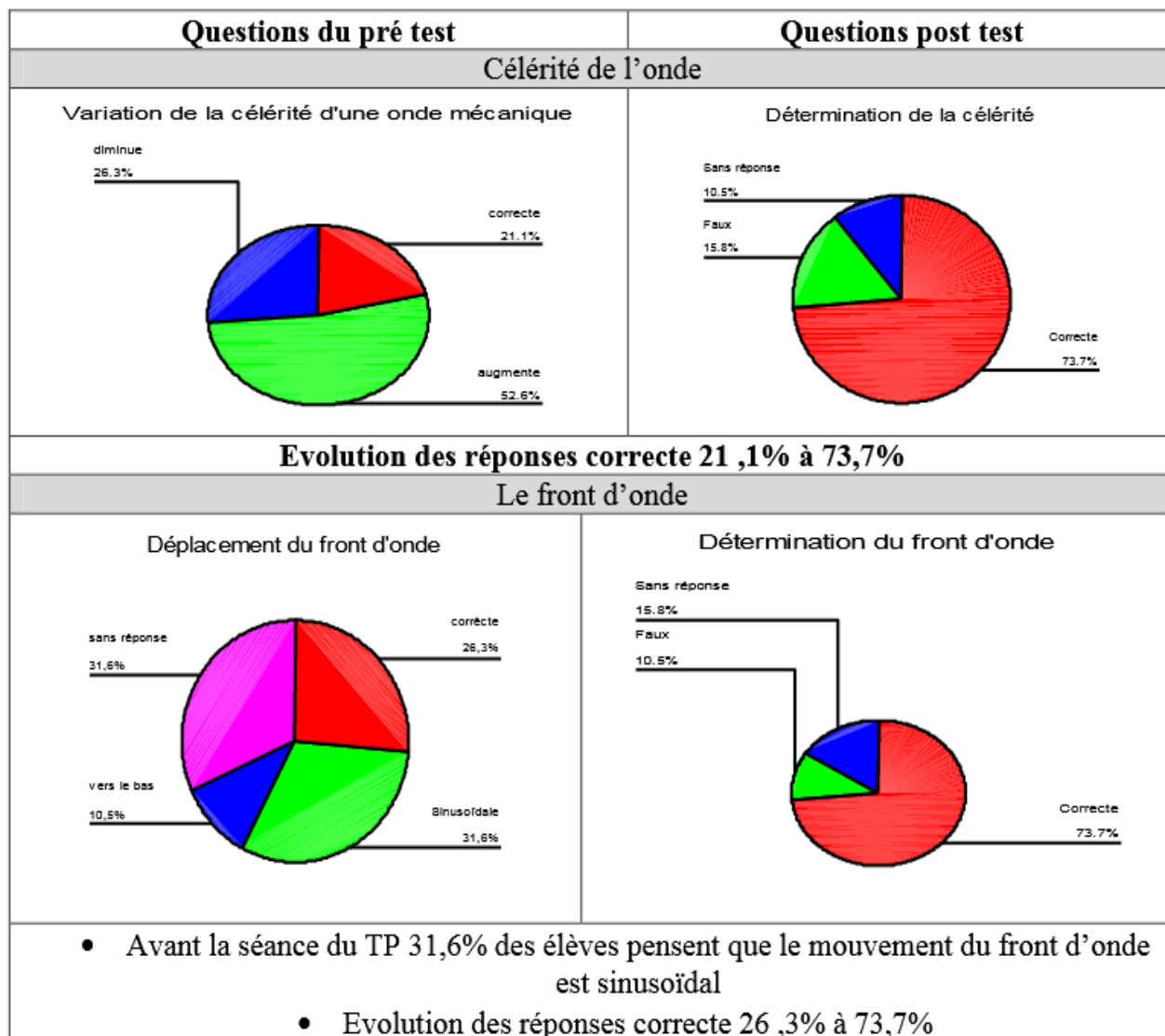
Depuis quelques années, les groupes de travail se succèdent, tant au niveau national qu'international, pour affirmer la nécessité d'un renouvellement de l'enseignement des sciences durant la scolarité obligatoire (Coquide & al., 2009). Gandit et Grangeat (2016), dans leur recherche basée sur la démarche d'investigation et évaluation formative en classe de sciences, mathématiques et technologie, ont construit une séquence d'enseignement sur la notion des fractions en classe de CM2 et dans quatre classes de 6^{ème} et cela a suscité la motivation et l'engagement des élèves.

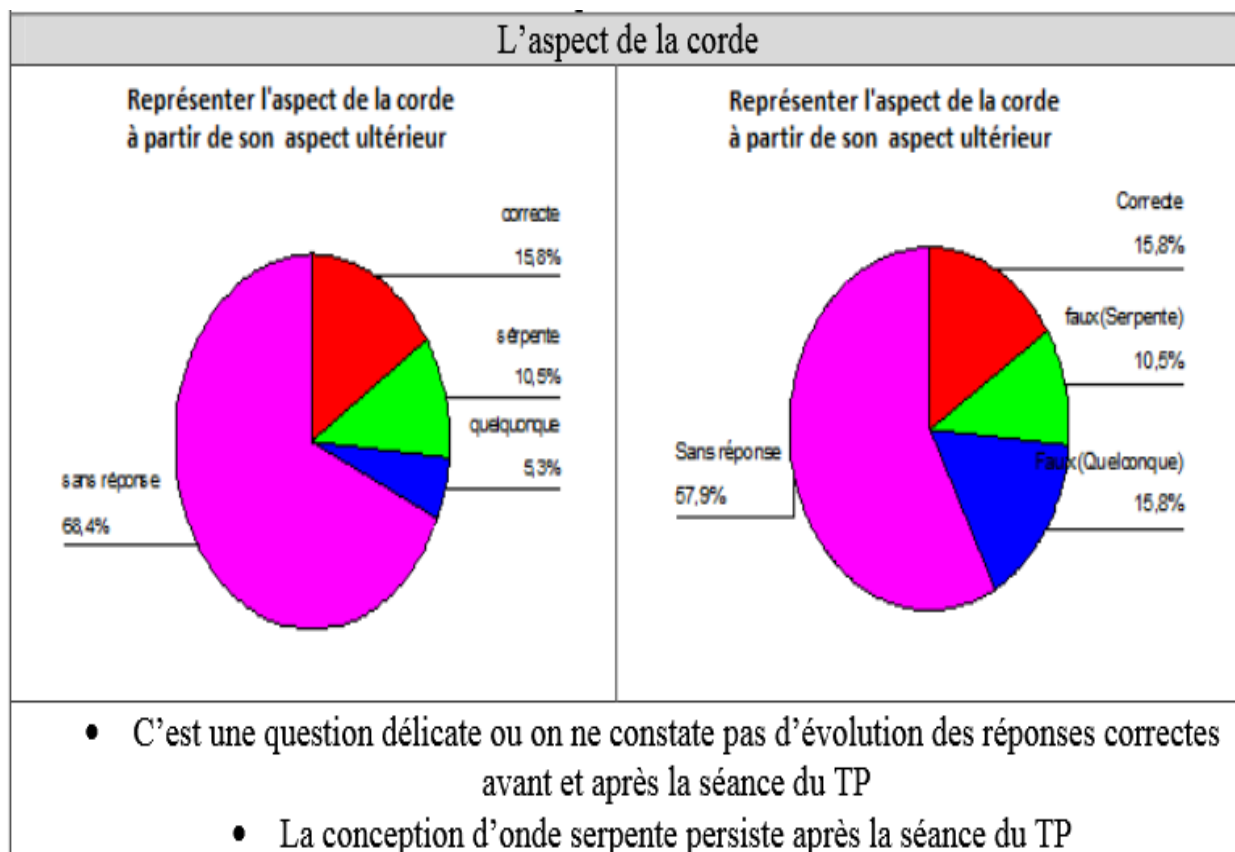
Ben et Boilevin (2016) ont travaillé en physique sur l'impact de la DI par stimulation des ondes mécaniques sur le raisonnement des élèves tunisiens. Le but était de relever les conceptions et de les surmonter avec le concept des ondes, chez les élèves de la terminale scientifique en Tunisie.

Un post-test est administré pour évaluer les retombes du scénario proposé.

Figure 24

Résultat du pré-test et post-test sur les ondes mécaniques





En conclusion, la DI a montré son efficacité sur deux concepts : la célérité d'onde et le front d'onde malgré le fait que les résultats sur la représentation de l'aspect de la corde à partir d'une représentation ultérieure ne sont pas satisfaisants mais sont élevés. Après l'enseignement il déclare : « Une séance d'enseignement sur simulation basée sur la DI est capable d'aider les élèves à surmonter leurs difficultés d'apprentissage des ondes et de résoudre en partie un problème de conceptions erronées très répandu » (Ben &Boileven, 2016, p. 11).

Karine Molvinger (2017) a mis en œuvre cette démarche d'investigation à l'école élémentaire dans le but de construire le concept de mélange ; elle tire la conclusion selon laquelle les apprenants comprennent mieux en s'impliquant dans la tâche. Nous avons également les recherches de Perron (2019) sur l'étude de l'articulation des démarches d'investigation scientifique avec les autres savoirs composant la structure disciplinaire : cas d'enseignants de sciences de la vie et de la Terre exerçant au collège français dans le but d'identifier, à travers les pratiques d'enseignement, l'articulation des démarches d'investigation scientifique avec les autres savoirs composants la structure disciplinaire. Selon lui, une contribution nécessaire à la consolidation d'un corpus de connaissances

scientifiques dans le domaine des sciences de l'éducation, en particulier dans le champ de la didactique des sciences, pouvant éventuellement alimenter la formation à l'enseignement.

Pallandre (2010), en France, a utilisé la démarche d'investigation dans la classe de CAP au lycée professionnel pour identifier la force et les caractéristiques de la poussée d'Archimède. Après le test, les résultats ont montré que 80 % des élèves calculent bien le poids et 78 % des élèves ont pu représenter la force P , 70 % des élèves ont réussi à représenter la force F , 91 % ont pu évaluer la force dans l'eau. Beaucoup de chercheurs ont montré l'efficacité de ce modèle dans plusieurs domaines, à savoir le domaine de mathématiques, physique, chimie, orthographe ; (Lafortune , 2013 ; Sauriol, 2016 ; Nenciovici, 2018).

Il est alors indispensable, dans notre contexte, d'identifier une nouvelle forme d'enseignement pour présenter ce concept dans le registre macroscopique puis dans le registre microscopique et enfin dans le registre symbolique. Á cet effet, la démarche d'investigation semble combler nos attentes. Cette approche a attiré particulièrement notre attention dans le sens où elle est non seulement une source de motivation, mais donne aussi à l'apprenant une autonomie qui lui permettra de mobiliser ses connaissances, sa curiosité et sa créativité afin de construire son propre savoir. Il est indispensable de signaler que nous n'allons pas exécuter scrupuleusement les étapes de la démarche d'investigation telles que prescrites par les auteurs car ils ne prenaient pas en compte l'identification des difficultés des apprenants et leurs origines. Cette identification fera la particularité des étapes de la démarche d'investigation pour cette recherche.

2. Étude historique et épistémologique du concept de mole

L'histoire de la chimie a montré comment l'interprétation de la diversité des réactions, des phénomènes et des observables n'est pas du tout simple (Barlet, 1999). Car le manque d'une connaissance ou d'une évolution historique des sciences est parfois à l'origine du développement des conceptions chez les enseignants. Ceci entrave un meilleur enseignement et donc, un meilleur apprentissage. « Beaucoup d'enseignants et élèves utilisent encore le sens ontologique de la mole donnée par Ostwald » (padilla & furio, 2008, p. 412). La conséquence de cette ignorance est simplement basée sur le transfert des conceptions de l'enseignant à l'élève. « En réalité, l'évolution socio-historique du concept méconnue par les enseignants est une source d'obstacles épistémologiques et didactiques dont plusieurs persistent encore de nos jours » (padilla & furio, 2008, p.49). Á cet effet, un bon enseignement nécessite une connaissance approfondie du concept.

Pour comprendre la difficulté qu'ont ces enseignants à construire le concept de mole et celle qu'ont les élèves dans leur apprentissage, il est primordial de faire un rétrospectif sur son étude épistémologique. L'épistémologie est un discours critique sur la connaissance scientifique, son élaboration et son évolution (Sagaut, 2009). Ceci étant, elle s'est fondée sur trois questions principales :

« 1- Qu'est-ce que la science ? Qu'est-ce qui distingue ce type de savoir des autres ? Comment la définir ?

1. Comment la science s'est-elle constituée ! Quels ont été les facteurs qui ont influé sur son évolution ? Quelles méthodes de travail et de réflexion ont été employées pour la construire ?

2. Comment juger de sa validité ou de sa valeur ? Qu'est-ce que veut dire qu'une théorie scientifique est vraie ? Comment vérifier la validité d'une théorie scientifique ? » (Sagaut, 2009). Nous allons nous appuyer sur ces questionnements pour faire une analyse génétique du concept de mole.

Ce concept de symbole mol est très récent, il est défini et introduit dans les programmes scolaires comme 7^{ème} unité de base du SI (système internationale) en 1971 par la 14^{ème} conférence des poids et mesures (CGPM). Fort de ce constat, nous nous sommes penchés sur un certain nombre de questions : quel est l'utilité du concept de mole en chimie ? Comment les chimistes procédaient-ils avant 1971 ?

2.1. Le concept de mole avant 1971

En 1789, Richter dans sa thèse sur l'utilisation des mathématiques en chimie, a introduit le terme stœchiométrie et l'a défini comme le rapport entre les masses. Il a utilisé les deux premières lettres pour symboliser les noms des éléments chimiques ce qui a été revu plus tard par Berzelius (Padilla & Furió-Mas, 2007).

En 1792, il publie la « loi des proportions réciproques ». « Lorsque deux solutions neutres sont mélangées et que la décomposition s'en suit, les nouveaux produits résultants sont presque sans exception également neutres ; les éléments doivent donc avoir entre eux un certain rapport de masse fixe » (Partington, 1961, p.674). Pour introduire les mathématiques en chimie, il a établi le poids équivalent d'acide phosphorique comme la quantité suffisante pour neutraliser la soude que celle neutralisée avec l'acide sulfurique » (Padilla & Furió-Mas, 2007, p.405).

En 1808, John Dalton s'inspire des travaux de Proust et Richter pour émettre son hypothèse atomique : « la matière est formée d'entités appelées atomes et ce sont les entités insécables ». Malgré les effets positifs de cette théorie tels que la détermination de la masse d'un corps, elle ne fait pas l'unanimité chez les scientifiques car elle n'a aucune preuve expérimentale (Azcona et *al.*, 2002).

En 1811, Amedeo Avogadro a publié sa première hypothèse qui stipule que « dans les mêmes conditions de température et de pression des volumes égaux de gaz différents ont le même nombre de molécule ». (Buès, 2000 ; Padilla & Furió-Mas, 2007). Il a soutenu son travail par ses résultats expérimentaux. Malheureusement, cette hypothèse était utile uniquement pour les gaz car elle ne permettait pas de déterminer le poids atomique. Par conséquent, elle est rejetée par Dalton et plusieurs autres.

En 1823, Dumas utilise cette hypothèse pour trouver les densités de certains éléments et constate des incohérences. Il rejoint donc Dalton et les autres. Le terme d'équivalence en masse est d'actualité.

En 1860, s'est tenu le tout premier congrès international de chimie en Allemagne (Karlsruhe) dans l'objectif de trouver un consensus au sujet de la nomenclature chimique qui pourra être utilisée par la communauté scientifique. Il était question de clarifier la compréhension de certains concepts comme l'atome, la molécule, l'équivalent. Kopp a fait une différence entre l'atome et la molécule. Pour ce qui est du concept équivalent, il dit : « Le concept équivalent est empirique et indépendant pour le concept de molécule-gramme ». (Padilla & Furió-Mas, 2008). Il faut aussi noter que pendant ce congrès, l'hypothèse D'Avogadro a été soutenue par Connizzaro d'où la validation des molécules diatomiques. À cet effet, il a recommandé un tableau périodique d'éléments basé sur l'échelle des poids atomiques qui a été élaboré plus tard par Meyer et Mendeleïev.

En 1869, le tableau de Mendeleïev est publié et l'élément chimique est identifié par son poids atomique qui devient plus tard une affaire internationale (Buès, 2000).

En 1893, Ostwald et Nernst ont écrit leur manuel dans lesquels ils ont proposé l'utilisation de molécule gramme « la pression qu'une molécule gramme d'un gaz exercerait sur les parois d'un récipient... ». (Becker, 2001). Malheureusement, la phrase ne fait aucune référence à la masse de l'échantillon ou au nombre d'entités qu'il contient. Dans ces manuels, ils font allusion à l'utilisation du mot Molas, une abréviation de gramme-molécule « eine g.-Molekel oder ein Mol » (Milton, 2011).

En 1900, Ostwald introduit le concept de mole. En voulant rechercher la formule chimique de l'eau oxygénée pour déterminer son poids normal, il utilise plusieurs fois le terme « quantité de substance » pour signifier la masse. Ainsi, le poids moléculaire d'une substance exprimée en gramme est désormais appelé mole (Ostwald, 1900 p.163 cité par Furio, 2000). Il le définit comme étant « la masse d'une substance exprimée en gramme numériquement égale à sa masse molaire relative » (Nelson, 1991). Il a fait allusion aussi à « la quantité de la matière ». « L'introduction de la mole a été donc fondamentale pour développer la quantité de matière comme nouvelle grandeur en chimie » (Furio & Padilla, 2007, p.412). Á cette époque, le sens de la mole était lié à la masse. Il a donc évolué pour devenir une grandeur permettant de compter les particules.

En 1900, Max Plank à partir de sa loi portant sur le rayonnement des corps noirs, a déterminé la valeur de la constante d'Avogadro. « Á une molécule gramme d'une substance correspond $6,175 \cdot 10^{23}$ molécules. » (Plank, 1900). Au début du 20^es, la théorie atomique moléculaire est acceptée et est à l'origine de l'introduction de la grandeur quantité de matière avec pour unité mole (Azcona & *al.*, 2002).

En 1905, Einstein dans sa publication propose aussi un exemple de l'utilisation du concept gram-molécule ; c'est l'une des premières déterminations de la constante d'Avogadro, il s'inspire de la formule de van 't Hoof : $PV=zRT$, z étant la variable (Einstein, 1905). Par la suite, il a posé une relation entre cette variable et le nombre de molécule N soit $Z=n/N$; N =nombres de molécules contenues dans une molécule gramme. Cette idée a été retravaillée par Langevin (1908) pour aboutir plus tard à la formule de Stokes-Sutherland-Einstein :

$$\alpha N = RT / 6\pi hD,$$

α = rayon des particules

N = le nombre réel de molécule contenues dans une molécule- gramme

T = température

R = constante du gaz

h = viscosité de la solution

D = coefficient de diffusion

Einstein dans sa thèse a revu ces paramètres en développant une formule qui lie le changement de viscosité au volume total de molécules dissoutes par unité de volume de solution. (Einstein, 1906) cette formule est

$$a^3 N = \frac{3M}{10\pi\rho} \left(\frac{\eta^*}{\eta} - 1 \right),$$

M= poids moléculaire des molécules dissoutes

C'est ainsi que la molécule gramme est considérée pour quantifier le nombre de molécules dans un échantillon. Il faut noter que la relation entre ces deux formules a favorisé la détermination du nombre de molécules contenues dans une molécule-gramme soit $N=6,56.10^{23}$ (Einstein, 1906).

En 1909, Perrin a utilisé la formule d'Einstein pour mesurer le mouvement brownien des particules. Ainsi, il a trouvé une valeur de $N=6,7.10^{23}$ (Becker, 2001). La quantification d'une substance est alors à l'ordre du jour. C'est dans cette perspective que la proposition d'Avogadro devient équivalente à : « deux molécules –grammes contiennent le même nombre de molécule » (Milton, 2011).

Dans la recherche de Perrin, il déclare que N est non seulement un nombre invariable mais aussi une constante universelle et que si cette constance est connue, la masse de toute molécule est connue (Perin, 1909). Nous constatons que les deux approches sont divergentes. En effet, la molécule gramme désigne le nombre de molécules pour Einstein tandis qu'elle désigne une masse de matière pour Perrin. La constante d'Avogadro sera utilisée plus tard pour la diffraction des cristaux de rayons x afin de mesurer la dimension de la maille unitaire dans un cristal et pour mesurer le poids atomique du matériau ce qui conduira à la détermination d'une nouvelle valeur : on assiste à la mesure « des longueurs d'ondes » des rayons x par rapport à l'unité X de Siegbahn.

En 1921, une commission des poids atomiques qui va adopter le poids atomique de l'élément oxygène est créée et la découverte de l'isotope de l'oxygène divisera les chimistes et physiciens (Buès, 2000). En 1929, la découverte de ces deux isotopes d'oxygène divise les chimistes (qui utilisent l'atome d'oxygène avec sa masse moyenne) et les physiciens (qui utilisent l'isotope de l'atome d'oxygène 16) (Buès, 2000). En 1957, les physiciens et les chimistes trouvent un accord sur l'utilisation de l'isotope du carbone 12 comme référence (Buès, 2000). La masse atomique est désignée par des termes poids molécule-gramme, poids équivalent-gramme... atome-gramme. C'est la source de toute la confusion entre les chimistes.

En 1960, Bearden dans sa publication fait une réévaluation des données radiographiques tout en corrigeant les longueurs d'onde. Ces changements vont affecter la valeur de la constante d'Avogadro acceptée pendant plusieurs années de 1953 à 1965

(Bearden, 1965). La première mesure du cristal pur du silicium vient mettre un terme sur la nouvelle valeur de la constante d'Avogadro : silicium isotope ^{28}Si (Deslattes et *al.*, 1974).

Malgré cette détermination, il est toujours difficile pour les chercheurs de faire une similitude entre constante et molécule gramme. Stille(1955) dans son texte sur la métrologie, donne des explications claires sur le terme mole utilisé à l'époque. Il dit que ce terme avait deux significations :

- « Unité de masse chimique par l'équation de quantité » ;
- $1\text{mol} = A_r(x) \text{ g}$ $A_r(x)$ est la valeur numérique du poids atomique x ;
- La deuxième explication stipule que le terme mol signifiait MolZahl qui veut dire (nombre de mole) définit par $l = N / L$, ou l est le nombre de moles (MolZahl), N est le nombre d'entités et le L le nombre de Loschmidt's (Stille, 1955).

Il précise également dans son texte que MolZahl est une quantité sans dimension.

Les allemands disent plus tôt alternatif Stoffmeng (qui veut dire quantité de matière) et le considèrent comme nouvelle unité de base avec une définition pour le terme mol « Quantité et qui contient autant d'entités qu'il y en a dans $A_r(0) \text{ g}$ d'atome ». Still a été soutenu par Guggenheim qui affirme : « il peut parfois être utile dans l'analyse dimensionnelle de considérer le nombre d'atomes comme ayant des dimensions différentes d'un nombre pur ». Á cet effet, il propose le terme « quantité de matière ». Il signifie qu'on peut l'utiliser comme nom pour la quantité dont la mole est l'unité (Guggenheim, 1961).

En 1961, le concept de la quantité de matière est introduit avec pour symbole « n » (Padilla et Furió-Mas, 2008). La même année, le terme « mole » représentait « la quantité de matière » contenant le même nombre d'entités élémentaires (atomes, ions, molécules...) que d'atomes contenu dans 12 grammes de carbone 12 (Guggenheim, 1961). Guggenheim précise que « la quantité de matière est proportionnelle à la masse et au poids » mais elle est différente de la masse et du poids. En 1965, l'UPCA l'a aussi reconnu. La quantité de matière de symbole n a une masse relative avec la masse (m), le volume (v) et le nombre d'entités élémentaires (N) contenu dans une mole.

En 1969, les Unions Internationales de Chimie Pure et Appliquée (IUPAC) et de Physique Pure et Appliquée (IUPAP) ont proposé au Comité International des Poids et Mesures (CIPM) une définition de la mole (Buès, 2000). En 1970 la définition de la quantité de matière a été publié par l'Union Internationale des Chimistes Purs et Appliqués (UICPA).

« La quantité de matière est proportionnelle au nombre d'entités spécifiques de cette matière. Le facteur de proportionnalité est le même pour toutes les substances et est appelé constante d'Avogadro. Les entités élémentaires doivent être spécifiées » (IUPAC 1970, p. 7).

Cette définition est divergente de celle de Stille car pour lui, le terme nombre de Loschmidt désigne la valeur numérique de la constante d'Avogadro particule dans 1cm^3 et considérer cette valeur comme nombre d'Avogadro d'où la réécriture de la formule :

$(n) = N/(NA)$ n = valeur numérique de n ; N = nombre d'entité ; NA = valeur numérique de NA .

En 1971 la Conférence Générale des Poids et Mesures a validé la définition publiée par l'Union Internationale de Chimie et de Physique tout en la reformulant :

La mole est la quantité de matière d'un système qui contient autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0.012 kilogrammes de carbone 12. Lorsque la mole est utilisée ; les entités élémentaires peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons ou d'autres particules ou des groupes spécifiés de telles particules. La mole est l'unité de base dans le système international. (CGPM 1971, p. 115)

Cette définition vient mettre un terme à la confusion du terme molécule-gramme et molécule-kilogramme comme unités. On assiste donc à la disparition des termes comme équivalent-gramme, ion-gramme (McGlashan, 1971). Cette définition met également fin au long débat qui a eu lieu dans la moitié du 20^e siècle. Néanmoins, certains auteurs pensent toujours qu'une mole est différente des autres unités de base du SI, non seulement parce que sa définition présente une condition de qualification, mais le concept de mole est aussi une masse de matière et est simplement un certain nombre d'entités. C'est ainsi que la recommandation du terme « nombre de moles » a été faite dans la prochaine publication (IUPAC, 1960).

2.2. Le concept de mole après 1971

En 1995 une proposition basée sur le nombre fixe d'entités a été faite : « La mol est l'unité de quantité de matière d'une entité élémentaire spécifique qui peut être un atome, une molécule, un ion, un électron, toute autre particule ou un groupe spécifique de particules avec la constante d'Avogadro. $N=6,02214.10^{23}$ lorsqu'elle est exprimée dans l'unité mol^{-1} » (Mills et al., 1995) ; ceci dans le but de faire une cohérence avec les autres unités de base.

Néanmoins, cette redéfinition doit tenir compte de la meilleure compréhension de la quantité pour laquelle elle est une unité. Jusqu'ici la nouvelle définition ne fait pas l'unanimité des chercheurs. C'est ainsi que diverses contre-opinions ont été publiées sur la notion fondamentale de la constante d'Avogadro (Guggenheim, 1942). Ce qui divise une fois de plus les chercheurs est le fait que la constante d'Avogadro soit une base pour la définition de l'une des unités de base du système international (Milton, 2011). Cependant, elle est devenue fondamentale en chimie et est utilisée dans la pratique de la physique et chimie. La méthode utilisée pour la réalisation de la mole est le processus pesé de matière pure et d'évaluation de la quantité de matière selon la formule ci-après : $n = m / M$ où n est la quantité de matière (mol), m est la masse de la matière pur (kg) et $M(x)$ est la masse molaire de x mol /kg (Milton, 2011).

En 2005, le Comité Consécutif des Unités (CCU), le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) ont fait une suggestion au sujet de la redéfinition de toutes les unités de base du S.I y compris la mole sur la base de constantes physiques (Lorimer, 2010).

En 2009, une nouvelle définition a été présentée par Mills et Milton dans un numéro de mars-avril de Chemistry International (Lorimer, 2010). Pour eux, l'ancienne définition adoptée en 1971 par la 21^{ème} Conférence Générale des Poids et Mesures reste toujours problématique en ce sens où elle utilise le kilogramme qui est aussi une unité de base du S.I. Une redéfinition basée sur la constante physique a été publiée par Mills et Milton (Mills & Milton ,2009). Il faut noter que cette proposition est soutenue par le CCU qui a tenu une assemblée générale et s'y est consacré un bon bout de temps. Pendant cette assemblée, Mills qui représentait l'IUPAC a présenté son travail et vue la pertinence de son objectif général, la conclusion tirée par cette assemblée est qu'il est indispensable de redéfinir certaines unités du S.I, particulièrement celle de la mole. Á cet effet, le CCU a recommandé au BIMP que le concept de mole soit redéfini ainsi : « La mole est l'unité de quantité de matière d'une entité élémentaire spécifiée, qui peut être un atome, une molécule, un ion, un électron, toute autre particule, et telle que la constante d'Avogadro est exactement égale à $6,022\ 14076 \times 10^{23}$ par mole »¹². « Cette nouvelle constante a été longtemps retravaillée par Vocke et Rabb. Pour y arriver, ils ont pris comme référence l'atome de silicium »¹³.

Le 16 novembre 2018 à la 26^e Conférence Générale des Poids et Mesures, les représentants de plus de 50 pays se sont réunis en France (Versailles) pour adopter la

¹² fr.wikipedia.org : La mole

¹³ <https://www.nist.gov/si-redefinition/redefining-mole> : La redéfinition de la mole

redéfinition de certaines unités du S.I (le kilogramme, l'ampère et le kelvin) y compris la mole sur la base de constantes physiques définies. « La mole, symbole mol, est l'unité de quantité de substance du SI. Une mole contient exactement $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ entités élémentaires. Ce nombre est la valeur numérique fixe de la constante d'Avogadro, N_A , lorsqu'elle est exprimée en mol^{-1} , et s'appelle le nombre d'Avogadro ». « La quantité de matière, symbole n, d'un système est une représentation du nombre d'entités élémentaires spécifiées. Une entité élémentaire peut être un atome, une molécule, un ion, un électron, ou toute autre particule ou groupement spécifié de particules » (CGPM, 2018, p. 4).

En mai 2019, l'adoption est officielle (BIPM, 2019). Depuis cette date, on devrait observer dans nos salles l'évolution de son enseignement mais sous sommes surpris que, même pendant la formation continue des enseignants, personne et même les inspecteurs ne font allusion à cette réforme. Ces travaux scientifiques nous font comprendre que derrière les objectifs assignés à l'enseignement de la chimie, c'est toute l'activité des philosophes et des scientifiques depuis deux mille ans autour de la matière et de ses transformations qui se trouve concernée (Laugier & Dumon, 2001). Si les chimistes ont passé des années à construire le concept de mole, il n'est pas aisé pour les apprenants de l'assimiler aussi facilement.

On se pose la question de savoir comment un concept qui a toujours suscité une division entre les physiciens et les chimistes peut être aussi facilement enseigné et appréhendé par les élèves ? Examinons les modes de raisonnement utilisés par les apprenants pour affronter les sciences physiques. C'est dans ces modes de raisonnement (détaillés dans le paragraphe suivant) que les conceptions des apprenants sont repérées.

3. Les différents modes de raisonnement en chimie

Les difficultés des apprenants ont été et seront toujours au centre de la préoccupation des chercheurs en didactique. Dans le but de trouver une solution palliative, ces chercheurs ont développé plusieurs axes de recherches parmi lesquels l'axe basé sur le processus cognitif et l'axe basé sur l'étude des conceptions alternatives des apprenants. Plusieurs recherches révèlent que les difficultés d'apprentissage découlent de la méthode d'enseignement utilisée ; ainsi, une mauvaise approche influence sur le mode de raisonnement des élèves. C'est dans cette perspective que, selon Cormier, « L'explication du raisonnement employé par les étudiants serait ainsi la voie permettant de repérer la conception alternative sur laquelle ce raisonnement s'appuie » (Cormier, 2014, p.27). En chimie, les apprenants utilisent plusieurs modes de raisonnement informels pour faire immerger leurs conceptions. Talanquer et

Christian (2012), ont identifié quatre modes de raisonnement dominants en chimie à travers une analyse des conversations des étudiants. Ces modes ont été repris par Cormier (2014). On peut citer le mode de raisonnement basé sur les modèles, le mode de raisonnement basé sur les règles, le mode de raisonnement basé sur les cas et le mode de raisonnement basé sur les symboles (Cormier, 2014). Ces modes de raisonnement sont très utiles dans le sens où les différents auteurs se sont appuyés sur plusieurs concepts chimiques pour les répertorier. De nombreux auteurs ont produit des travaux sur l'analyse des connaissances qui affectent la compréhension des concepts de base en chimie sur la base du développement des modèles mentaux (Gilbert & *al.*, 2022 ; Cormier, 2014). Les résultats suggèrent que les élèves peuvent développer les différents types de conception suite aux raisonnements informels dans l'apprentissage de la chimie. Quand les apprenants veulent résoudre un problème en chimie, le processus de raisonnement est différent et évolutif (Krafts et *al.*, 2010). Il est indispensable de prendre en considération les modes de raisonnement en chimie afin de mieux catégoriser les productions des apprenants.

3.1. Le mode de raisonnement basé sur les modèles

C'est le mode le plus recommandé pour la résolution des problèmes en chimie ; les chimistes l'utilisent surtout pour la description, la prédiction et l'explication de la matière (Justi & Gilbert, 2006). La chimie est une discipline scientifique donc plusieurs concepts relèvent de l'abstrait. À cet effet, les modèles sont développés pour saisir le sens et la nature de la matière dans les trois domaines d'apprentissage de la chimie. Cormier (2014) dénombre plusieurs modèles : « les domaines du savoir en chimie (macroscopique, sous-microscopique, ou symbolique) ; les dimensions (structures, temps, énergie) ; l'approche (conceptuelle ou mathématisée) ... » (Cormier, 2014, p. 59).

Ces modèles mettent à notre disposition les outils nécessaires à la communication et favorisent la construction des connaissances chimiques (Talanquer & Christian, 2012). Pour Vosniadou, les étudiants sont à mesure d'utiliser le raisonnement basé sur les modèles dans la résolution des problèmes chimiques mais, ces modèles souvent convoqués semblent être des entités hybrides combinant des idées scientifiques aux croyances sur les propriétés et le comportement de la matière (Vosniadou, 1994). Ce modèle est le moins utilisé par les étudiants. Les travaux de Talanquer & Christian (2012) présentent une moyenne de 8,53 % des apprenants qui utilisent ce mode de raisonnement. Selon ces auteurs, les étudiants préfèrent utiliser les idées intuitives pour construire les représentations.

3.2. Le mode de raisonnement basé sur les cas

Les apprenants se basent souvent sur des expériences ultérieures pour résoudre un problème auquel ils sont confrontés. On adapte le cheminement des anciens exercices pour les appliquer à des nouveaux exercices afin d'interpréter ou d'expliquer. Ce type de raisonnement est souvent observé chez les scientifiques (mathématiciens, physiciens et chimistes). Il est tout simplement question de faire une comparaison entre le raisonnement du problème passé et celui du nouveau problème. Cette façon de raisonner impacte négativement sur une approche quand on est confronté à la nouvelle situation. Nous reconnaissons qu'il donne des résultats dans certaines situations mais est invalide dans d'autres. L'apprenant préfère les cas similaires plutôt que de trouver des stratégies satisfaisantes pour aboutir à la bonne réponse. Pour cela, trois conditions sont requises : d'abord l'expérience passée doit être vraie, ensuite l'apprenant doit avoir bien assimilé et enfin, il doit se souvenir du cheminement et être capable de l'appliquer formellement à la nouvelle situation (Leake, 1996). Certains auteurs en chimie soutiennent le rôle capital de ce modèle (Kovac, 2022) en ce sens où une portion de nos connaissances provient du raisonnement basé sur les cas. Comme exemple, rappelons que la définition d'une molécule est une entité chimique électriquement neutre, formée d'un assemblage d'atomes identiques ou différents et liés entre eux par des liaisons covalentes. À partir de cette définition, les apprenants représentent correctement certaines molécules (H_2 ; H_2O ; CO_2). Malheureusement, les apprenants appliquent à tort et à travers ce modèle en se basant parfois sur cette définition pour dire que le NaCl est une molécule.

Dans certaine situation, les apprenants vont plutôt convoquer les méthodes expérimentales vécues en famille pour résoudre les nouveaux problèmes. « C'est un raisonnement plutôt inductif, plus rapide que le raisonnement basé sur les règles, mais aussi plus prompt à générer les réponses incorrectes » (Cormier, 2014, p. 58). Elle pense que l'utilisation d'une méthode expérimentale passée constitue un péril pour l'accès à un savoir scientifique. En réalité, les expériences acquises en famille présentent toujours des limites dans certaines situations et influencent conséquemment sur le mode de raisonnement des apprenants.

3.3. Le mode de raisonnement basé sur les règles

Ces modèles peuvent se transformer en une règle qui sera générale. Cette règle constitue une heuristique pour que l'apprenant puisse conclure face à un problème. Ce mode peut être efficace en ce sens où il génère des bonnes réponses sans trop fournir d'effort et en

un temps réduit. Ce modèle est aussi négatif dans la mesure où il est appliqué dans toutes les situations sans discernement. On l'utilise en chimie mais avec beaucoup de précaution. Il existe plusieurs règles en chimie, par exemple, en seconde scientifique la répartition des électrons sur les couches électroniques est conditionnée par deux principes : le principe de Pauli qui stipule que le nombre d'électrons maximal pouvant appartenir à une couche est $2n^2$ et le principe de construction. Selon ce principe, le remplissage des électrons sur les couches électroniques suit l'ordre croissant des nombres quantiques ; la nouvelle couche est remplie si la précédente est saturée.

Il y'a des règles pour nommer, représenter et classer les substances chimiques. Selon Talanquer et Christian (2012), il existe des règles dites empiriques basées sur les propriétés des composés chimiques comme « La dissolution de ce qui se ressemble ». On peut aussi citer les règles théoriques qui produisent les explications aux modèles, à l'instar de la règle de l'octet : « Au cours des transformations chimiques, les atomes ont tendance à acquérir la structure électronique stable des gaz rares qui leur sont le plus proche dans la classification périodique ».

Ces différentes règles sont très importantes pour la compréhension de certains principes chimiques. Néanmoins, chaque règle a son domaine d'application spécifique mais cela peut avoir des exceptions. Les recherches en didactique montrent que ces exceptions ne sont pas souvent respectées par les apprenants. C'est le cas des deux principes permettant de remplir les couches électroniques qui ont une limite souvent inaperçue par les apprenants : « Le programme de la classe de 2^{nde}, on se limitera aux 18 premiers éléments ($1 \leq Z \leq 18$) ». Quand la règle est mal manipulée, on aboutit à une conception alternative. Selon Cormier, c'est un mode de raisonnement déductif utilisant les connaissances intuitives avec peu de raisonnement en raccourci (Cormier, 2014). Ce type de raisonnement ne favorise pas l'esprit de créativité puisque la bonne réponse est trouvée à la seule condition que la règle soit appliquée. Toutefois, quand cette règle est mal agencée ou interprétée, la réponse produite est erronée.

Ils s'appuient sur ce mode de raisonnement pour affronter tous les problèmes. Les étudiants appliquent les règles normatives et empiriques comme approche principale dans la résolution des problèmes (Talanquer & Christian, 2012). C'est dans cette logique que les difficultés rencontrées par les apprenants pour produire de bonnes réponses quand ils dessinent le mécanisme réactionnel proviennent du raisonnement basé sur les règles (Kraft & al., 2010). Ainsi, « On peut exiger que toute loi ou théorie scientifique soit confrontée à la

réalité dans une série de tests rigoureux pour être acceptée ou préférée à ses rivales... » (Chalmer, 1987, p. 50).

Le mode de raisonnement basé sur les symboles

C'est le mode le plus utilisé en chimie par les enseignants. Il est basé sur l'utilisation des symboles chimiques. Ce mode est aussi très utilisé par les apprenants parfois sans en connaître la signification. Talanquer et Christian (2012) montrent qu'au cours des conversations des étudiants, rien n'indique que les symboles chimiques représentent les substances chimiques. Dehon et Snauwaert (2011) ont mené une étude sur une centaine d'élèves de cinquième année du secondaire de deux établissements appartenant à deux réseaux différents d'enseignement en Belgique ; les résultats montrent que les élèves font « la confusion entre l'atome et la molécule et autour de la symbolique utilisée dans une équation de réaction donnée (en l'occurrence, l'équation de combustion du sodium) : $4\text{Na}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{O}_{(s)}$ » (Dehon & Snauwaert, 2011, p.52).

On peut aussi noter une confusion entre le mode de raisonnement basé sur les symboles et celui basé sur les modèles puisque les modèles s'appuient sur les symboles pour expliquer une idée.

L'analyse du processus de raisonnement révèle une forte dépendance dans le raisonnement basé sur les règles et les cas pour la résolution des exercices. Le rôle mineur que joue ce raisonnement signale l'urgence d'analyser de manière critique l'enseignement de la chimie à tous les niveaux d'enseignement (Talanquer & Christian, 2012). Le constat fait est que les étudiants qui essaient même d'utiliser ce mode le font de manière passive. Les auteurs invitent d'ailleurs les enseignants à une nouvelle forme de construction des concepts chimiques dans leurs classes et à revoir les pratiques d'évaluation en mettant l'accent sur les composants interprétatifs au profit des tests répliatifs et applicatifs, en plus apporter de l'aide aux apprenants quant aux limites des autres modes de raisonnement. Selon Maury :

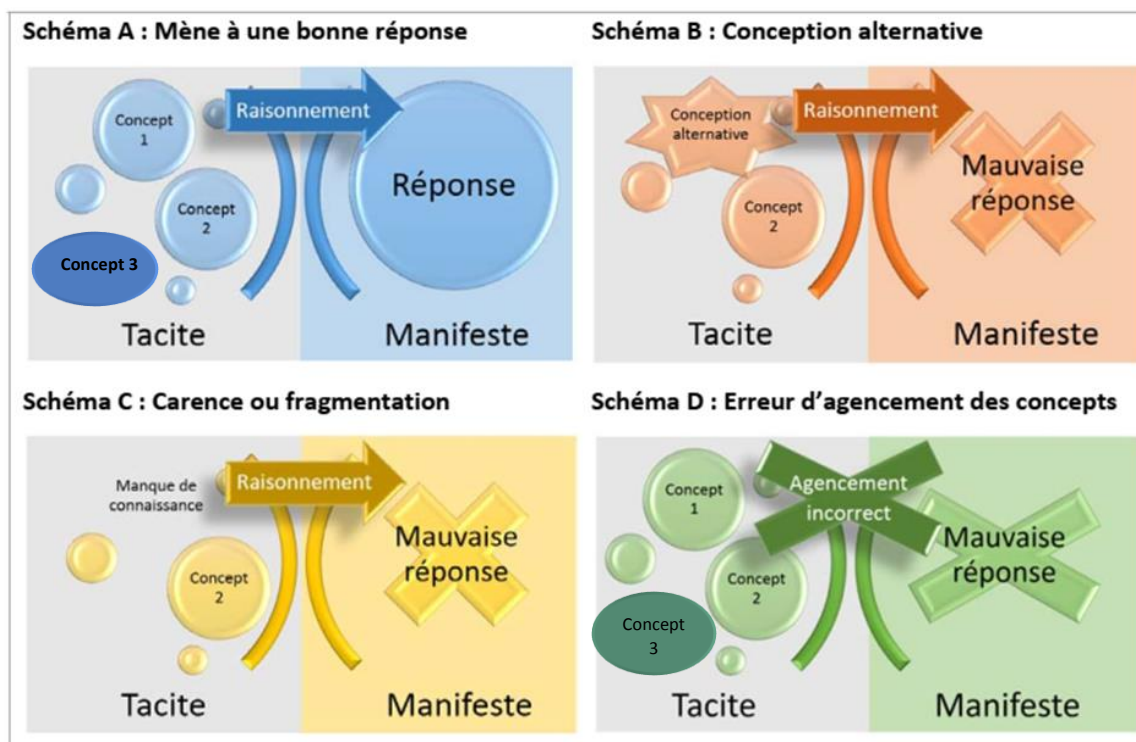
Rebondissez sur les erreurs, même si c'est parfois tentant de les esquiver ou de les passer sous silence. Vos élèves apprennent plus des fautes de leurs camarades que de la bonne réponse d'un seul. Quand un élève se trompe, demandez-lui d'expliquer son raisonnement : « comment as-tu fait pour trouver ce résultat ou cette réponse ? ». Le but est de comprendre l'origine de la difficulté. Cela vous permettra peut-être de lever immédiatement des ambiguïtés ou des incompréhensions qui ne vous avaient pas sauté aux yeux. (Maury, 2008, p. 36)

3.4. Raisonnement basé sur l'automatisme et raisonnements basés sur le processus cognitif

Les difficultés d'apprentissage, la plupart du temps, trouvent leurs sources sur les conceptions alternatives. Il est nécessaire de faire une analyse de ces conceptions et de les catégoriser selon le mode de raisonnement des apprenants (Furio & al., 2000). Le raisonnement est l'emploi d'une logique basée sur le processus cognitif afin de produire une réponse pertinente. C'est un mécanisme permettant d'établir les relations entre les idées et les concepts (Cormier, 2014). On parle dans ce cas d'un apprentissage réussi. Cormier déclare que ces idées sont situées dans l'esprit où on n'a pas accès. Lorsqu'un problème qui nécessite une réponse est posé, l'élève actionne son raisonnement pour engendrer une réponse manifeste (Cormier, 2014). Quand ces idées ne sont pas bien structurées, la réponse est fautive. À travers les écrits antérieurs, Cormier, en 2014, a mis sur pied quatre déclinaisons conduisant les modèles mentaux aux réponses correctes.

Figure 25

Les quatre modèles mentaux (Cormier, 2014)



Nous allons nous appuyer sur les modèles A, B, et C pour analyser le raisonnement des apprenants à partir de leurs productions dans le cadre cette recherche.

Le schéma A correspond à une réponse correcte. Le processus cognitif est mis en application avec un cheminement cohérent et bien structuré. La production obtenue est en

accord avec la théorie scientifique. On parlera d'une connaissance stabilisée qui nécessite être entretenue pour qu'elle soit durable et pour qu'elle ne se disperse pas. Dans ce modèle, trois concepts sont explorés, contrairement à deux chez Cormier qui a expliqué qu'une réponse peut être obtenue en convoquant un ou plusieurs concepts.

Le schéma B indique que la réponse produite est erronée, c'est-à-dire que celle qui n'est pas validée par la communauté scientifique. Ce mode de raisonnement est guidé par les idées premières qui sont parfois puisées dans un cadre de référence où elles sont logées. Dans ce raisonnement, l'apprenant est sûr et certain de sa logique et est prêt à apporter les justifications pour soutenir sa thèse.

Le schéma C illustre également un processus qui aboutit à une mauvaise réponse due à un manque de connaissance ; c'est ce que Cormier a appelé « Fragmentation ». Les raisons peuvent être multiples : l'apprenant n'a pas assez d'outils cognitifs nécessaires pour aborder le concept, il n'a jamais manipulé le concept ou alors le concept est simplement mal assimilé. Dans certaines situations, l'apprenant peut avoir toutes les ressources disponibles pour répondre à la question, mais ne comprend pas le sens de la consigne. Dans ce cas, il est dans l'obligation de mettre en relation les autres informations avec la question ou la consigne qui lui est posée.

Pour le schéma D, il illustre également un processus qui aboutit à une mauvaise réponse à cause d'un mauvais agencement des concepts. La connaissance mise en place est insuffisante pour réagir sur le problème en face. Les résultats recherchés sont entachés d'erreurs qui sont parfois immesurables à cause d'un manque de précision. Dans certains cas, on peut assister à un encombrement de connaissances dû à la présence de plusieurs ressources mal mobilisées. L'apprenant est confus sur le choix et il faut nécessairement un outil approprié pour établir un ordre. Le paragraphe suivant évoquera les théories qui expliquent ces outils.

4. Les théories explicatives

Les théories d'apprentissage sont constituées de principes bien structurés. Dans le domaine de l'éducation, ces principes visent à clarifier comment les apprenant perçoivent et retiennent le savoir dans leur processus d'apprentissage. Le fonctionnement de la pédagogie est basé sur les outils des différentes théories qui lui offrent les modèles pour guider ou orienter l'enseignement ; les théories d'apprentissage sont considérées comme des approches éducatives dans lesquelles les stratégies d'enseignement sont proposées pour faciliter la tâche

à l'enseignant et pour booster les performances scolaires. « L'application directe d'une théorie d'apprentissage permet de formuler des hypothèses de travail et de recherche afin d'améliorer les apprentissages » (Aime, 2022, p.8). Il existe plusieurs théories d'apprentissage qui ont contribué à la construction des postulats favorisant l'apprentissage et chaque théorie d'apprentissage est caractérisée par des principes bien définis. Les enseignants doivent se servir de ces principes pour obtenir de bons résultats à travers une bonne collaboration avec les élèves. Dans le cadre de ce travail et selon les principes du cadre théorique choisi, nous avons retenu cinq théories d'apprentissage.

4.1. Le modèle allostérique

Le mot allostérique vient de la métaphore issue du domaine de la biologie ; ce sont les protéines dites allostériques qui changent de forme en fonction de l'environnement où elles se trouvent. Les anglo-saxons ont repris ce terme plus tard sur le terme allosteric et le plus célèbre est André Giordan. Ce modèle est fondé sur la mobilisation du savoir, la compréhension à travers une interaction. Nous pouvons comprendre que sa fonction initiale est de mettre en lumière le fonctionnement de l'apprentissage. André Giordan a alors transposé cela dans le domaine scolaire par le terme « allosteric Learning model », pour dire modèle allostérique d'apprentissage. Selon lui, la construction d'une connaissance nouvelle se fait à travers une « activité d'élaboration d'un apprenant confrontant des informations nouvelles et ses connaissances mobilisées et produisant de nouvelles significations plus aptes et répondre aux interrogations qu'il se pose » (Giordan ,1996, p.49). Le modèle apparaît après plusieurs théories qui selon les didacticiens ne prenaient pas en compte les conceptions des apprenants tel que l'empirisme, le behaviorisme ; ainsi, la conception devient un aspect fondamental de base pour le modèle. Selon le modèle, l'apprenant est le gestionnaire de son savoir et l'enseignant est le guide que Giordan a qualifié de « metteur en scène » (Giordan, ibid). Á cet effet, le modèle propose quelques caractéristiques pour assurer cette interaction.

4.1.1. Les caractéristiques du modèle

On distingue cinq caractéristiques liées entre elles et regroupées en dimensions et indicateurs. Le tableau ci-dessous en donne un aperçu.

Tableau 16

Dimensions et indicateurs du modèle allostérique de l'apprendre (Cina, 2011, p. 16)

<i>Concept</i>	<i>Dimensions</i>	<i>Indicateurs</i>
<i>Modèle allostérique de l'apprentissage</i>	<i>Déséquilibre conceptuel</i>	– <i>Questionnement ;</i> – <i>Expression ;</i> – <i>Investigation ;</i> – <i>Motivation.</i>
	<i>Formalisme</i>	– <i>Modélisation ;</i> – <i>Schématisation ;</i> – <i>Symbolisation.</i>
	<i>Modélisation du savoir</i>	– <i>Confrontation élève-élève ;</i> – <i>Confrontation élève-réalité ;</i> – <i>Confrontation élève-information ;</i> – <i>Confrontation élève-enseignant.</i>
	<i>Intégration verticale</i>	– <i>Concepts structurants</i>
	<i>Savoir sur le savoir</i>	– <i>Attitude scientifique ;</i> – <i>Humilité ;</i> – <i>Distanciation.</i>

Il faut préciser que les indicateurs de la dernière dimension sont l'œuvre de Cina en 2011, étant donné que le modèle allostérique ne précise rien à cet effet.

– **Le déséquilibre conceptuel**

Il faut susciter la motivation par une question pertinente ou une situation problème, une image. Cette question doit prendre en compte le contexte environnemental de l'apprenant. Dès lors que la motivation qui est la clé de l'apprentissage est installée, l'élève devra émettre toutes les hypothèses possibles. On assiste donc à l'émission des conceptions erronées et il est question pour l'élève de tester ses connaissances sur le sujet donné.

– **La mobilisation du savoir**

Après l'émission des hypothèses, l'apprenant passe à sa vérification par une expérimentation ou une confrontation faite entre élève-élève, élève-réalité, élève-information et élève-enseignant. Dans ces diverses confrontations, c'est l'apprenant qui est l'acteur principal, ce qui place l'élève au centre du savoir. Ces confrontations vont permettre à l'apprenant de surpasser ses conceptions afin de les faire évoluer.

– **Le formalisme**

La conscience étant déjà prise, il faut renouveler le nouveau savoir en passant par la symbolisation, le schéma.

– **L'intégration verticale**

Le nouveau savoir étant acquis, il faut l'opérationnaliser ; l'élève doit être capable de transférer les compétences dans divers contextes. Ceci est possible si le nouveau savoir s'est imposé sur l'ancien, « des nouvelles données sont plus facilement apprises lorsqu'elles sont intégrées dans les structures d'accueil ou quand elles sont en usage » (Giordan, 1994, p. 309) ; Il faut le rendre utile le nouveau savoir.

– **Le savoir sur le savoir**

Selon Cina (2011), il s'agit de s'incliner sur la manière par laquelle la connaissance est construite. Elle met l'accent sur la métacognition : « La métacognition, c'est prendre de la distance sur ses pratiques et dans le cas des sciences sur la démarche scientifique utilisée. Quelque part, c'est aussi adopter une attitude d'humilité par rapport à cette démarche » (Cinna, 2011, p.17).

4.2. La théorie socio-constructiviste

C'est une théorie basée sur l'apprentissage collaborative. C'est le travail en collaboration qui aboutira à l'autonomie personnelle de l'apprenant. « Apprendre c'est échanger du sens, dans des rapports sociaux. C'est en cela que s'intéresse la pensée socioconstructiviste » (Aime, 2022, p.8). Il soutient la thèse selon laquelle l'apprenant ne peut pas être séparé de son contexte social tel que pensaient Piaget et Perry. Cette théorie stipule que l'élève est le pivot dans le processus de construction de la connaissance. Son point focal de cette théorie est le social car il déclare que le processus du développement de l'enfant procède du social vers l'individuel et non de l'individuel vers le social (Vygotsky, 1987, cité par Lecomte, 1998).

4.2.1. Définition

Cette théorie vient de Vygotski (1934-1997) et Bruner (1960) ; elle a été élaborée dans le but de compléter la théorie constructiviste de Piaget. Elle met en exergue l'interaction sociale et la culture dans l'acquisition du savoir. La conceptualisation d'une connaissance est le fruit d'une longue discussion entre les individus et non un processus d'assimilation et d'accommodation comme pensent Piaget et ses collaborateurs (1989). L'apprentissage à travers l'interaction sociale entre les pairs influence sur la construction des connaissances.

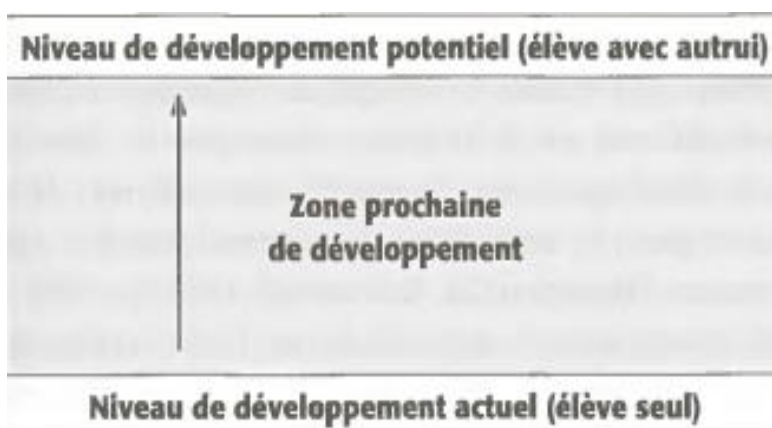
Multiplier aussi les activités en petits groupes (de trois ou quatre) que les élèves formeront d'eux-mêmes. Chacun aura un rôle précis (secrétaire, chef d'équipe et rapporteur). Les élèves sont souvent plus motivés pour surmonter les problèmes quand ils travaillent à plusieurs, par exemple sous la forme d'une affiche, d'un compte rendu oral.(Maury, 2008, p. 63)

Pour Vygotski (1997), l'apprentissage ne se limite pas au cours magistral fait en classe par l'enseignant, mais se poursuit par la relation que l'apprenant entretient avec les autres. Ainsi, on va distinguer plusieurs confrontations. Cette interaction permettra d'avoir non seulement une classe active, mais aussi un bon processus pour l'acquisition du savoir, ici tout le monde agit.

Les points de vue divergents vont les amener à approfondir leur réflexion, ce qui aboutit à la résolution du problème (Vygotski, 1934-97), contrairement à Piaget qui pense que l'enfant résout un problème en fonction de son âge. Ainsi, Vygotski en 1978 a évoqué la notion de ZDP qui estime que toute personne ayant un niveau intellectuel plus élevé que celui de l'élève peut bien le guider. L'enfant peut résoudre seul certaines tâches mais pour d'autres, il ne sera capable que s'il est guidé par un aîné. C'est une zone difficilement accessible par l'élève mais elle le devient avec l'appui de l'enseignant. « C'est dans la ZPD de l'apprenant qu'intervient la médiation de l'enseignant » (Marjan, 2018, p.15). La ZPD préconise l'apprentissage en tout lieu mais avec l'aide d'un tuteur ou un logiciel d'apprentissage. Cette philosophie d'apprentissage est structurée par quelques didacticiens :

Figure 26

Schéma d'illustration de la zone proximale de développement (Vygotski, 1934-1989)



4.2.2. Les principes de la théorie

Legendre en 2008 inscrit cette théorie dans un paradigme épistémologique car le modèle s'intéresse sur la nature du savoir. Le contexte socioculturel n'est pas séparable de

l'apprentissage et Legendre s'est prononcé à ce sujet « Le socio-constructivisme conduit à établir d'étroites relations entre le culturel, le social et le cognitif » (Legendre, 2008, p.70). Dans ce contexte, une connaissance scientifique a lieu si et seulement si elle prend le dessus sur les conceptions de l'apprenant. Cette connaissance est le processus d'une coopération entre les pairs. D'autres principes sont ajoutés par Younes & Nabila (2015, p.3) : « Les prérequis, l'activité de l'apprenant, la médiation, des apprenants, la métacognition, la régulation et l'autonomie des apprenants ».

– **Le rôle de l'enseignant**

L'enseignant, qui est un guide, doit planifier le travail pour permettre à l'élève de promouvoir son propre savoir. Alors l'enseignant joue un rôle prépondérant dans la ZDP de l'enfant : « un soutien apporté dès la ZDP de l'apprenant lui permet de s'approprier graduellement les stratégies proposées de façon à pouvoir les appliquer dans une autre activité qu'il pourra effectuer seul » (Marjan, 2018, p. 15). L'enseignant a donc le devoir d'apporter ce soutien. Pour cela, plusieurs facteurs entrent en jeu : l'enseignant doit proposer des activités pratiques, c'est-à-dire les moyens didactiques efficaces. Il a le devoir de placer l'apprenant dans les bonnes conditions de travail (environnement approprié, outils didactiques conformes, proposition des activités qui suscitent la motivation, instauration de la discipline qui fera naître la concentration) ; l'enseignant qui est l'accompagnateur doit fournir tous les outils appropriés relatifs à l'accompagnement de l'enfant vers la solution.

– **Le rôle de l'apprenant**

Il est au centre de l'apprentissage. C'est une théorie qui prend en compte les interactions entre l'apprenant et son environnement dans le but de développer les connaissances (Legendre, 2005).

4.3. La théorie de l'apprentissage expérimental

4.3.1. Origine de L'AE

Cette théorie a été mise sur pieds par Carl Rogers en 1980 dans le but d'actualiser et moderniser l'apprentissage. Le principe clé de cette théorie est l'apprentissage basé sur l'expérience. Elle est soutenue plus tard par Dewey et Lindemann. Dewey pense que tout apprentissage réussit est forcément lié à une expérience. Quant à Lindemann, il établit le lien direct entre la construction des connaissances et la pratique. En d'autres termes, l'accès à la connaissance est conditionné par la manipulation, par ce que l'on observe. On comprend mieux lorsqu'on est en contact avec la réalité. Plusieurs auteurs ont exploité cette théorie pour

en ressortir les différents modèles. Le quatrième modèle de Weil et McOll en 1988 place l'apprentissage expérimental « au service du développement personnel et de la conscience de soi » (Mandeville, 2005 cité par Léa, 2023, p.9). Le modèle de Mandeville en 2009 « met l'apprenant au cœur de l'apprentissage en le laissant choisir les ressources et les outils dont il a besoin pour apprendre » (Mandeville, 2009 Cite par Léa, 2023, p.9).

Le modèle de Kolb, considéré comme le modèle moderne, suit un ordre chronologique : « l'expérience concrète, l'observation réflexive, la conceptualisation abstraite, l'expérimentation active » (Kolb, 1984 cité par Léa, 2023, p.9). Pour la première étape, il faut vivre une situation dans laquelle existe un problème afin de faire appel à la pensée. La seconde étape est suivie par l'observation qui consiste à observer en examinant leurs significations pour émettre des hypothèses. Ces hypothèses lui permettront de créer des concepts et formules des généralisations, le dernier modèle soumet ces concepts et généralisations à la réalité quotidienne (Bechard, 2012). Le modèle de Kolb se résume ainsi : l'apprenant qui vit une situation doit être capable d'observer en réfléchissant afin de créer de nouveaux concepts pour confronter à la réalité. En d'autres termes, la construction des connaissances se réalise à travers l'expérience directe de l'apprenant.

Suivant le schéma des quatre modèles cités plus haut (Dewey, Lewin, Piaget, James), Freire et Carl ont fait 6 propositions sur lesquelles s'appuie l'apprentissage.

1-l'apprentissage est un processus, plutôt qu'un résultat. 2-Tout apprentissage est un réapprentissage. 3-l'apprentissage repose sur des transactions synergiques entre l'apprenant et son milieu. 4-Les conflits, différences et désaccords alimentent le processus d'apprentissage en obligeant l'apprenant à basculer constamment entre les modes différents ou divergents de réflexion et d'action. 5- L'apprentissage est un processus de construction de connaissance lors duquel le savoir social est créé et recréé pour constituer le savoir personnel de l'apprenant. 6- L'apprentissage est un phénomène holistique d'adaptation au monde et non simple résultat de la cognition.(Sorella ,2020, p. 25)

Avec cette théorie dont l'élève valide son savoir, et améliore son apprentissage. En quelque sorte, l'expérience est placée au centre de l'apprentissage. Selon Dewey, c'est le principe de continuité étant donné que l'expérience ultérieure est l'aboutissement de la modification de l'expérience antérieure par le biais du principe de l'interaction. Chaque expérience est considérée comme une formation continue pour la réussite de l'expérience future d'où son caractère cumulatif et évolutif.

4.3.2. Définition

L'apprentissage expérimental est une méthode permettant de conceptualiser un savoir par le biais de la pratique. Selon La pointe (2022 cité par Léa, 2023), « l'AE est un processus d'acquisition de connaissance et de compétence par la pratique et la réflexion sur une période d'engagement, d'observation et/ou d'immersion »(p.10). C'est un processus que les élèves utilisent pour avoir accès à la connaissance.

4.3.3. L'apprentissage expérimental : une pédagogie innovante

Cette section illustre la place de l'AE dans la constitution d'une pédagogie innovante tout en signifiant le rôle de l'apprenant, de l'enseignant et l'intérêt de l'AE.

– La place de l'élève dans l'AE.

L'AE donne le pouvoir à l'élève dans sa formation car c'est une démarche typiquement centrée sur l'apprenant et non sur l'enseignant. Cette méthode s'oppose à la pédagogie qui prône le transfert de connaissance. L'apprenant est actif et est le seul décideur. À partir de ce qu'il a vécu et observé, il élabore une liaison entre cette observation et le monde extérieur. Kolb en 1984 l'a montré à travers ses 4 modèles ; le processus est capital.

– La place de l'enseignant

L'enseignant joue le rôle de modérateur, de facilitateur. L'enseignant est un maillon du processus dans la mesure où il accompagne l'apprenant dans l'atteinte de son objectif. Il exploite les erreurs des élèves pour énoncer les objectifs obstacles. Le but de l'enseignant étant de développer chez l'apprenant les compétences transversales car « qu'un savoir sans application concrète ne sert absolument à rien ; en soi ce qui est important n'est pas tant de savoir que d'appliquer. Je ne dis pas non plus qu'il faille être un ignorant pour autant. La connaissance permet de modeler et faire grandir notre esprit » (Michel, 2005, p.16). À cet effet, l'enseignant doit concevoir l'expérience pratique en fonction de son contexte et élaborer les activités. Il doit adapter son cours en prenant en compte les réalités du monde. « On peut garder en mémoire que les collègues les plus efficaces sont aussi les plus équitables : ils réussissent à élever le niveau moyen de la classe tout en faisant progresser davantage les élèves en difficultés » (Hervieu, 2019, p.294). Pour lui, cette progression est manifestée par une modification significative du QI (Quotient intellectuel) des apprenants, « Or, on sait aussi que l'erreur, la difficulté et l'échec renvoient à l'élève une image négative de lui et viennent perturber la capacité d'apprentissage. » (Hervieu, 2019, p.296) C'est à ce niveau que l'enseignant doit intervenir tout en mettant les élèves en confiance.

– L'intérêt de l'AE

L'apprentissage expérimental permet tout d'abord à l'enseignant de créer un environnement positif dans la salle de classe, le cours est attractif et le rendement est significatif. Il permet aux enseignants d'améliorer leurs pratiques enseignantes, suscite la motivation et la concentration chez les apprenants, ce qui entraîne un engagement qui amène l'élève à mieux réfléchir. L'AE combat le décrochage scolaire en ce sens où il facilite la compréhension de la science. Il prépare les étudiants à s'intégrer dans la future vie active et met l'accent sur l'esprit critique et de créativité, active la confiance de l'élève sur la base de son autonomie et démystifie la science.

4.4. La théorie de la cognition située

4.4.1. Fondement de la théorie

Cette théorie prend ses racines dans plusieurs disciplines. En anthropologie, les chercheurs comme Jean Lave et ses collaborateurs ont contribué à la mise sur pied de cette théorie à travers leurs travaux portant sur l'apprentissage de la cognition dans les contextes réels. L'anthropologue Hutchins en 1995 dans son ouvrage explique l'intérêt d'un travail en équipe tout en prenant un exemple sur la localisation du bateau sur la carte située sur la côte (Heintz, 2007). Il met en exergue le travail collaboratif qui contribue au déplacement et à l'orientation d'un bateau, chaque tâche réalisée par une équipe est considérée comme une tâche cognitive. En ce sens, Hutchins établit une analogie avec l'apprentissage. En philosophie, certains auteurs à l'instar de Ponty et Dreyfus soutiennent les idées selon lesquelles il y'a une liaison entre l'esprit et l'environnement et le processus cognitif réside dans l'environnement. Bref plusieurs auteurs dans les années 1980-1990 ont contribué à la mise sur pieds de cette théorie, on peut citer entre autres Kirsh, Clancey, Lave et autres.

4.4.2. L'impact de la théorie de la cognition située pour l'apprentissage

Cette théorie soutient la liaison entre la savoir et le contexte dans lequel il est produit ; ce savoir dépend directement de l'expérience individuelle. Ainsi, le savoir acquit découle d'une activité concrète. Elle insiste sur la considération de l'environnement qui prend en compte l'interaction sociale et la culture. Ceci contribue à un changement conceptuel. « Il arrive que les concepts et techniques utilisés par la science, avec de bons résultats trouvent leur origine dans l'environnement social, extérieur à l'activité scientifique au sens strict du terme » (Chalmers, 1987, p.104).

Cette théorie soutient aussi l'idée que la compétence doit être transversale, c'est-à-dire utiliser la connaissance pour résoudre un problème ponctuel dans différents contextes. La théorie défavorise le transfert de connaissance en favorisant le processus d'acquisition du savoir par le biais d'une interaction entre les pairs. Pour aboutir à un apprentissage efficace, elle doit être située dans un contexte précis. L'enseignant et l'apprenant sont placés dans deux contextes :

- Le contexte social qui illustre l'environnement et le lieu ;
- Le contexte physique qui embrasse l'interaction entre les individus qui se développent et intègrent le processus de coopération.

L'apprentissage est donc un acte qui implique l'élève et son milieu. Perkins en 1995 soutient cette idée par deux points :

- *Les environnements physiques et sociaux participent à la cognition en tant que véhicules de la pensée, et pas uniquement comme source d'information ou comme supports matériels des productions d'un individu ;*
- *Les choses apprises ne résident pas que dans la tête d'un individu, mais elles influencent aussi sous la forme de modification de l'environnement.*(Perkins, 1995, p. 58)

4.4.3. Les principes de la théorie de la cognition située

De tout ce qui précède, nous pouvons en résumer les étapes :

- Le contexte ;
- L'activité expérimentale. La connaissance est liée à l'activité pratique ;
- La connaissance est construite à travers une interaction ;
- L'apprentissage efficace est situé dans un contexte ;
- La considération de la culture est capitale dans le processus de la cognition ;
- L'expérience individuelle influence la mobilisation du savoir ;
- L'interaction entre l'apprenant et son environnement est mise au-devant ;
- Le savoir s'adapte en fonction du changement contextuel.

4.5. Théorie basée sur l'apprentissage par la découverte.

4.5.1. Origine et définition de l'apprentissage par la découverte

Le principal acteur de cette théorie est Bruner de par son expérience personnelle vécue à Harvard en 1959, une expérience encourageante.

Elle a été conçu et réalisé par le groupe de recherche auquel je suis associé à Harvard en collaboration avec des enseignants de cinquième année d'une bonne école publique. Il porte sur le sujet peu prometteur de la géographie des États du Centre Nord et est actuellement en cours de sorte que je ne peux pas donner tous les résultats. Nous avons eu l'heureuse idée de présenter ce morceau de géographie non pas comme un ensemble de connus, mais comme un ensemble d'inconnues. Une classe s'est vu présenter des cartes vierges, ne contenant que des tracés des rivières et des lacs et les ressources naturelles. On leur a demandé dans un premier exercice d'indiquer où seraient situées les principales villes, où se trouvaient les chemins de fer et où se trouvaient les principales autoroutes. Les livres et les cartes n'étaient pas autorisés et la « recherche des faits » était présentée sous un jour pécheur. À la fin de cet exercice, une discussion en classe a commencé dans laquelle les enfants ont tenté de justifier pourquoi la grande ville serait ici, une grande ville là, un chemin de fer sur cette ligne, etc. La discussion a été chaude. Après une heure et de nombreuses supplications, la permission fut donnée de consulter la carte murale enroulée. Je n'oublierai jamais un jeune étudiant, alors qu'il pointait du doigt le pied du lac Michigan en criant : « Yippee, Chicago est au bout du lac qui pointe vers le bas ». Et un autre répondant, « Eh bien, OK : mais Chicago n'est pas bon pour les rivières et ça devrait être ici où il y a une grande ville (Saint Louis) ». Ces enfants réfléchissaient et l'apprentissage était un instrument pour vérifier et améliorer le processus. Pour au moins une demi-douzaine d'enfants dans la classe, il n'est pas indifférent qu'aucune grande ville ne se trouve à la jonction du lac Huron, du lac Michigan et du lac Ontario. Ils ont été légèrement secoués par les théoriciens des transports lorsque les faits ont été connus. Les enfants d'une autre classe enseignaient de manière conventionnelle, comprenaient bien leurs faits, assis, assis sur un banc. Et c'était tout. On verra dans 6 mois quel groupe se souvient le plus. Mais quoi qu'il arrive, une chose que je vais prédire. Un groupe a appris la géographie comme un ensemble d'actes d'induction rationnels –que les villes surgissent là où il y a de l'eau, là où il y a des ressources naturelles, là où il y a des choses à traiter et à expédier. L'autre groupe a appris passivement qu'il y avait des villes arbitraires à des endroits arbitraires par des masses d'eau arbitraires et des ressources d'approvisionnement arbitraires. On apprenait la géographie comme une forme d'activité. L'autre stockait certains noms et positions comme une forme passive d'enregistrement. (Bruner, 1959, pp. 187-188 cité par Schmidt, 2012, pp.25-26)

Au regard de cette expérience concrète, nous comprenons que l'apprentissage basé sur la découverte amène les élèves à une confrontation directe sur un problème posé donc la solution sera clarifiée à travers une longue discussion. Les apprenants ont le pouvoir de s'exprimer. Cette théorie est basée sur le principe de l'émission des hypothèses où pendant l'expérience, les apprenants découvrent la réalité. Bruner (1959), préconise que quand l'élève

découvre, le stimulus est déclenché et ceci favorise une compréhension aussi profonde de la réalité d'où la remise en cause de l'hypothèse de départ si elle était erronée. La découverte fait également naître une motivation et facilite l'acquisition du savoir. Cette théorie constitue un outil efficace pour repérer les conceptions alternatives étant donné que l'émission des hypothèses initiales est fondée sur les connaissances antérieures. Cette forme d'approche est la base de tout enseignement efficace. Les élèves développent une autonomie dans le choix de leurs ressources logées dans une cage de référence. Elle permet également à l'élève de s'impliquer dans la construction de son savoir. Il soutient qu'un apprentissage intéressant découle d'un problème comme point de départ. Selon Bouchut et al (2020), c'est apprendre par essais d'une part et par erreurs d'autre part. Pour eux, il s'agit de mobiliser les conceptions des apprenants face à un problème posé, les apprécier afin de mettre en évidence la compétence recherchée : « ...on gagne en termes d'activation des connaissances antérieures et son application à un problème intéressant, l'apprentissage par l'échange d'idées et la production des nouvelles idées » (Schmidt, 2012, p. 26). Cette théorie met aussi l'accent sur la création des petits groupes dans la salle de classe tel que le signalent certains auteurs : « Lors de l'animation, créer des groupes de 3 ou 4 participants qui profiteront de leurs questionnements respectifs et des réponses de chacun en procédant par essayer-erreur... » (Bouchut, et al., 2020, p.76). L'apprentissage par la découverte est une théorie mettant en exergue l'exploration active des concepts. Cette approche prône une pensée critique et l'apprentissage autonome ; l'enseignant ici est un guide et soutient les apprenants dans leurs propres découvertes (Vera, 2024). L'apprentissage par la découverte est caractérisé par certains principes : « la résolution de problèmes, la gestion de l'apprenant, l'intégration et la connexion, et l'échec avec retour d'information. » (Vera, 2024, p.1). Pour lui, ces principes pourront aider l'enseignant à guider les apprenants vers la connaissance escomptée. À cet effet, il propose plusieurs techniques pour sa mise en œuvre : les réflexions, les études de cas, les expériences et les jeux de rôle. Dans le cas de notre recherche, nous avons utilisé la technique expérimentale. « Elle repose sur le fait que les étudiants acquièrent de nouvelles connaissances en faisant eux-mêmes l'expérience des choses par le biais de la découverte » (Vera, 2024, p.2). Les élèves convoquent leurs idées intuitives et les exploitent pour affronter le problème posé.

4.5.2. Les caractéristiques de la théorie par la découverte ou l'apprentissage par la découverte

La théorie par la découverte regorge plusieurs caractéristiques et met en avant l'interaction entre les pairs et entre les enseignants et les élèves en fonction des caractéristiques qu'elle possède. On peut citer entre autres :

– **La résolution du problème**

Dans la théorie par la découverte, la compétence acquise doit être appliquée à des situations de vie et doit permettre de résoudre des problèmes concrets visant à professionnaliser l'apprenant ; l'apprenant adopte une nouvelle posture de réfléchir, d'agir et de penser. Il est appelé à chercher lui-même la solution face à une situation à partir des informations existantes : « De cette façon, les étudiants deviennent la force motrice du processus d'apprentissage » (Vera, 2024, p.5).

– **La gestion de l'apprenant**

L'accent ici est mis sur le travail en groupe, permettant aux élèves anxieux de trouver leur compte ; cette méthode désstresse les élèves à problème.

– **L'activité pratique**

La théorie par la découverte met en exergue la priorité sur l'apprentissage basé sur la pratique. Pour cela, l'enseignant a le devoir de concevoir les travaux pratiques adaptés à l'objectif fixé. Ces activités pratiques consolident les acquis en ce sens où on applique les connaissances théoriques à des situations réelles.

– **Intégrer et connecter**

Les enseignants orientent les élèves à la découverte d'une nouvelle connaissance et les invitent à se connecter au monde réel. « Il encourage les élèves à faire un lien entre la connaissance antérieure et la nouvelle connaissance qu'ils acquièrent » (Vera, 2024, p.8). Comme l'apprentissage par cette théorie est concentré sur l'élève, l'enseignant n'est qu'un guide. Il évite de prendre la place d'un leader. Les apprenants sollicitent l'intervention de l'enseignant en cas de nécessité ; en ce moment la connaissance est formellement construite.

– **Analyse et interprétation de l'information**

« L'apprentissage par la découverte n'est pas axé sur le contenu, mais sur le processus. Il repose sur l'hypothèse que l'apprentissage n'est un ensemble absolu de faits » (Vera, 2024, p.22). La découverte de la bonne connaissance est mise en avant. L'information acquise doit être bien interprétée.

– **L'intégration des élèves dans la discussion**

Les élèves sont habilités à poser des questions et à participer aux discussions. Bruner considère cette étape comme une étape maîtresse de l'apprentissage par la découverte. L'élève est l'acteur principal de son apprentissage et pour cela toutes les questions sont permises.

– **Échec et retour d'information**

Le savoir est acquis par le biais d'un échec qui fait appel à un questionnement. L'échec est un moyen efficace dans l'apprentissage. C'est pour cette raison qu'il « incombe aux enseignants de fournir un retour d'information faute de quoi l'apprentissage sera incomplet » (Vera, 2024).

– **L'accent sur l'acquisition du savoir**

L'apprentissage par la découverte n'envisage en aucun cas la technique de mémorisation à travers des exercices uniquement. Les caractéristiques de cette théorie montrent que les connaissances scientifiques issues de l'observation, du questionnement et de l'émission des hypothèses perdurent dans le temps. L'enseignant doit attribuer des tâches aux élèves et faire la conclusion à la fin de l'expérimentation. L'évaluation des élèves ne prendra pas en compte les capacités de mémorisation, mais la compétence acquise.

4.5.3. Avantage de l'apprentissage par la découverte

Cette théorie constitue un impact significatif dans le processus d'enseignement apprentissage car l'apprenant est plus actif dans un apprentissage. Elle développe la compétence, l'apprenant est autonome dans son apprentissage grâce aux caractéristiques de la théorie. Les outils didactiques sont encouragés pendant l'enseignement. La priorité est mise sur la connaissance à long terme, elle « permet aux étudiants d'obtenir un retour d'information précoce sur leurs connaissances, leur compréhension, leurs compétences et les résultats obtenus » (Vera, 2024, p.32).

De toutes ces théories, nous retenons la prise en compte d'une interaction sociale, de l'environnement, de la pratique et du travail collaboratif qui intègrent la démarche d'investigation. Un enseignant qui décline ces principes met en péril l'atteinte de son objectif comme le signalait Bany et Johnson (1969) : « Si les enseignants ne sont pas capables d'obtenir la coopération de leurs élèves, leur efficacité sur le plan de l'enseignement pur risque d'être irrémédiablement compromise » (Bany & Johnson ,1969, p.312).

Au terme de ces théories, nous allons formuler les questions et hypothèses spécifiques.

5. La formulation des questions et hypothèses secondaires

Nous envisageons deux questions spécifiques à savoir :

- **Quelles sont les difficultés que rencontrent des apprenants des classes de 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général au Cameroun et leurs origines lorsqu'ils sont évalués sur le concept de mole ?**
- **Quelle est l'influence du processus d'enseignement apprentissage basé sur l'émission des hypothèses suivie de l'expérimentation dans un contexte socioconstructiviste sur les difficultés des apprenants lorsqu'ils sont de nouveau évalués sur le concept de mole ?**

La réponse à ces questions émane des hypothèses spécifiques que nous allons mesurer sur le terrain. Elles sont formulées ainsi qu'il suit :

- **Hypothèse n°1 : Les apprenants des classes de 3^{ème} de L'enseignement Secondaire Général au Cameroun rencontrent les difficultés d'ordre didactique et de manque de connaissance lorsqu'ils répondent aux questions sur le concept de mole ;**
- **Hypothèse n°2 : Le processus d'enseignement apprentissage basé sur l'émission des hypothèses suivie de l'expérimentation dans un contexte socioconstructiviste améliore les performances des apprenants lorsqu'ils sont de nouveau évalués sur le concept de mole.**

La validation ou le rejet de ces hypothèses permettra de valider l'hypothèse générale de cette recherche. Ces hypothèses seront vérifiées en passant par une méthodologie qui fera l'objet du prochain chapitre

**PARTIE II : CADRE MÉTHODOLOGIQUE ET
OPÉRATOIRE**

CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

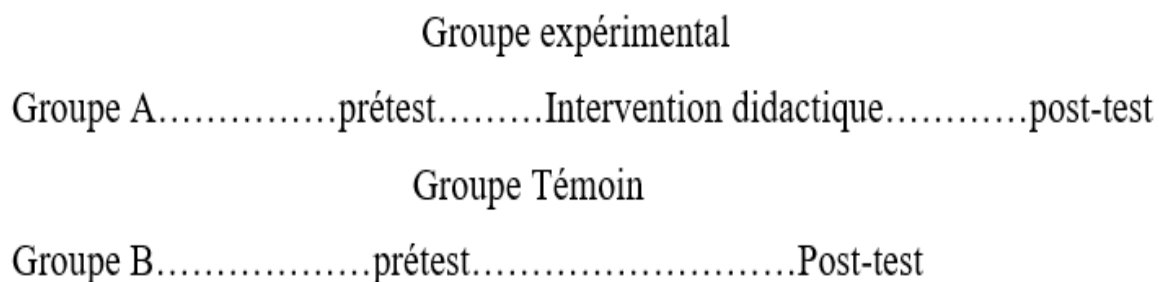
Dans le cadre de notre recherche, nous présenterons dans cette partie les différentes étapes de la recherche à savoir le type de recherche, les caractéristiques de l'échantillon, le processus de l'échantillonnage, le choix des données empiriques, les objets d'étude et les niveaux de classes retenues par rapport à nos questions de recherche. Nous allons définir les mesures qui encadrent le développement des items à deux paliers. Nous poursuivrons notre travail par la présentation des outils d'analyses correspondants. Nous préciserons en quoi la méthodologie mise en œuvre nous aidera à progresser dans l'étude de la construction du concept de mole. Nous présenterons enfin par un schéma synthétique les deux moments de recueil et d'analyse des données. Il s'agit d'un ensemble d'étapes structurées organisées qui permettent la collecte et l'analyse des données, de vérifier les hypothèses dans l'optique de produire des résultats

1. Type de recherche

Rappelons que cette recherche a pour but d'évaluer l'influence de la démarche d'investigation comme mode de transposition didactique pour construire le concept de mole. Pour atteindre notre objectif, nous allons dans un premier temps identifier les difficultés des apprenants et leurs origines lorsqu'ils sont évalués sur les problèmes impliquant la mole, après l'expérimentation, nous allons davantage réévaluer ces apprenants pour comparer les scores à travers les questions liées à la mole. Ceci permettra de prendre position quant aux difficultés des apprenants. À cet effet, nous allons nous focaliser sur une méthodologie quasi-expérimentale. Elle est basée sur un protocole de recherche selon le schéma du test papier crayon. La recherche quasi-expérimentale met l'accent sur l'analyse statistique impliquant une comparaison entre le groupe expérimental et le groupe témoin après un post-test. « En didactique, de nombreuses recherches quasi-expérimentales visent à déterminer si l'emploi d'une nouvelle démarche didactique ou d'un nouveau matériel didactique a eu un effet mesurable sur le groupe expérimental » (Thouin, 2014, p.148). En d'autres termes, elle préconise la vérification de l'existence d'une différence significative des résultats entre le groupe expérimental et le groupe témoin après un post-test. La figure suivante montre le modèle de recherche quasi-expérimental.

Figure 27

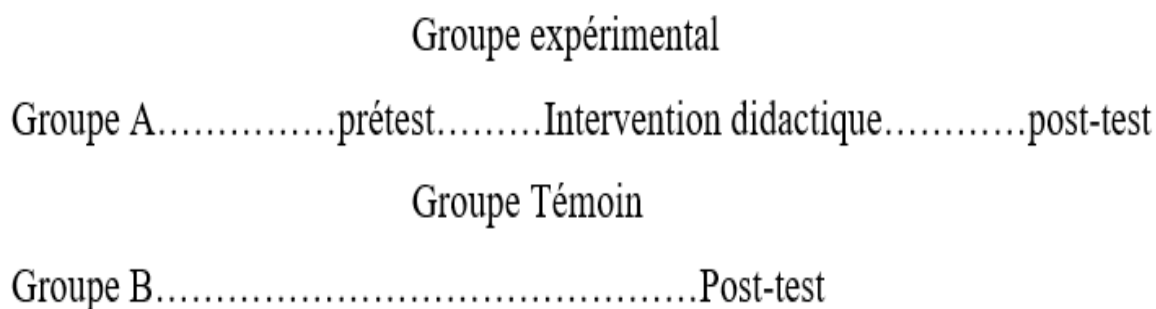
Modèle de recherche quasi-expérimental avec pré-test (Thouin, 2014)



Thouin (2014) précise que dans certaines situations, il peut arriver qu'on se passe du pré-test dans la mesure où les résultats scolaires sont semblables aux résultats qui pouvaient être recueillis lors du pré-test. Dans ce cas, le schéma devient :

Figure 28

Modèle de recherche quasi-expérimental sans pré-test (Thouin, 2014)



Dans la présente recherche, nous avons adopté le schéma de la figure qui mentionne l'usage d'un pré-test. Les données recueillies seront mixtes (quantitatives et qualitatives). Selon Thouin (2014), chaque orientation méthodologique apporte un éclairage particulier à la réalité observée dans l'approche mixte. Les résultats de chaque volet peuvent corroborer comme ils peuvent être en partie contradictoire. Notons que, quel que soient les résultats obtenus dans chaque volet, ils contribueront à la progression de la pensée du chercheur. Cette démarche permet de catégoriser les productions des apprenants en difficultés d'apprentissage par le biais d'une analyse des productions des apprenants. Il s'agit de vérifier le degré de réflexion lorsqu'ils sont face à une situation nouvelle, la manière d'agir des élèves avant toute intervention didactique chez les élèves de classes de troisième. Ceci nous conduit à explorer ces difficultés qui entravent l'apprentissage des concepts scientifiques. Une fois ces difficultés identifiées, au cours des activités du pré-test à travers un questionnaire à deux paliers, nous poursuivons ensuite par une séquence d'enseignement apprentissage pendant laquelle les difficultés seront considérées comme des objectifs pédagogiques à atteindre dans le groupe expérimental, ceci à travers l'utilisation de la démarche d'investigation comme mode de

transposition didactique. Le post-test sera administré dans le groupe expérimental ayant suivi une intervention didactique et le groupe témoin qui a suivi une intervention classique pour mieux mesurer l'impact de la DI dans la mobilisation du savoir sur le concept de mole.

Nous comprenons qu'en didactique, l'erreur ne doit plus être considérée comme un handicap à l'apprentissage mais plutôt comme un outil didactique permettant à l'enseignant de mieux connaître son public. C'est un levier qui contribue à rendre actif l'enseignement et l'apprentissage de la science. Pour ce fait, nous allons décrire ce public concerné.

2. Description du site de l'étude : choix des établissements et de salles de classes

Notre étude est menée dans quatre régions du Cameroun à savoir :

- La région du centre ;
- La région du Nord ;
- La région de l'Est ;
- La région du l'Ouest.

Il était important pour nous de faire le bon choix sur les établissements scolaires qui nous serviront de base pour mener notre étude. Nous avons retenu huit établissements(lycée de Nkolmesseng, lycée bilingue de kollere –Garoua, Lycée bilingue de Bertoua, lycée de Famtchuet, lycée bilingue d'Akono, Lycée de Bascheo, Lycée bilingue de Doumé et Lycée de Bati). Ces établissements sont répartis dans les quatre régions citées ci-dessus et sont des établissements publics ayant un premier et second cycle. Au second cycle, les élèves sont repartis dans les filières littéraires et scientifiques. Le taux d'accès dans les classes scientifiques est réduit ; par exemple, au lycée de Nkolmesseng, pour l'année académique 2022-2023, on compte 9 secondes littéraires pour 3 secondes scientifiques. Le choix de ces établissements comme lieux d'expérimentation tient de plusieurs raisons : le fait que nous soyons enseignants de chimie dans la ville de Yaoundé a influencé notre choix au lycée de Nkolmesseng car cela nous a épargné les difficultés liées à la recherche d'un établissement pour expérimentation dans la ville de Yaoundé. En effet, la disponibilité de nos collègues présents dans les différents établissements nous a facilité l'accès dans lesdits établissements. Nous savons qu'il n'est pas souvent aisé de mener ce genre de recherche dans les classes certificatives du fait que les enseignants sont toujours victimes de la course à la couverture des programmes d'étude. Les élèves développent parfois des réactions de désinvolture puisqu'ils ne trouvent pas l'intérêt immédiat de cette évaluation. Pour la plupart, ils diront

qu'il ne s'agit pas d'une évaluation formative qui prend en compte leur moyenne annuelle pour le passage en classe supérieure.

2.1. Des spécificités

Rappelons que parmi les 8 établissements choisis, nous en avons 4 (lycée de Nkolmesseng, lycée bilingue de Kollere –Garoua, Lycée bilingue de Bertoua et le lycée de Famtchuet) qui sont situés dans les zones urbaines. Ces établissements reçoivent les apprenants provenant des dix régions du Cameroun. Il s'agit de la couverture des différentes aires culturelles du Cameroun à savoir : Fang- Béti, Sawa, Grassfields et soudano-sahélienne. Chaque aire ayant une spécificité particulière qui peut influencer les conceptions des élèves comme le signalent certains auteurs. « De plus en plus, surtout dans les grands centres urbains, les écoles accueillent des élèves de multiples origines ethniques et culturelles. Les croyances et traditions transmises par les familles de ces élèves sont parfois incompatibles avec le contenu de certains programmes, notamment en science et technologie... » (Thouin, 2014, p.33). Selon Giordan (2002), les termes utilisés dans le langage pour interpréter la nature d'un objet varie en fonction du milieu social et culturel.

La provenance dans ces différentes aires nous amène à généraliser nos résultats puisque que notre échantillon est représentatif. C'est la raison pour laquelle nous avons diversifié les participants dans toutes les couches. Dans ces établissements urbains, les classes sont multiculturelles et l'enseignant devra intégrer cet aspect dans son enseignement. « Nul enseignant n'est censé ignorer certaines données interculturelles, historiques, économiques et religieuses.... Ce bagage lui permet à la fois de mieux connaître les élèves, et aussi, si nécessaire d'ajuster son enseignement » (Hervieu, 2019 p.126). Cette prise en compte du contexte socioculturel est due au fait que « l'interprétation erronée d'une tournure de phrase ou d'une expression inconnue et c'est toute une leçon qui peut être perdue pour l'élève dont la langue maternelle n'est pas le français » (Hervieu, 2019, p.126).

Le lycée de Nkomesseng a une autre spécificité particulière en ce sens qu'il est considéré comme un échantillon du Ministère des Enseignements Secondaires autant pour la maîtrise des effectifs des élèves que pour la pratique des enseignements de Seconde Générale ; c'est-à-dire l'effectivité de l'APC, méthode actuellement en vigueur dans le système éducatif camerounais. La rigueur y est de mise tant sur le plan du travail que sur le plan disciplinaire. En effet, tout comportement de l'élève jugé déviant ou contraire aux bonnes mœurs est sévèrement sanctionné. Les quatre autres établissements (lycée bilingue d'Akono, Lycée de

Bascheo, Lycée bilingue de Doumé, Lycée de Bati) proviennent des zones rurales. Ces établissements reçoivent les apprenants venant des campagnes vivant dans leur zone d'origine pour la plus part. On peut noter une difficulté liée à l'accès aux documents de base. Le taux de scolarité dans ces zones est souvent peu élevé. Ceci explique pourquoi dans le domaine de l'éducation, le gouvernement Camerounais considère ces zones comme des zones où le secteur de l'éducation est prioritaire.

Le tableau ci-dessous représente la situation géographique des établissements choisis : région, département et arrondissement pour l'année scolaire 2022/2023.

Tableau 17

Situation géographique des établissements : (animateurs pédagogiques des lycées concernés, 2023)

Régions	Département	Arrondissements	Établissements	Divisions
Centre	Mfoundi	Yaoundé V	Le lycée de Nkolmesseng	50
	Mefou et Akono	Akono	Lycée bilingue d'Akono	17
Nord	Bénoué	Garoua 1	Lycée bilingue de kollere – Garoua	33
		Arrondissement de Bascheo.	Lycée de Bascheo	17
Est	Haut-Nyong	Arrondissement de Doumé	Lycée bilingue de Doume	25
		Bertoua	Lycée bilingue de Bertoua	45
OUEST	Mifi	Bafoussam 2 ^e	Lycée de Famtchouet	19
	Bamboutos	Galim	Lycée de Bati	15

2.2. La population cible

Notre population cible regroupe les élèves du niveau troisième de l'Enseignement Secondaire Général Francophone dont l'âge oscille entre 12 et 14 ans). En guise de rappel, ces apprenants viennent du lycée de Nkolmesseng, du lycée bilingue d'Akono dans la région du centre ; du lycée bilingue de kollere –Garoua, du lycée de Bascheo dans la région du Nord ; du lycée bilingue de Bertoua, du lycée bilingue de Doumé dans la région de l'Est ; du lycée de Famtchouet, du lycée de Bati dans la région de l'Ouest. Ils constituent un ensemble de

deux sexes soit 1554 élèves du niveau troisième et repartis dans ces différents établissements susmentionnés en fonction de leur série pour le compte de l'année scolaire 2022-2023.

Ce choix s'explique par le fait que le programme de la classe troisième a des contenus didactiques où on aborde pour la première fois le concept de mole comme nous l'avons signalé à la problématique. Dans les autres niveaux, il est mobilisé tout simplement dans les calculs quantitatifs. Il est donc important qu'au sortir de ce niveau, l'apprenant soit en mesure de pouvoir l'appliquer dans les différentes tâches. Aussi, nous voulions identifier les conceptions alternatives de ces apprenants lorsqu'ils sont interrogés sur des notions qui s'imbriquent autour du concept de mole.

Tableau 18

Population cible : (animateurs pédagogiques des lycées concernés, 2023)

Régions	Lycées	Classes	Effectifs
CENTRE	Nkolmesseng	3 ^{ème} All ₁ ; 3 ^{ème} All ₂ ; 3 ^{ème} Esp ₁ ; 3 ^{ème} ESP ₂ ; 3 ^{ème} Esp ₃ ; 3 ^{ème} Esp ₄ , 3 ^{ème} Esp ₅ ; 3 ^{ème} Esp ₆ ; 3 ^{ème} Cla	281
	Bilingue d'Akono	3 ^{ème} All ; 3 ^{ème} Esp	65
NORD	Bilingue de Kollere -Garoua	3 ^{ème} All ; 3 ^{ème} Ara ; 3 ^{ème} CHI 3 ^{ème} ESP ₁ ; 3 ^{ème} Esp ₂	177
	Bascheo	3 ^{ème} All, Ara; 3 ^{ème} Esp	140
EST	Bilingue de Bertoua	3 ^{ème} All _{1et 2} ; 3 ^{ème} Esp _{1, 2, 3, 5} ; 3 ^{ème} Chi; 3 ^{ème} Bil	478
	Bilingue de Doumé	3 ^{ème} ALL _{1et2} ; 3 ^{ème} ESP _{1et2}	210
OUEST	Famtchouet	3 ^{ème} ALL; 3 ^{ème} ESP	116
	Bati	3 ^{ème} ALL ; 3 ^{ème} ESP	87
TOTAL			1554

2.3. Participants au pré-test

Au Cameroun, le niveau troisième est constitué de plusieurs séries à savoir la série allemande, la série arabe, la série espagnole et la série chinoise. D'après notre expérience et selon les statistiques du premier trimestre de l'année académique 2022-2023 observés auprès

des animateurs pédagogiques des établissements sélectionnés, la série espagnole et la série arabe sont celles qui présentent un mauvais rendement par rapport aux autres séries.

C'est ainsi que nous avons porté notre choix sur la série espagnole en majorité et la série arabe en minorité pour la simple raison que la série chinoise n'est pas représentée dans toutes les régions du pays. Les apprenants de notre échantillon viennent des établissements secondaires des zones rurales et urbaines. Le but de mener conjointement cette recherche dans ces différentes zones est parce que nous voulions obtenir un échantillon constitué d'élèves ayant les cadres de vie variés. Plusieurs raisons nous amènent à croire qu'ils éprouvent les mêmes difficultés dans l'apprentissage de la science en général et de la chimie en particulier. La première raison est que leur apprentissage est assuré par des enseignants venant des mêmes écoles de formation et sont soumis au même programme de formation. La deuxième raison est le fait qu'ils ont le même programme de formation continue. La troisième raison concerne l'utilisation du même manuel scolaire et la même progression sur l'étendue du territoire. En effet, ils ont régulièrement suivi leurs enseignements et ne présentent pas de troubles spécifiques de lecture et d'écriture, selon les conseils de leurs enseignants. Cette information est capitale en ce sens où elle permet d'organiser le recueil des données, surtout quand on sait qu'à la phase du pré-test et post-test, les élèves doivent justifier les choix du premier palier par écrit. A la phase du pré-test, pour obtenir une confiance de 95 % avec marge d'erreur de 5 % dans le recueil des données, nous avons utilisé la formule de Cochran(1977) pour déterminer la taille de notre échantillon. Cette formule se présente comme suit :

$$n = \frac{(t^2 \times p) (1-p)}{m^2}$$

n= taille de l'échantillon
 t= niveau de confiance
 p= taille de proportion
 m= marge d'erreur

En appliquant cette formule, avons obtenu une taille minimale de 385. Selon le principe de cette formule, quand la proportion estimée n'est pas connue, on prend une valeur estimative (p=0.5). Pour cette raison, pour être au-dessus de cette taille, nous avons sélectionné 431 participants. Cet échantillon est reparti dans le tableau suivant :

Tableau 19

Présentation de l'échantillon de l'étude pour le pré-test : enquête de terrain (2023)

Établissements/Classes	Effectifs	Type de test
Lycée de Nkolmesseng/3 ^{ème} Esp ₅	50	Pré-test
Lycée Bilingue d'Akono/3 ^{ème} Esp	44	
Lycée Bilingue de kollere –Garoua/3 ^{ème} Ar	50	
Lycée de Bascheo/3 ^{ème} Esp	60	
Lycée bilingue de Bertoua/3 ^{ème} Ar	56	
Lycée de Doume/3 ^{ème} Esp1	58	
Lycée de Famtchouet/3 ^{ème} Esp	59	
Lycée de Bati/3 ^{ème} Esp	54	
TOTAL	431	

Nous avons au total 431 participants dont 94 dans la région du centre, 110 dans la région du nord, 114 dans la région de l'Est et 113 dans la région de l'Ouest pour la phase du pré-test. Après cette phase, aucun élève n'a pu avoir un pourcentage de 70 % donc, tous les élèves ayant pris part au pré-test ont le privilège de participer à l'expérimentation dans les établissements choisis à cet effet.

2.4. Participants à la phase du post-test

Pour cette phase, quatre établissements ont suscité notre attention pour l'expérimentation. Il s'agit du lycée de Nkolmesseng, du lycée Bilingue d'Akono dans la région du centre, du lycée Bilingue de kollere –Garoua dans la région du Nord et du lycée de Bati dans la région de l'ouest

Pour le choix des deux groupes, nous avons sollicité dans chaque classe les apprenants volontaires ou disponibles pouvant constituer le groupe expérimental et le reste devra constituer le groupe témoin dans les établissements cités. Il faut noter que dans chaque établissement, nous avons choisi au hasard une classe de 3^{ème}Esp parmi les multiples séries espagnoles. On dénombre ainsi 50 élèves pour le lycée de Nkolmesseng, 44 élèves pour le lycée Bilingue d'Akono, 50 élèves pour le lycée Bilingue de kollere –Garoua et 54 élèves pour le Lycée de Bati.

Tous les groupes sont à peu près équivalents. La moyenne d'âge est la même pour les deux sexes entre les deux groupes (12-14 ans). Nous avons 99 apprenants au total dans le groupe témoin et 99 apprenants dans le groupe expérimental. Ces apprenants ont été soumis à deux types d'enseignement du concept de mole. Un enseignement fondé sur la démarche

d'investigation (groupe expérimental) et un enseignement basé sur l'approche classique (groupe témoin). Comme nous pouvons le constater, le groupe témoin et le groupe expérimental ont le même effectif et ont à peu près le même niveau de performances, les mêmes conditions matérielles, les mêmes enseignements. Les élèves sont semblables sur toutes les caractéristiques pouvant avoir un effet sur leur acquisition. La répartition des participants dans ces différents établissements à la phase du post-test est consigné dans le tableau suivant.

Tableau 20

Présentation de l'échantillon de l'étude pour le post-test

Établissements/Classes	Groupes	Effectifs	Types de test
Lycee de Nkolmesseng/ 3 ^{ème} Esp ₅	Expérimental	25	Post-test
	Témoin	25	
Lycée Bilingue d' Akono/ 3 ^{ème} Esp	Expérimental	22	
	Témoin	22	
Lycée Bilingue de kollere – Garoua/3 ^{ème} Ar	Expérimental	25	
	Témoin	25	
Lycée de Bati/3 ^{ème} Esp	Expérimental	27	
	Témoin	27	
TOTAL		198	

Soient 94 participants dans la région du centre, 50 dans la région du nord et 54 dans la région de l'Ouest.

3. Choix des méthodes et des instruments de collecte des données

3.1. Choix des méthodes pour l'étude.

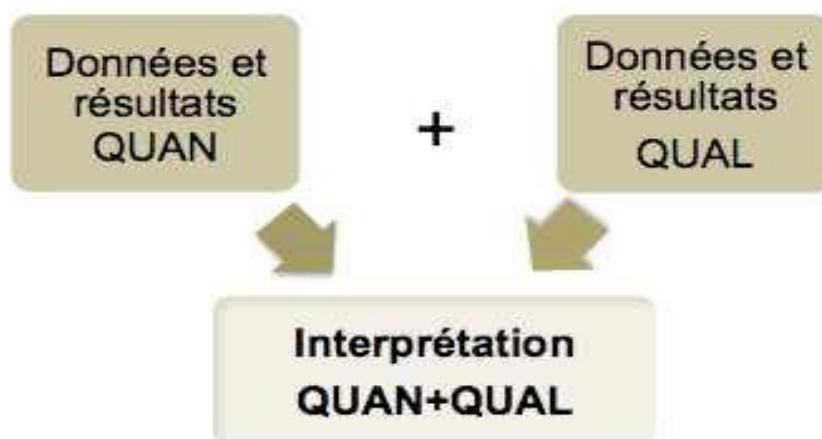
Nous avons choisi la méthode quantitative et la méthode qualitative comme méthode de collecte de données, qui sont basées sur la comparaison des performances des apprenants au premier palier et l'analyse des productions de ces apprenants au deuxième palier sur le concept étudié. La recherche qualitative dans cette recherche vise à analyser les productions des apprenants au deuxième palier. Cette analyse permettra de catégoriser les difficultés des élèves.

Selon (Kasenti & Savoie Zaje, 2006), les recherches quantitatives sont regroupées en trois schémas expérimentaux : le modèle expérimental, le modèle quasi-expérimental et le modèle pré-expérimental. Chaque modèle présente des caractéristiques qui le distinguent des autres modèles. Au vu des caractéristiques détaillées de chaque schéma, nous avons adopté un schéma quasi-expérimental

comme mentionné ci haut. Le groupe expérimental recevra un enseignement avec l'utilisation de la DI. Le groupe témoin recevra un enseignement habituel ; c'est-à-dire sans utiliser la DI. C'est la recherche appliquée et particulièrement évaluative. Ce schéma nous permettra de mesurer l'influence de la démarche d'investigation comme une approche active pour la construction du concept de mole après l'identifications des difficultés des apprenants et leurs origines. Cette mesure sera basée sur les fréquences des scores au premier palier. L'analyse des deux données (données quantitatives et données qualitatives) formera une triangulation selon (Creswell, 2003 cité par Aldebert et Rouziès, 2011). Il s'agit d'obtenir des données différentes mais complémentaires sur un même sujet afin de mieux comprendre le problème de recherche. Dans cette triangulation, le chercheur a pour objectif de bénéficier des avantages de chaque type de méthode réduisant ainsi les faiblesses de chacune par la Complémentarité de l'autre. On assiste à la recherche d'une convergence ou d'une corroboration des résultats sur un même problème étudié afin de renforcer la validité de l'étude selon le schéma suivant.

Figure 28

Le design de triangulation (Creswell , 2003)¹⁴



3.2. Outils de repérage des conceptions alternatives

Dans cette partie, nous décrivons les différents outils que nous utiliserons et qui sont fonction de notre étude. Ces outils permettent au chercheur d'avoir les informations nécessaires à sa recherche. Ils ont pour intérêt d'apporter des éléments de réponses aux questions de recherche. Notre objectif principal est l'utilisation de la démarche d'investigation pour construire le concept de mole. Le dispositif de recueil des données comprend un test de

¹⁴ L'utilisation de méthodes quantitatives est notée QUAN et celle de méthodes qualitatives est notée QUAL.

type question papier crayon qui nous permettra de mener le pré-test et le post-test, auprès des apprenants. Les résultats obtenus par ces outils permettront d'assurer leur pertinence et leur véracité.

« L'étude des conceptions et leur mise en lumière chez les étudiants qui constitue une forme d'évaluation de l'état des lieux conceptuels est importante pour la planification de l'enseignement » (Cormier, 2014, p.79). Comme nous l'avons signalé à la problématique, de nombreux chercheurs ont proposé plusieurs méthodes pour faire émerger les conceptions erronées : rappelons quelques méthodes telles que les modèles mentaux, les questions à choix multiples, les entretiens directs et semi-directs. (Wandersee et *al.*, 1994) pensent que la méthode appropriée est l'entrevue clinique. Toutefois, d'autres chercheurs ont trouvé les limites de cette méthode en ce sens où elle semble efficace uniquement pour les études de cas (Peterson & *al.*, 1989). Elle n'est pas pertinente pour plusieurs cas. Il est également difficile de généraliser l'analyse des résultats provenant de l'interview puisque les chercheurs se limitent le plus souvent à interviewer quelques cas. Pour pallier à ces difficultés Treagust (1988) et autres ont proposé le questionnaire à deux paliers. Compte-tenu de nos objectifs de recherche, ce questionnaire à deux paliers semble répondre à nos besoins. Pour l'opérationnaliser, Treagust (1988) a mis sur pied 10 étapes.

Nous présentons ci-dessous, les indications des 10 étapes proposées en 1988 par Treagust, analysées et exploitées par Cormier en 2014 dans le cadre de ses différents travaux de recherche en didactique de la chimie.

➤ **Étape 1 : Rédiger les énoncés propositionnels**

Cette étape met en lumière les détails de chaque portion du domaine de connaissance visée ; Cormier (2014) mentionne que ce travail préliminaire est réservé aux experts de chaque discipline scolaire, comme les enseignants ayant une expérience incontestable dans la profession. Le seul acteur qui maîtrise la nature des contenus spécifiques propres à chaque niveau d'étude. En d'autres termes, le seul à avoir une bonne connaissance sur les programmes, à noter les évolutions historiques survenues sur les concepts scientifiques, à identifier les difficultés des apprenants sur un concept.

Comme énoncé propositionnel, nous proposons l'exemple suivant tiré sur les travaux de Cormier :

Figure 29

Exemple de quelques énoncés propositionnels (Cormier, 2014)

Énoncés propositionnels	Sujets centraux
La matière est tout ce qui a une masse.	Matière
Toute la matière est constituée de particules invisibles, infiniment petites, en mouvement constant, qui s'attirent entre elles quand elles sont à une certaine distance, mais se repoussent lorsqu'on les compresse ensemble.	Nature corpusculaire de la matière

Par ailleurs, l'énoncé propositionnel doit être précis, concis et conforme au modèle défini par la science (Cormier, 2014).

➤ **Étape 2 : Développer une carte conceptuelle**

La carte conceptuelle est constituée des concepts chimiques qui intéressent la partie du contenu du niveau curriculaire adressé aux élèves ; c'est-à-dire que ces concepts sont ceux qui concernent la recherche et qui répondent aux attentes des élèves. L'épistémologie de chaque concept doit être prise en compte.

➤ **Étape 3 : Relier les énoncés et la carte**

Cormier (2014) pense que chaque concept existant sur la carte conceptuelle devrait faire l'objet d'un énoncé propositionnel. Le but de relier la carte et les énoncés est de s'assurer de la cohérence entre les contenus définis aux étapes 1 et 2.

➤ **Étape 4 : Validation du contenu**

La validation du contenu est faite par les experts. Il s'agit de vérifier la cohésion entre les énoncés propositionnels et leur rapport dans la carte conceptuelle tout en respectant le contenu enseigné au niveau scolaire sollicité. Ces experts doivent avoir une ancienneté considérable dans le processus enseignement apprentissage du domaine de la chimie. Cette validation doit tenir compte de certains paramètres tels que la définition des différents contours du savoir scientifique et l'identification des difficultés qui posent problème à l'apprentissage.

➤ **Étape 5 : Examiner les écrits sur les conceptions erronées des élèves**

La liste des concepts étant déjà validée, il faut répertorier toutes les conceptions erronées. Nous avons présenté à la problématique les conceptions erronées identifiées par les différents auteurs. Il ressort de ces écrits scientifiques que les élèves présentent d'énormes conceptions erronées en chimie. Dans cette recherche, elles seront identifiées au cours de la phase du pré-test.

➤ **Étape 6 : Entrevues non structurées**

Pour obtenir un regard plus large de la compréhension des étudiants sur le thème à l'étude et s'assurer de l'applicabilité d'une recherche antérieure sur une population visée, il est indispensable de mener des entrevues auprès des apprenants sur leurs conceptions alternatives en science (Cormier, 2014 ; Treagust, 1988). À cet effet, le chercheur doit préparer les thèmes pertinents en fonction des objectifs de la recherche. Ces thèmes sont constitués des concepts étudiés. L'analyse de ce type de données est qualitative. Ces entrevues permettent aussi d'identifier les conceptions des apprenants. En effet, « l'analyse des données qualitatives permet de confirmer, d'approfondir et d'expliquer les résultats obtenus à partir des données quantitatives » (Perron, 2019, p.133).

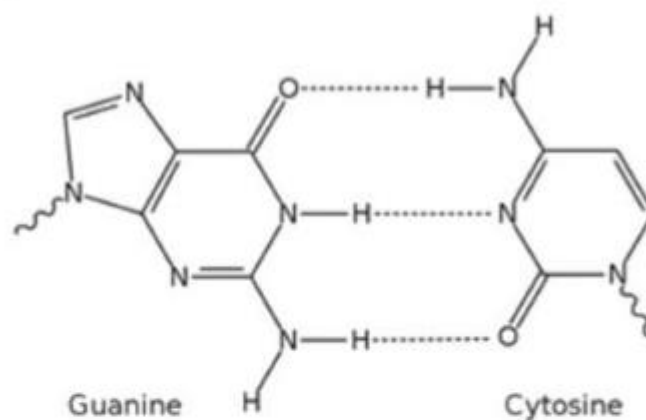
➤ **Étape 7 : Élaborer des items à choix multiples avec justification ouverte**

À base des conceptions identifiées aux étapes 5 et 1, on met sur pied un questionnaire à choix multiples. Cette partie constitue le premier palier où plusieurs choix de réponses sont proposés et le plus souvent, une seule réponse est juste. Il s'agit de choisir dans le questionnaire, des questions comme :

Figure 30

Exemple d'un questionnaire à choix multiples avec justification (Cormier, 2014)

9. Dans le schéma suivant, deux bases de l'ADN sont représentées : la guanine à gauche et la cytosine à droite. Ces deux bases sont dites complémentaires dans l'ADN.



Quel énoncé décrit le plus précisément *ce que représentent les traits pointillés* entre la guanine et la cytosine?

- Des liaisons covalentes polaires.
- Des liaisons intermoléculaires.
- Des liaisons ioniques.
- Des forces électrostatiques.

Expliquez votre réponse.

Test Réponses ouvertes B5.docx

La deuxième partie qui constitue le deuxième palier présente les justifications ouvertes à chaque réponse du premier palier. On demande à l'élève d'expliquer le choix fait au premier palier. On recherche dans ces justifications les idées que les élèves développent lorsqu'ils sont face à des concepts scientifiques. Ces idées vont nous permettre d'élaborer une stratégie pour une meilleure transposition. Cette deuxième partie est identique pour tous les items.

➤ Étape 8 : Développer le test à deux paliers à choix multiples

Le premier palier est un item à choix multiples sur un concept précis. Le deuxième palier est constitué d'un deuxième choix qui est la justification du choix au premier palier mais cette justification n'est pas ouverte comme à l'étape précédente. L'intérêt d'un tel questionnaire se situe au niveau de la facilité à analyser les résultats et généraliser cet outil à un échantillon plus large.

➤ Étape 9 : Elaborer une grille de spécification

En nous référant à Cormier (2014), il s'agit d'une grille regroupant toutes les connaissances nécessaires pour répondre efficacement à chaque question. Son utilité est de s'assurer que toutes les questions couvrent les concepts de l'étude, tels que définis dans les énoncés propositionnels et dans la carte conceptuelle.

➤ **Étape 10 : Raffinements continus**

Afin de s'assurer d'un développement continu, on pourra et on devra améliorer le test développé en suivant les étapes précédentes au fil de ses passations dans les deux différents groupes d'élèves sondés.

3.3. La conception du questionnaire

Rappelons qu'un questionnaire est une série de questions méthodiquement posées dans le but de mener une enquête (Micro-Robert, 1986). Il permettra aux élèves de s'exprimer librement sur le concept de mole sous différentes formes. Il s'agit de voir si nos questions étaient utiles, correctes, compréhensibles permettant d'obtenir des informations fiables. A cet effet, nous avons testé notre questionnaire auprès de 10 élèves de la classe de troisième du lycée de Nkolmesseng. Après débat avec nos encadreurs, nous avons corrigé et retenu 09 questions donc 8 à deux paliers et une où il faut effectuer les calculs quantitatifs selon l'information recherchée. Compte-tenu du fait que notre recherche est basée sur la conceptualisation du concept de mole, nous allons explorer dans le cadre de cette recherche sur les étapes 5 et 7. Ces étapes portent respectivement sur l'examen des écrits sur les conceptions erronées des élèves et l'élaboration des questions à choix multiples avec justification ouverte sur les 10 étapes dans l'ordre chronologique évoquées par Treagust (1988).

Toutes les questions posées dans le cadre de ce test ont pour but de vérifier si les objectifs assignés à ce cours ont été atteints à la fois par le professeur et par les élèves.

➤ **Sa construction**

Pour construire nos différentes questions, nous nous sommes appuyés sur le programme officiel en sciences physiques de la classe de troisième et les travaux de Bélanger et Verreault (2000), Fumaroli et Gautier (2018), Halloun (2019), Cormier (2014), GRAF (sciences physiques et chimiques – Académie de Nantes – L'évaluation au service des apprentissages¹⁵).

➤ **Administration du test**

¹⁵ www.pedagogie.ac-nantes.fr

C'est un ensemble de questions portant sur un concept précis du programme qui sera posé avant et après l'expérimentation. Il se déroulera en trois (03) étapes à savoir : le pré-test, l'expérimentation proprement dite et le post-test.

3.3.1. Pré-test

Il consiste à diagnostiquer le niveau de base des apprenants sur le concept de mole déjà enseigné et de s'assurer que les deux groupes sont homogènes. Il est le même pour tous les élèves de notre échantillon. Avant le passage de ce questionnaire, nous avons expliqué dans les différentes classes qu'il est question d'avoir une idée sur leur degré de réflexion et de construire une séance introductive sur la mole qu'ils ont déjà eu à étudier. La précision a été faite sur le travail individuel et la concentration. Nous leur avons aussi signalé que le questionnaire n'était pas destiné à une évaluation quelconque. Pour que les apprenants prennent le travail en considération, nous leur avons proposé un bonus pour les participants avec le concours des enseignants concernés. La durée du questionnaire est 1h et il a eu lieu en octobre- novembre 2023 c'est à dire 1 mois deux semaines avant l'expérimentation.

À la fin de ce pré-test, nous avons pu constituer nos deux groupes, expérimental et témoin dans chaque établissement. Les deux groupes comme nous l'avons dit précédemment ont des caractéristiques semblables.

3.3.2. Expérimentation

Pour l'année académique 2022-2023, le programme officiel prévoyait 2h par semaine pour l'enseignement des sciences physiques en classe de troisième. Mais dans la plupart des établissements, les enseignants adoptent 3h par semaine divisées en deux temps : deux heures pour le premier temps et une heure pour le deuxième temps et vice-versa. Notre expérimentation s'est déroulée pendant une séance de deux heures dans chaque établissement au mois de janvier-février 2023. Nous avons conduit l'enseignement du concept de mole dans les groupes expérimentaux suivant la démarche d'investigation dans chaque établissement. Les groupes témoins suivaient au même moment un enseignement classique par les enseignants des classes choisies. La phase de l'expérimentation est l'étape la plus déterminante dans la recherche. C'est pour cela que certains chercheurs recommandent, pour la démarche d'investigation, une référence épistémologique pour les savoirs dont l'apprentissage est visé : une référence au sujet apprenant ou plutôt à ses conceptions et aux modes d'évolution de ses conceptions (relation savoir-apprenant), une référence à l'articulation savoir-situations pour la mise en place d'activités données aux élèves (Amade-Escot & Venturini, 2008).

➤ **Référence épistémologique**

Parmi les indicateurs épistémologiques et didactiques à retrouver dans une démarche dite d'investigation, nous avons :

- L'appui sur les acquis scientifiques ;
- La construction d'hypothèses ;
- La mise en forme de protocoles argumentés ;
- Expérience pour la validation ou non des hypothèses ;
- Confrontation des résultats ;
- Structuration des connaissances.

➤ **Les références aux modalités d'enseignement apprentissage**

Boilevin et Morge (2020) caractérisent le savoir par les critères suivants :

- Une séquence d'enseignement comprend une succession de tâches dont l'enseignant délègue la réalisation à ses apprenants ;
- Les apprenants élaborent et produisent des réponses aux différentes tâches ;
- Les apprenants coordonnent l'apprentissage par la réalisation des tâches. Ce n'est pas que du réinvestissement ;
- Des tâches d'ordre conceptuel sont à la charge de l'élève qui ne réalise pas que des tâches d'ordre empirique.

➤ **La Référence liée à la mise en place d'activités données aux élèves**

Cette référence est mise en œuvre par nous. Elle est constituée de sept étapes comme nous l'avons vu plus haut (cadre théorique) :

➤ **Une situation problème proposée par l'enseignant**

C'est un exercice au cours duquel l'apprenant est mis face à une situation qu'il va résoudre en mobilisant les ressources préalablement établies (**voir annexe B**). Rappelons que cette situation peut être une situation de vie, une situation scientifique ou une situation industrielle. Le premier cycle est constitué des situations de vie. Au second cycle, ce sont les situations scientifiques ou les situations industrielles. Pour élaborer une situation problème, il faut : identifier le palier de compétence et les ressources y associées, formuler un texte avec un problème, une photo ou une image contextualisée, les données et les tâches.

➤ **L'appropriation du problème par les apprenants, coordonnée par l'enseignant**

C'est le temps de réflexion car les apprenants s'approprient du problème pendant le laps de temps qui leur a été donné. L'enseignant essaye de relire le problème.

➤ **La formulation d'hypothèses explicatives**

Des groupes sont formés et chaque groupe a pour consigne d'émettre des hypothèses pour la résolution du problème posé.

➤ **L'investigation du problème conduite par les apprenants :**

Les élèves décrivent les méthodes qu'ils ont employé, exploitent les résultats, font des débats internes, recherchent des justifications et des preuves pour ces résultats afin de les confronter par la suite avec d'autres groupes.

➤ **Acquisition et structuration des connaissances**

Chaque représentant de groupe présente les résultats de son groupe et le soumet à l'appréciation des autres. C'est alors le lieu d'en discuter afin de trouver la bonne hypothèse. Chaque groupe va tour à tour expliciter verbalement sa méthode et par la suite, sous la coordination du professeur, la bonne hypothèse sera progressivement construite et structurée.

➤ **Opérationnalisation des connaissances : évaluation du savoir et compétences**

Une situation semblable à celle de départ est présentée aux apprenants dans le but d'évaluer leurs connaissances et leurs compétences acquises.

3.3.3. Post-test

Après avoir introduit le concept de mole dans les groupes expérimentaux et l'enseignement classique dans les groupes contrôles, nous réévaluons les différents groupes à partir d'un questionnaire papier crayon. Cette évaluation est prévue pour 45 mn. Ce post-test a eu lieu en Mars-Avril 2023. L'épreuve proposée pour le post-test est totalement identique à celle du pré-test. Elle comportait 9 questions.

4. Procédure de collecte des données

La première phase a consisté d'abord à administrer un questionnaire qui tenait lieu de pré-test. Par la suite, nous proposerons une séquence d'enseignement qui va durer 2 h. Pendant cette période, nous allons déployer le dispositif expérimental que nous avons préparé afin qu'au terme de la séquence d'enseignement basée sur la méthode d'investigation, les élèves puissent émettre des hypothèses, les vérifier et établir des liens entre les trames conceptuelles de la mole.

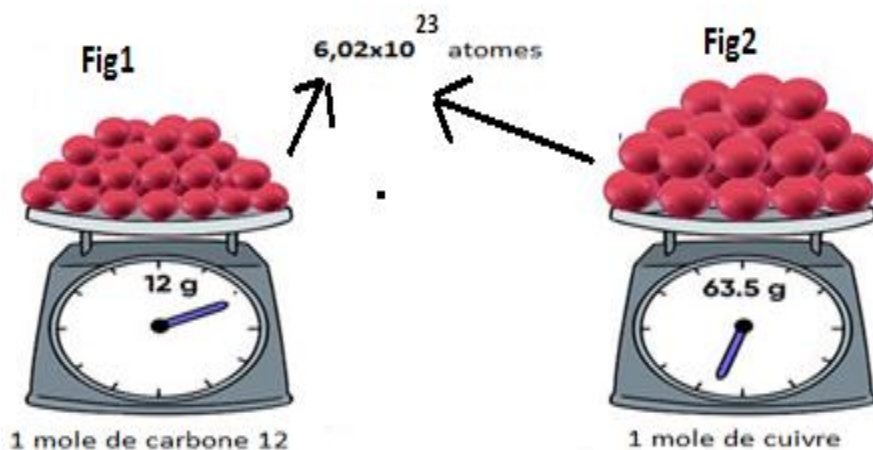
Le but principal visé pour une séquence d'enseignement est de donner la possibilité aux apprenants de construire eux-mêmes leurs connaissances dans le domaine de la science et notamment sur le concept de mole. Une situation de vie leur sera proposée au début de la séquence d'enseignement. Cette situation de vie est portée sur la confusion entre la masse et la quantité de matière. Il est donc question ici pour les apprenants d'identifier premièrement le problème. Après cette identification du problème, des hypothèses seront émises. Tout ceci se fera sous la conduite du professeur grâce aux questions posées. La troisième étape est constituée d'une séance bilan. En effet, on administrera de nouveau pour une durée de 45mn un questionnaire papier crayon qui tiendra lieu de post-test aux apprenants. Rappelons que ce post-test sera identique au pré-test afin d'effectuer une comparaison et de mieux étudier l'influence d'une séquence d'enseignement basée sur une pédagogie innovante.

5. Analyse à priori du pré-test

Il s'agit de plusieurs questions à choix multiples et justification ouverte ayant pour objectifs non seulement de vérifier la situation de départ dans laquelle se trouvent les apprenants, mais aussi d'évaluer leur capacité à raisonner après toute séquence d'enseignement classique du concept de mole. Nous allons analyser question par question selon le schéma suivant : objectif de la question, réponse attendue et justification attendue.

Le questionnaire est constitué de neuf items. Les quatre premières questions sont axées sur la mise en évidence de la masse molaire et la constante d'Avogadro. Les quatre dernières sont centrées sur la confusion entre la quantité de matière et la masse. La neuvième question à un seul palier met en œuvre l'application directe sur la relation entre la masse, la quantité de matière et la constante d'Avogadro. Chaque question ayant une consigne bien claire.

Question 1 : Le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (**Fig.1**) et la pesée d'une mole de cuivre (**Fig.2**).



Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig 1 ?

- La masse d'une mole de molécule de carbone 12 ;
- Le nombre d'atome de carbone 12 ;
- La masse molaire atomique du carbone 12 ;
- Je ne sais pas.

Objectif de la question

L'une des premières notions qui contribue à la compréhension du concept de mole est la masse molaire atomique. Nous présentons à la Fig1 une mole d'atome de carbone dont on lit directement la masse sur la balance, 12 g. Il est question de vérifier le niveau de compréhension des apprenants sur la connaissance de cette notion déjà étudiée notamment la masse molaire atomique. Chaque atome a une masse qui le caractérise, elle varie en fonction de l'atome.

Réponse attendue

C- La masse molaire atomique du carbone 12

Justification : La mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la figure 1 représente sa masse molaire atomique du carbone, c'est-à-dire 12 g parce que la masse molaire atomique de carbone 12 est la masse d'une mole d'atome de carbone 12 .

Il n'est pas question de faire le bon choix pour que nous disions que l'apprenant a compris la notion ou de faire le mauvais choix pour que nous parlions d'une conception quelconque. Il faut expliquer le choix fait, c'est à ce deuxième palier que les élèves peuvent

faire émerger leurs conceptions. Les apprenants qui porteront leur choix sur la lettre « a » qui dit que la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1 représente la masse d'une mole de molécule de carbone 12, nous allons nous baser sur leurs explications au deuxième palier pour dire qu'ils présentent une conception sur la confusion entre la masse atomique et la masse moléculaire. Pour le choix « b », la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1 représente le nombre d'atome de carbone 12. Sur la base des productions des élèves qui feront ce choix, on observera la confusion entre la masse molaire et le nombre d'atome. Le choix « d » propose une réponse du style « Je ne sais pas ». Ce choix est réservé pour la catégorie des élèves qui présentent un manque de connaissance. Quand on ne sait pas, on n'a rien à produire comme justification.

Question 2 : D'après les schémas de la question 1

Que représente la mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la Fig2 ?

- a. La masse d'une mole de molécule de cuivre ;
- b. Le nombre d'atome de cuivre ;
- c. La masse molaire atomique du cuivre ;
- d. Je ne sais pas.

Objectif de la question

La deuxième question est similaire à la première. Les mêmes choix de réponses sont proposés. La seule différence se situe au niveau de la nature de l'atome. Il s'agit de l'atome de cuivre qui indique une masse molaire de 63.5 g sur la balance. L'objectif de la question est de montrer qu'il y'a une variation de masse entre les atomes. Tous ces atomes sont classés dans le tableau de classification des éléments suivant un ordre bien établi. Au sortir du niveau troisième, les 20 premiers atomes du tableau de classification sont censés être maîtrisés selon le programme camerounais. Cette question permettra de visualiser la capacité qu'ont les apprenants à distinguer la masse molaire d'un atome à un autre. Cette capacité de distinction épargnera les apprenants de plusieurs obstacles liés à la compréhension des autres concepts.

Réponse attendue

c-La masse d'une mole d'atome de cuivre

Justification : La mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la figure 2 représente la masse molaire atomique du cuivre, c'est-à-dire 63,5 g parce que la masse molaire atomique du cuivre est la masse d'une mole d'atome de cuivre.

Comme nous l'avons signifié plus haut, il faut apporter des explications sur le choix fait, au deuxième palier. Ces productions nous serviront d'appui pour identifier les conceptions des élèves. Nous allons également nous baser sur les explications des apprenants au deuxième palier pour déclarer qu'ils présentent une conception sur la confusion entre la masse atomique et la masse moléculaire quant aux apprenants qui opteront pour le choix « a » qui propose que la mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la Fig 2 représente la masse d'une mole de molécule de cuivre. Pour le choix « b », la mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la Fig 2 représente le nombre d'atome de cuivre. La confusion entre la masse molaire et le nombre d'atomes pourra être observée si et seulement si les productions des élèves cadrent avec ce choix. La proposition du choix « d » est : « Je ne sais pas ». Nous n'attendons aucune production ici. Les apprenants qui font ce choix présentent une carence de connaissances.

Pour aborder le concept de mole, les élèves doivent tout simplement réaliser que la masse d'une mole de carbone 12 est sa masse molaire atomique et celle d'une mole d'atome de cuivre est sa masse molaire atomique. Ainsi, la généralise que que la masse d'une mole d'atome est sa masse molaire atomique.

Question 3 : D'après les schémas de la question 1

Quel est le nombre d'atomes contenus respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre ?

- a. Une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63,5 atomes de cuivre ;
- b. Une mole de carbone 12 contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de cuivre ;
- c. Une mole de carbone 12 contient $7,22 \times 10^{24}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $3,82 \times 10^{25}$ atomes de cuivre ;
- d. Une mole de carbone 12 contient $6,022 \times 10^{24}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $6,022 \times 10^{24}$ atomes de cuivre.

Objectif de la question

Les deux premières questions étaient axées sur la connaissance de la masse molaire atomique. Pour la troisième question, nous avons considéré le même schéma de la fig 1 et de

la fig 2. Nous avons choisi l'atome de carbone et l'atome de cuivre parce que la masse molaire atomique de cuivre est supérieure à la masse molaire atomique de carbone. Le plus intéressant est que les deux balances sont constituées d'une mole de carbone à la fig1 et une mole de cuivre à la fig 2. Il est question de réaliser qu'une mole d'une substance chimique contient exactement $6,022 \times 10^{23}$ de cette substance même avec les masses différentes.

Réponse attendue

b- Une mole de carbone 12 contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de cuivre.

Justification : Une mole de particule chimique contient exactement $6,022 \times 10^{23}$ de cette particule représentant la constante d'Avogadro (N_A).

Le choix « a » propose que le nombre d'atomes contenus respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre est qu'une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63,5 atomes de cuivre. Ce choix a été proposé dans le but de faire explorer les conceptions alternatives des apprenants sur la masse molaire atomique et la valeur de la constante d'Avogadro vu que la 63,5 est supérieure à 12. Les apprenants en difficulté d'apprentissage auront tendance à croire que le cuivre contient plus d'atome que de carbone. La prise en compte de cette conception proviendra de leurs justifications au deuxième palier.

Pour le choix « c », le nombre d'atomes contenus respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre est qu'une mole de carbone 12 contient $7,22 \times 10^{24}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $3,82 \times 10^{25}$ atomes de cuivre. Pour les apprenants qui vont faire ce choix avec les mêmes nombres d'atomes trouvés, c'est-à-dire $7,22 \times 10^{24}$ atomes de carbone et $3,82 \times 10^{25}$ atomes de cuivre dans leurs justifications, nous allons conclure qu'ils présentent la même conception observée sur le choix « a ». Pour trouver ces valeurs, nous avons multiplié la masse molaire de chaque atome par la constante d'Avogadro, c'est-à-dire pour le nombre d'atomes de carbone on aura $12 \times 6,022 \times 10^{23} = 7,22 \times 10^{24}$ atomes de carbone et pour le nombre d'atome de cuivre on aura $63,5 \times 6,022 \times 10^{23} = 3,82 \times 10^{25}$ atomes de cuivre. C'est une formule qui n'existe pas. Les fausses valeurs trouvées montrent que le cuivre contient plus d'atomes que le carbone.

Quant au choix « d », la réponse proposée est que le nombre d'atomes contenus respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre est qu'une mole de carbone 12 contient $6,022 \times 10^{24}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $6,022 \times 10^{24}$

atomes de cuivre. À partir des explications des élèves, nous allons conjecturer que les apprenants ont une méconnaissance de cette constante d'Avogadro qui est $6.022 \times 10^{23}/\text{mol}$ au lieu de $6,022 \times 10^{24}/\text{mol}$.

Question 4 : D'après les schémas de la question 1 représentés par la pesée d'une mole de carbone 12(**Fig.1**) et la pesée d'une mole de cuivre (**Fig.2**).

Dans quelle pesée y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

- a- Pesée d'une mole de carbone 12 ;
- b- Pesée d'une mole de cuivre ;
- c- Les deux pesées ont le même nombre d'atome ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Objectif de la question

La quatrième question est aussi similaire à la troisième question, mais avec des objectifs différents. La question précédente illustre la valeur de la constante d'Avogadro tandis que le but ici est de faire comprendre aux apprenants que, malgré la différence observée sur la nature des atomes et aux niveaux de leur masse, une mole contient le même nombre d'atomes, à savoir 6.022×10^{23} atomes de carbone et 6.022×10^{23} atomes de cuivre. Cette valeur est la constante d'Avogadro noté « N_A ». Pour une mole de toutes substances chimiques, nous avons « N_A » atomes de cette substance.

c- Les deux pesées ont le même nombre d'atome

Justification : Une mole de particules (atome, molécule, ion, ...) constituée de deux substances chimiques de masses différentes contient le même nombre d'atomes de cette particule.

Dans le choix « a », la proposition mise sur pied est que la pesée d'une mole de carbone 12 contient plus d'atome. Les apprenants vont se contenter de l'aspect physique présenté sur les deux balances. Les atomes de carbone semblent être plus beaucoup que le cuivre. L'analyse des justifications des apprenants nous permettra de ressortir les conceptions ou un manque de connaissance.

Pour ce qui est du choix « b », c'est la pesée d'une mole de cuivre qui contient plus d'atomes. Les élèves vont se focaliser sur la masse molaire du cuivre qui est 63,5g. Comme nous l'avons mentionné plus haut, nous identifierons la conception sur la masse molaire et le

nombre d'atome au niveau des justifications. Pour ces apprenants, plus un atome a une masse molaire élevée, plus il contient un grand nombre. Le choix « d » propose le manque des informations pour répondre à la question. Ces apprenants sont exposés une fois de plus à une carence de connaissance.

La compréhension du concept de mole est conditionnée par la notion de la masse molaire et la constante d'Avogadro. Il est toujours indispensable de prendre en compte les prérequis pendant le déroulement d'une leçon pour ne pas se dérouter des objectifs fixés.

Question 5 : On dispose de deux paniers A et B. Le panier A contient 4 kg de citron, le panier B contient 5 kg d'orange.

Dans quel panier y a-t-il le plus grand nombre de fruits ?

- a- Le panier A ;
- b- Le panier B ;
- c- Il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Objectif de la question

De nombreux travaux en didactique publiés ces derniers temps préconisent la prise en compte de l'environnement dans le processus d'acquisition du savoir. C'est en raison de cela que nous avons choisi les objets macroscopiques qui se trouvent dans l'environnement des apprenants. Ce sont les échantillons (fruits) constitués du citron et de l'orange. Les deux entités macroscopiques n'ont pas les mêmes masses. Nous voulons montrer aux apprenants que l'entité ayant la plus grande masse ne contient pas absolument le plus grand nombre de fruits. L'entité qui a le plus grand nombre de fruits est l'entité qui est plus légère.

Réponse attendue

a- Le panier A

Justification : Le citron avec une masse de 4 kg étant plus léger contient plus de fruits que l'orange qui a une masse de 5 kg.

Le choix « b » préconise le panier B où on trouve le plus grand nombre de fruits. Les apprenants ayant fait ce choix vont se baser sur la masse du panier d'orange qui est supérieure à la masse du panier de citron par conséquent, ils développent la conception sur la confusion entre le nombre d'entités et la quantité de matière.

Pour le choix « c », il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers. Les élèves qui peuvent avoir la présence d'esprit qu'une entité légère contient le plus grand nombre de fruits vont penser à une compensation de fruits étant donné que la masse du panier d'orange qu'ils estiment qu'elle n'occupe pas assez d'espace est plus grande. Les élèves qui porteront leur choix sur le « d » à savoir il manque des informations pour répondre à la question ne réalisent pas que les entités macroscopiques n'ont pas une masse standard et donc qu'il faut se référer à la taille de l'objet pour estimer sa quantité dans un échantillon.

Question 6 : On dispose de deux coupelles A, B. La coupelle A contient 1g d'aluminium, la coupelle B contient 1g d'or.

Dans quelle coupelle y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

- a- La coupelle A ;
- b-** La coupelle B ;
- c- Il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles ;
- d-** Il manque des informations pour répondre à la question.

Objectif de la question

La sixième question a la même formulation que la question précédente mais ici, il s'agit des entités microscopiques. L'objectif de recherche est de savoir si la détermination de la quantité des échantillons (entités microscopiques) ayant des mêmes masses ou des masses différentes dépend d'une grandeur qui est la masse de chaque entité. Cette masse peut être exprimée en gramme ou en kilogramme.

Réponse attendue

- d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : Les entités microscopiques sont invisibles à l'œil nu et, de ce fait, nous n'avons aucune information sur la masse d'un atome d'aluminium et la masse d'un atome d'or.

Le choix « a » stipule que la coupelle A contenant l'aluminium contient plus d'atomes. Les apprenants vont prendre pour référence son utilisation fréquente dans des exercices. Ils utilisent constamment l'atome d'aluminium pour la résolution des problèmes. Les justifications des élèves seront analysées. Le choix « b » considère la coupelle B contenant l'or comme coupelle possédant le plus grand nombre d'atome. Les apprenants pourront prendre appui sur la masse molaire atomique de l'or qui est supérieure à celle

d'aluminium pour justifier leur choix même comme ces masses ne sont pas données. La conception sur la confusion entre la masse molaire et le nombre d'atomes sera identifiée. D'autres apprenants pourront se focaliser sur le fait que l'or coûte cher sur le marché mondial. Dans le choix « c », il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles. Dans ce choix, les justifications des apprenants tiennent lieu de la même masse que regorgent les deux entités. Puisque la masse d'aluminium est 1 g et celle de l'or est aussi 1 g forcément, elles contiennent les mêmes nombres d'atomes. On assiste à la confusion entre la masse et la quantité de matière.

Question 7 : Les images 1 et 2 ci-dessous représentent les athlètes ayant deux javelots constitués respectivement des atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. Sachant que les masses en kg d'un atome de carbone et d'aluminium sont : un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg et un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg.



Dans quel javelot trouve-t-on le plus grand nombre d'atome ?

- a- Javelot B ;
- b- Javelot C ;
- c- Javelot B et C ont le même nombre d'atome ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Objectif de la question

Les javelots sont des outils utilisés dans le domaine du sport par les athlètes. Ces javelots sont faits d'atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. La particularité ici est la précision faite sur la masse de chaque atome.

- Un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg
- Un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg

Il est question de montrer aux apprenants que les échantillons (entités microscopiques) ayant des mêmes masses ne contiennent pas forcément le même nombre d'entités. Le corps ou la substance qui a le grand nombre d'entités est celui qui est constitué d'entités plus légères. L'entité la plus légère est caractérisée par sa masse.

Réponse attendue

b- Javelot C

Justification : Les entités sont microscopiques car la masse d'un atome de carbone est égale à $1,993 \times 10^{-26}$ kg inférieure à la masse d'un atome d'aluminium qui est $4,51 \times 10^{-26}$ kg ; par conséquent, le javelot C contient plus d'atomes de carbone.

Selon le choix « a », le javelot B constitué d'atomes d'aluminium contient plus d'atomes. Les apprenants se baseront sur l'année d'utilisation pour faire ce choix. Le javelot B est utilisé avant 1986 par contre le javelot C est actuellement utilisé en compétition. Ils doivent réaliser que l'ancienneté d'un javelot ne fait pas de ce dernier le plus contenant en atomes d'aluminium. Les apprenants développent un manque de connaissance. Concernant le choix « c », les Javelots B et C ont le même nombre d'atomes. Les apprenants dans ce choix tiendront compte du fait que le javelot C a une masse de 800 g et le javelot B a également une masse de 800g alors, les deux contiennent le même nombre d'atomes. La conception alternative mise en œuvre est la confusion entre le nombre d'atome et la masse. Pour le choix « d », il manque des informations pour répondre à la question. Il serait dérisoire pour les apprenants qui penseront à ce choix surtout quand nous savons que la masse d'un atome est connue contrairement à la question 6 où on avait plutôt les masses des échantillons connues mais, la connaissance de ces masses ne nous aide pas à identifier le nombre d'entités. En somme, l'élève doit pouvoir faire la différence entre la masse d'un atome et la masse des atomes dans un échantillon.

Question 8 : Un élève affirme qu'un morceau d'aluminium pur (Al) de masse 10,8 g et un morceau d'or pur (Au) de masse 78,8 g contiennent le même nombre d'atomes. Les

masses molaires atomiques de l'aluminium et de l'or sont : $M_{Al} = 27 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_{Au} = 197 \text{ g.mol}^{-1}$. Selon vous : **Dans quel morceau trouve-t-on le plus grand nombre d'atomes ?**

- a- Les deux ont le même nombre d'atome ;
- b- Le nombre d'atome d'or (Au) est plus grand que le nombre d'atome d'aluminium (Al) ;
- c- Le nombre d'atome d'aluminium (Al) est plus grand que le nombre d'atome d'Or (Au) ;
- d- Je ne sais pas.

Objectif de la question

Le but de cette question est de mettre en application la relation entre la quantité de matière et la constante d'Avogadro pour montrer que deux corps de masses différentes peuvent posséder le même nombre d'entités élémentaires. En d'autres termes, il faut tester les connaissances des apprenants sur la détermination du nombre d'atomes présents dans un échantillon en utilisant la proportionnalité pour montrer que deux échantillons de masses différentes ont le même nombre d'atomes. Il s'agit de vérifier que les élèves ont assimilé la différence entre la quantité de matière et la masse et sont capables de l'appliquer quantitativement dans un exercice. Les élèves doivent savoir établir la relation entre la masse d'un corps, sa masse molaire d'une part et la constante d'Avogadro, et le nombre d'entités élémentaires d'autre part.

Réponse attendue

- a- Les deux ont le même nombre d'atome

Justification : Soient n la quantité de matière, N le nombre d'entités élémentaires, N_A la constante d'Avogadro et M la masse molaire atomique. La relation qui les lie est $N = (m \times N_A) / M$

Avec $M_{Al} = 27 \text{ g.mol}^{-1}$ et $M_{Au} = 197 \text{ g.mol}^{-1}$

Application : $N_{Al} = (10,8 \times 6,022 \cdot 10^{23}) / 27 = 2,408 \cdot 10^{23}$ atomes d'aluminium

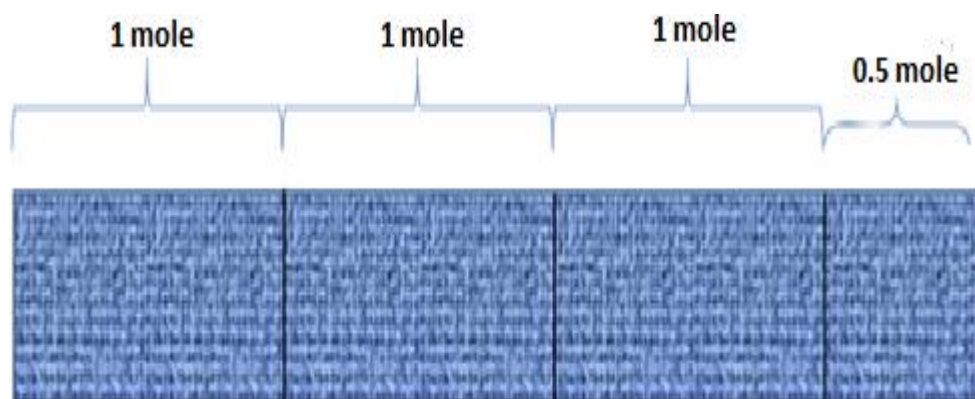
$N_{Au} = (78,8 \times 6,022 \cdot 10^{23}) / 197 = 2,408 \cdot 10^{23}$ atomes d'or

Conclusion : Il ont le même nombre d'atome car $N_{Al} = N_{Au}$

Pour le choix « b », le nombre d'atome d'or (Au) est plus grand que le nombre d'atome d'aluminium (Al). Les apprenants optant pour ce choix vont se baser sur la comparaison des masses. Comme la masse de l'or est égale à 78,8 g supérieure à la masse d'Al = 10,8 g. On explore encore la conception sur la confusion entre la masse et le nombre d'atomes.

Pour le choix « c », le nombre d'atome d'aluminium (Al) est plus grand que le nombre d'atome d'or (Au). Les élèves vont plutôt comparer les masses molaires atomiques. La masse molaire de l'atome d'or =197 g/mol est supérieure à la masse molaire de l'atome d'Al=27 g/mol. La conception alternative est observée sur la confusion entre la masse molaire et le nombre d'atomes. Le dernier choix est le « d » sur « Je ne sais pas ». Ces apprenants présentent simplement une carence en connaissances.

Question 9 : Le schéma ci-dessous illustre le découpage en mole d'une lame de fer à l'échelle microscopique.



Calculer le nombre d'atomes dans les différents découpages.

- a- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 1 mol?.....
- b- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 2 mol ?
- c- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 0,5 mol ?
- d- Quel est le nombre d'atomes de fer dans la lame ?.....

On donne $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} / \text{mol}$

Objectif de la question

Précisons que cette question constitue un seul palier mobilisant les connaissances. L'objectif est basé sur la détermination du nombre d'atomes présents dans une et plusieurs moles en utilisant la relation appropriée impliquant les ordres de grandeur éloignés. Nous aimerions que les élèves prennent conscience du nombre d'atomes très élevés contenus dans les objets qu'ils utilisent dans la vie quotidienne. L'objet présenté ici est la barre de fer.

Réponse attendue

Soient N le nombre d'entités (atome de fer), n la quantité de matière de l'atome de fer et N_A le nombre d'Avogadro qui est égal à $6,022 \cdot 10^{23} / \text{mol}$:

- a- $N = n \times N_A$: Application $N = 1 \times 6,022 \cdot 10^{23} = 6,022 \cdot 10^{23}$ atomes.

- b-** $N = n \times N_A$: Application $N = 2 \times 6,022 \cdot 10^{23} = 12,044 \cdot 10^{24}$ atomes
c- $N = n \times N_A$: Application $N = 0,5 \times 6,022 \cdot 10^{23} = 3,011 \cdot 10^{23}$ atomes.
d- $N = n \times N_A$: Application $N = 3,5 \times 6,022 \cdot 10^{23} = 2,1077 \cdot 10^{24}$ atomes

Le tableau 14 décrit le récapitulatif de l'analyse à priori de l'ensemble des 9 questions questionnaire.

Tableau 21

Récapitulatif de l'analyse à priori du pré-test

Items	Bonnes réponses	Objectifs
Q1	C	Tester le niveau des apprenants sur la notion de la masse molaire atomique
Q2	C	
Q3	B	Mettre en évidence la valeur de la constante d'Avogadro
Q4	C	Une mole de toutes substances contient le même nombre d'atome
Q5	A	Montrer que l'entité ayant la plus grande masse ne contient pas absolument le plus grand nombre de fruits
Q6	D	Savoir que la détermination de la quantité des entités ayant des mêmes masses dépend de la masse de chaque entité
Q7	B	Savoir que les entités microscopiques ayant les mêmes masses ne contiennent pas absolument le même nombre d'entités
Q8	A	Utiliser les calculs quantitatifs pour montrer que deux substances de masses différentes peuvent posséder le même nombre d'entités élémentaires
Q9	a-N= 6,022.1023 atoms. b-N=12, 2.1024 c-N= 6,022.1023 d-N= 6,022.1023	Déterminer le nombre d'atomes présents dans une et plusieurs moles

6. L'enseignement du concept de mole

6.1. Conception de la séance

Notre recherche est basée sur l'utilisation de la DI comme mode de transposition didactique pour la construction du concept de mole. Les séquences d'enseignements sont dispensées dans les deux groupes pour chaque établissement sous notre intégrale responsabilité. Chaque groupe expérimental subira un enseignement de la mole avec utilisation de la DI. Notre tâche ici est de prendre en compte les conceptions des apprenants à partir d'une situation de vie contextualisée. Rappelons que chaque groupe témoin, quant à lui, subira un enseignement sans utilisation de la DI ; c'est-à-dire l'enseignement classique. Nous nous intéressons à ce type d'enseignement parce qu'il permet de montrer les effets de la non prise en compte des conceptions des apprenants dans l'enseignement du concept de mole. Pour l'expérimentation, elle se fera en deux étapes :

- La première étape consiste à élaborer la séance par une préparation minutieuse des activités avec la prise en compte des conceptions des élèves, ces activités seront menées en salle de classe dans les groupes expérimentaux.

Pour atteindre nos objectifs, nous allons procéder ainsi qu'il suit :

- Le titre : le cours est basé sur le concept de mole ;
- Les prérequis que l'enseignant devra évoquer sous forme du rappel : avant d'aborder le concept de mole, les apprenants doivent au préalable connaître la constitution de la matière la définition de l'atome, de la molécule, de l'ion et donner l'exemple d'un ion, d'un atome et d'une molécule ;
- La situation de vie que nous avons proposée : elle doit également permettre aux apprenants de faire émerger certaines idées intuitives (par exemple, le nombre de grains de soja est le plus important dans la mesure où la masse est plus grande). Cette situation mènera les élèves à procéder à une démarche d'investigation scientifique ;
- Les objectifs de la séance ;
- La planification de la séance basée sur les principes de la DI.

Après la situation de vie exposée, les apprenants vont s'approprier le problème pour émettre l'hypothèse par la suite grâce à la fiche qui leur sera distribuée. Nous allons inviter les apprenants dans chaque établissement à former les groupes de 4 élèves. Chaque groupe est chargé d'identifier son matériel afin de proposer un protocole. Le matériel n'est pas

imposé par l'enseignant. « L'objectif ici n'est pas que les élèves trouvent seuls le « bon protocole » mais qu'ils s'approprient le problème à résoudre » (Laugier, 2004, p.82).

Rôle de l'enseignant

Durant cette phase, l'enseignant est le superviseur ; les échanges se font entre élèves. Il débloque les situations compliquées dans les différents groupes tout en les laissant aller jusqu'au bout de leur raisonnement. L'enseignant doit également veiller à ce qu'au sein d'un groupe, la parole ne soit pas monopolisée par un seul élève. L'enseignant fait venir chaque élève par groupe pour qu'il présente son protocole. Pour chaque protocole, l'enseignant va aider les élèves à mettre en évidence ce qu'ils ont proposé.

6.2. Description des activités

La connaissance est construite à travers les activités menées par l'enseignant. Elles consistent à faire agir les apprenants. Á cet effet, l'enseignant doit monter les activités des apprenants à chaque étape de la leçon. Dans le cadre de notre travail, nous avons retenu quatre activités en fonction de notre objectif général. La première activité destinée à une situation contextualisée amène les apprenants à se questionner. La deuxième activité entraîne les apprenants à la manipulation des objets macroscopiques tandis que la troisième activité entraîne les apprenants à la compréhension de la masse molaire. La quatrième activité qui implique le réinvestissement permet aux apprenants de consolider leurs connaissances sur la masse et la quantité de matière.

Description de l'activité 1

Activité 1

Après le cours de chimie basé sur la mole, deux de vos camarades ont entrepris un débat. Le premier appelé Alain affirme que 100g de grains de riz contiennent plus de grains de riz que 200g de soja. Le deuxième appelé Donald affirme plutôt que 200g de soja contiennent plus de grains de soja que 100g de riz. Vous qui avez suivi le cours sur la mole, aider ces deux camarades à se départager. La figure ci-dessous matérialise ces céréales.

Figure 31

Deux cuvettes contenant les grains de riz et les grains de soja



Cette activité est constituée d'un test, il s'agit de deux céréales (le riz et le soja) avec des masses différentes. Les grains de riz contenus dans la première cuvette ont une masse de 100 g et les grains de soja contenus dans la deuxième cuvette ont une masse de 200 g. Les grains de riz sont naturellement plus légers que les grains de soja. Les deux céréales sont connues et sont couramment utilisées par les apprenants. L'objectif de cette activité est de mettre en évidence les conceptions des apprenants sur la quantité de matière et la masse. La conception attendue des apprenants est que beaucoup donneront raison au deuxième camarade appelé Donald qui affirme plutôt que 200 g de soja contient plus de grains de soja que 100 g de riz. La raison qu'ils pourront avancer se basera sur la masse des grains de soja qui est supérieure à la masse des grains de riz. Ce sera la confusion entre la quantité et la masse. En réalité, la raison sera donnée au camarade Alain qui affirme que 100 g de grains de riz contiennent plus de grains de riz que 200 g de soja pour la simple raison que les grains de riz sont légers et par conséquent, occupent plus d'espace dans la cuvette qui contiendra plus de grains.

Cette situation interpellera les apprenants à semer le doute et à une prise de conscience par rapport à leurs connaissances antérieures.

➤ **Description de l'activité 2 inspirée des travaux de Fumaroli & Gautier (2018)**

Activité 2 : Travail à effectuer

- Chaque chef de groupe est appelé à venir chercher le matériel ;
- Désigner un rapporteur dans chaque groupe ;
- Porter la balance, y mettre le bol et effectuer la tâche ;
- Ajouter les grains de soja en contrôlant la masse jusqu'à 200 g ;
- Vider le soja du bol et mettre de côté ;
- Diviser la quantité (200 g) de soja par le nombre d'élèves dans le groupe, chaque élève est chargé de compter sa part afin de relever le nombre de grains de soja sur le brouillon. À la fin du comptage, le rapporteur doit additionner le nombre de grains de soja de chaque élève du groupe et trouver le nombre de grains total dans 200 g ;

Nombre total de grains de soja.....

- Reprendre les mêmes étapes avec les grains de riz mais cette fois-ci en contrôlant la masse jusqu'à 100 g ;

Nombre total de grains de riz.....

Conclusion : Invalidation de l'hypothèse.....

Comparer les résultats obtenus à l'hypothèse émise.....

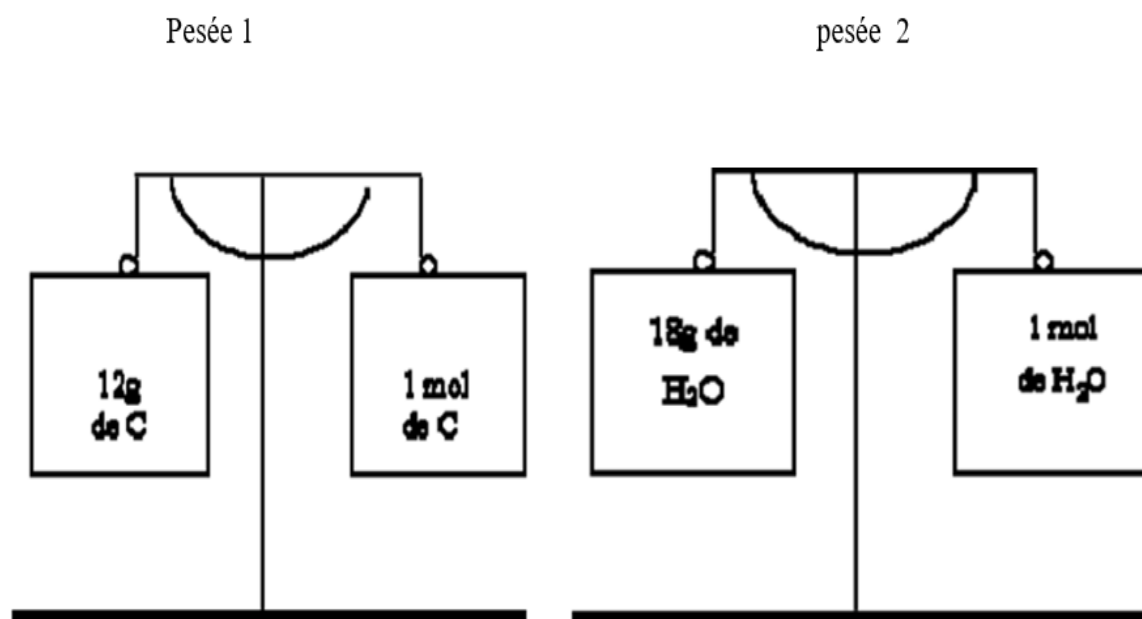
Cette activité a été conçue pour vérifier l'hypothèse émise à l'activité 1. La nature de la manipulation oblige l'intervention de chaque apprenant dans le groupe. Il faut compter les grains de 200 g de soja et les grains de 100 g de riz. Le comptage est fastidieux mais c'est un travail de groupe. Le but n'est pas de trouver les nombres exacts des grains, mais de prendre conscience du fait que la cuvette qui contient la plus grande masse n'est pas forcément celle qui a le plus grand nombre de grains. Le nombre d'entités ne dépend pas de la masse mais plutôt de la taille de chaque entité. À la fin du comptage, les apprenants vont réaliser que leur hypothèse de départ était erronée. Au sortir de cette manipulation, les apprenants doivent intégrer les notions de quantité de matière, de constante d'Avogadro et de mole.

Activité 3 : La situation figure ci-dessous représente la recette pour utiliser la masse molaire illustrée par une pesée.

Consigne : Observez les deux pesées et répondez aux questions suivantes.

Figure 32

Illustration de la masse molaire par les pesées (Vereault, 2000)



Pesée 1

- 1.1-Que représente 12 g de C ?
- 1.2-Observer la pesée 1 et établir le lien entre 12 g de C et 1 mol de C ;
- 1.3-Définir masse molaire atomique.

Pesée 2

- 2.1-Que représente 18 g de H₂O ?
- 2.2- Observer la deuxième pesée et établir le lien entre 18 g H₂O et 1 mol de H₂O ;
- 2.3- Définir masse molaire moléculaire.

La figure ci-dessus est caractérisée par deux pesées. La première pesée présente la masse molaire atomique de carbone 12 g et à l'opposé de la même balance, nous avons une mole de carbone. Au niveau de la première question, il faut identifier 12 g comme la masse molaire atomique. La deuxième question de la première pesée établit le lien entre une mole de carbone et 12 g. En fait, la balance montre l'équilibre entre 12 g de carbone et une mole de carbone. Les apprenants comprendront que 12 g de carbone correspond à une mole de carbone. Après les deux premières questions, il faut conclure par la troisième question en définissant la masse molaire atomique comme la masse d'une mole d'atome.

La pesée 2 présente la masse molaire moléculaire de H₂O ; à l'opposé de la même balance, nous avons une mole de molécule d'eau. Au niveau de la première question, il faut également identifier 18 g comme la masse molaire moléculaire. La deuxième question de la deuxième pesée établit le lien entre une mole de molécule d'eau et 18 g. La balance montre l'équilibre entre 18g de H₂O et une mole de molécule d'eau. Les apprenants comprendront que 18 g d'eau correspond à une mole de molécule d'eau. Après les deux premières questions, il faut conclure par la troisième question en définissant la masse molaire moléculaire comme la masse d'une mole de molécule.

La connaissance de la masse molaire atomique et moléculaire aide les apprenants à calculer la quantité de matière ou la masse d'un échantillon et à déterminer le nombre d'entités dans une substance.

➤ **Description de l'activité 4 inspirée des travaux de (Halloun, 2019)**

Activité 4

Soient trois coupelles contenant des masses différentes de trois substances chimiques distinctes : 32,1g de soufre ; 27,0 g d'aluminium et 63,5 g de cuivre. Sachant qu'un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg, un atome de cuivre pèse $1,06 \times 10^{-25}$ kg et un atome d'or pèse

$3,29 \times 10^{-25}$ kg, **dans quelle coupelle le nombre d'atome est plus grand ? Justifier votre réponse.**

Cette activité traite des entités microscopiques. Il s'agit de trois coupelles ayant les masses différentes. Rappelons que la masse de chaque entité est connue. Nous constatons qu'un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg mais cette masse est inférieure à la masse d'un atome de cuivre et d'un atome d'or qui pèsent respectivement $1,06 \times 10^{-25}$ kg et $3,29 \times 10^{-25}$ kg donc la coupelle contenant 27 g d'aluminium a plus d'atomes. Nous constatons également que parmi les trois coupelles, celle qui contient l'aluminium a la plus petite masse ($4,51 \times 10^{-26}$ kg) et regorge de plus d'atomes. Le corps ou la substance qui a le grand nombre d'entités est celui ayant les entités plus légères.

Il est question de nous rassurer qu'après l'expérimentation portée sur la manipulation des entités macroscopiques, les élèves puissent faire une analogie avec les entités microscopiques vues en classe. L'activité vise à consolider la notion de la quantité de matière et la notion de la mole.

6.3. Mise en œuvre des activités expérimentales

Dans le cadre de cette recherche, il faut encore préciser que seuls les apprenants destinés au groupe expérimental subiront une intervention didactique basée sur la démarche d'investigation et les apprenants assignés au groupe témoin vont bénéficier d'un apprentissage basé sur la méthode classique. Pour l'apprentissage basé sur la DI. Rappelons que les étapes de la démarche d'investigation commencent par l'entrée d'une situation problème qui permet aux apprenants de jouer un rôle actif dans leur processus d'apprentissage. Cette phase est suivie d'une hypothèse qui consistera à faire émerger leurs conceptions. Par la suite, ils passeront à l'expérimentation pour la vérification de l'hypothèse émise.

Cette mise en œuvre a été effectuée dans quatre établissements et dans les groupes expérimentaux. Ce sont des séances introduites en fonction des difficultés connues et des résultats obtenus au post-test. Pour atteindre nos objectifs, les quatre activités décrites plus haut ont été mises en évidence. La première partie est consacrée à une situation déclenchante suivie d'une activité expérimentale avec les étapes bien détaillées. Nous nous sommes focalisés sur la manipulation des entités macroscopiques tout en nous éloignant des entités microscopiques basées sur la manipulation usuelle. La pesée étant une activité récurrente qu'on exerce dans la vie de tous les jours, il s'agit de peser les grains de riz et les grains de soja et de déterminer la masse de chaque entité ; les apprenants doivent visualiser ces entités

et porter leur intérêt sur le comptage. N'oublions pas qu'un chimiste n'a pas souvent besoin de compter, mais de connaître la quantité d'une substance chimique dans un échantillon. C'est la raison pour laquelle il est primordial de s'écarter des pratiques usuelles afin de faire une analogie avec les entités chimiques. Le but est de faire évoluer la confusion entre la masse et la quantité de matière. Sachons au préalable que ces grains n'ont pas le même volume : les grains de riz tout comme les grains de soja sont très petits, légers et difficiles à compter mais les élèves essayeront de compter pour faire une différence entre le nombre d'entités et la masse. La troisième activité tirée des travaux de (Belanger et Verreault, 2000) est conçue pour illustrer la masse molaire et la quatrième activité fait recours à la résolution d'un problème (Halloun, 2019).

Nous avons formé de petits groupes en fonction des effectifs de chaque classe. Dans les lycées de Nkolmesseng et bilingue de kollore/Garoua, nous avons formé 5 groupes de 5 élèves par groupe. Au lycée d'Akono nous avons formé 4 groupes dont 5 élèves dans deux groupes et 6 élèves dans deux groupes. Au lycée de Bati, nous avons formé 5 groupes dont trois groupes de 5 élèves et deux groupes de 6 élèves par groupe. Dans chaque groupe, un chef chargé de prendre les notes est désigné. Nous avons présenté, à chaque fois, la situation problème. Après la phase d'appropriation du problème, nous distribuons la fiche d'activité dans chaque groupe afin qu'ils puissent émettre les hypothèses. Nous avons posé la question comment faire pour tester cette hypothèse ? Pour la plupart, on n'a pas besoin de tester car c'est une évidence que le soja a un grand nombre de grain, il a une masse de 200 g. C'est ainsi que nous avons invité à chaque fois un chef de groupe pour l'acquisition du matériel. Chaque groupe avait la latitude de proposer son protocole. Après vérification, nous nous sommes rendus compte que dans tous les groupes des différents établissements, les apprenants procédaient directement à la pesée sans toutefois tarer la balance. Á cet effet, nous avons distribué la fiche du protocole à suivre. Il est question de :

- Porter la balance, y mettre le bol et effectuer la tare ;
- Ajouter les grains de soja en contrôlant la masse jusqu'à 200 g ;
- Vider le soja du bol et mettre de côté ;
- Diviser cette quantité (200 g) de soja par le nombre d'élèves dans le groupe et chaque élève est chargé de compter sa part et relever le nombre de grains de soja sur le brouillon. Á la fin du comptage, le rapporteur doit additionner le nombre de grains de soja de chaque élève du groupe et trouver le nombre de grains total dans 200 g.

Ils doivent reprendre les mêmes étapes avec les grains de riz mais cette fois-ci en contrôlant la masse jusqu'à 100 g. A la fin, ils doivent comparer les résultats obtenus à l'hypothèse émise initialement.

Au lycée de Nkolmesseng, pour 100 g de grains riz, trois groupes ont trouvé les valeurs différentes : 5268, 5260 et 5261 grains de riz tandis que deux groupes ont trouvé les mêmes valeurs soit 5270 grains de riz chacun. Pour 200 g grains de soja, tous les groupes ont trouvé les mêmes valeurs : 1505 grains de soja (Tedonkeng & Ayina, 2023). Au lycée d'Akono, pour 100 g de grains de riz, chaque groupe avait trouvé sa valeur soit respectivement 5110, 5269, 5215 et 5263 grains de riz et 1506 grains de soja dans tous les groupes. Au lycée Bilingue de Kollore/Garoua, les résultats sont également différents dans les groupes ; on a enregistré 5150, 5245, 5300, 5325, 5356 grains de riz. Pour 200 g grains de soja, trois groupes ont enregistré 1507 grains de soja et deux groupes ont trouvé 1506 grains de soja. Au lycée de Bati, les nombres trouvés dans les différents groupes sont : pour 100 g de riz on a 5310, 5250, 5280, 5213 et 5265 grains de riz et pour 200 grains de soja quatre groupes ont enregistré 1505 grains de soja et deux groupes ont trouvé 1506 grains de soja. Fort de ce constat, nous nous sommes rendus compte que les valeurs trouvées sont différentes. Ceci montre que le comptage n'était pas du tout évident. Cependant, nous remarquons que les 100 g de riz sont dans l'ordre de cinq mille alors que les 200 g grains de soja sont dans l'ordre de mille. Par ailleurs, notre objectif premier n'était pas de trouver les valeurs exactes de 100 g grains de riz et 200 g grains de soja. En effet, il est question de faire savoir aux élèves que malgré le fait que les grains de soja ont une masse plus importante que celle des grains de riz, ils n'ont pas le même nombre de grains : les grains de riz sont plus nombreux que les grains de soja. Cela permettrait de faire un lien avec les entités microscopiques (atomes, molécules, ions...). A partir de cette expérience, nous expliquons aux élèves que les grains de riz ne sont pas comptés à l'unité comme les chaussures par exemple (on sait qu'une paire de chaussure est égale à 2). Nous attirons l'attention des élèves sur le fait qu'en chimie, les objets manipulés possèdent généralement un très grand nombre d'entités et qu'on les regroupe le plus souvent en paquets. Chaque paquet a le même nombre d'entités chimiques. Ceci nous a permis d'introduire la constante d'Avogadro et le concept de mole. Nous poursuivons nos explications en leur faisant comprendre qu'on peut avoir plusieurs paquets dans un échantillon de matière : C'est l'introduction de la quantité de matière.

L'activité 3 est relative à l'acquisition de la masse molaire. Il s'agit d'une illustration matérialisée par deux pesées. Les élèves se sont rendus compte qu'une mole de particule

possède une masse qui varie en fonction de la nature des particules (Belanger & Vereault, 2000). Après observation, les apprenants vont réaliser qu'une mole d'atome de carbone pèse 12 g et une mole d'une molécule d'eau pèse 18 g d'après les deux balances. Ceci nous a permis d'introduire les notions de masse molaire atomique et de masse molaire moléculaire.

L'activité 4 quant à elle consiste à appliquer la mobilisation des connaissances construites à l'expérience pour déterminer parmi les substances chimiques (le soufre, l'aluminium et le cuivre), celle qui a le plus grand nombre d'atomes. L'objectif de cette activité est de faire le lien entre les entités macroscopiques manipulées et les entités microscopiques usuelles étudiées en classe. Pendant l'échange entre les groupes, les propositions provenant de plusieurs groupes convergeaient vers la coupelle possédant l'aluminium comme celle qui contient le plus grand nombre d'atomes puisque sa masse est plus petite, soit $4,51 \times 10^{-26}$ kg. Alors, des apprenants ont montré que le lien a été établi.

Nous résumons dans le tableau ci-dessous, la conception de la séance.

Tableau 22

Extrait du Scénario pédagogique construit par nous

Étapes de la démarche	Durée	Activité des élèves et rôle du professeur
Rappel du cours précédent	5 mn	L'enseignant fait quelques rappels sur les prérequis indispensables pour la séance.
Étapes 1 et 2 : Présentation de la situation d'entrée	10 mn	<ul style="list-style-type: none"> – Le professeur présente la situation et distribue les fiches activités comportant la situation problème ; – Pour se rassurer que les termes ont compris, le professeur fait reformuler la situation problème par les élèves.
Étape 3 : Hypothèse	15 mn	Le professeur forme les groupes de 5 ou 6 élèves en fonction des effectifs par établissement et ils devront émettre une hypothèse par groupe.
	10 min	Les apprenants de chaque groupe procèdent à l'émission de l'hypothèse et on assiste à un débat entre les différents groupes.

		Le professeur se rassure que chaque groupe ait émis une hypothèse.
Étape 4 : Expérimentation	45 mn	Les apprenants se concentrent pour tester leur hypothèse. Chaque groupe propose son protocole expérimental et passe à la manipulation. L'enseignant doit circuler pour guider les élèves en difficultés.
Étapes 5 et 6 : Échanges entre les groupes ; synthèse et acquisition du savoir	20 mn	C'est la phase de confrontation des résultats entre les différents groupes et de comparaison de ces résultats avec l'hypothèse émise initialement. Présenter à la classe le travail réalisé, la validation ou non de la réponse au problème. Solliciter les apprenants pour construire ensemble l'essentiel à retenir les apprenants participent à la construction des connaissances.
Étape 7 : Opérationnalisation des connaissances	15 mn	Proposition d'un exercice et d'un problème de réinvestissement semblable à celui de départ pour évaluer les connaissances construites.

6.4. Description du déroulement de l'apprentissage basé sur la méthode classique

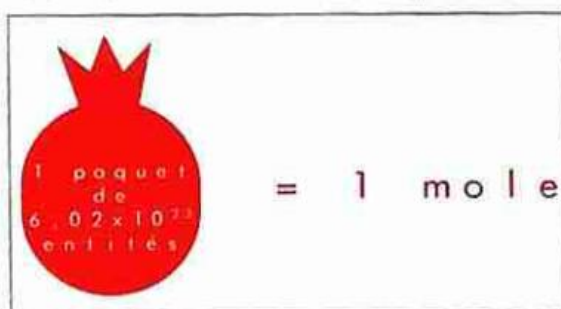
Rappelons que dans chaque établissement choisi pour l'expérimentation, le groupe témoin est conduit par l'enseignant de la classe et le groupe expérimental par le chercheur. La séquence est menée au même moment dans les établissements qui disposaient d'une salle de permanence. Pour les établissements qui n'en disposaient pas, la séance se passait en deux temps. Chaque séance débutait toujours par la même situation d'apprentissage que le groupe expérimental. Il est question pour l'enseignant de procéder comme d'habitude. Après cette situation, l'enseignant va recueillir quelques propositions des apprenants. Par la suite, il va énoncer les objectifs de la leçon et devra poursuivre la séance avec deux séries d'activités

d'apprentissage du livre de physique, chimie et technologie collection Dewatek. Nous présentons ci-dessous ces deux activités qui permettent de consolider les acquis.

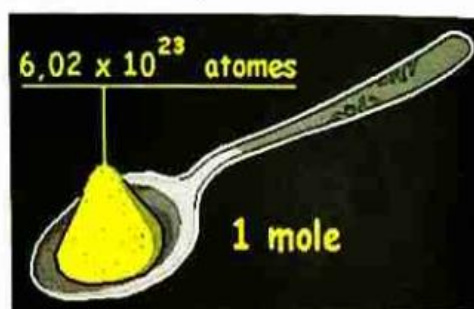
Figure 33

Activite1 sur la découverte de la mole (Dewatek, 2014, pp.18-19)

La masse d'un atome de carbone est d'environ 2×10^{-23} g. Il est impossible de mesurer une telle masse. En raison de leur extrême petitesse, le décompte des atomes dans un échantillon de matière est irréalisable. C'est pourquoi les chimistes et physiciens ont regroupé les entités élémentaires par «paquets» pour les évaluer, chaque paquet étant appelé mole. Les illustrations du document ci-après permettent de mieux saisir ce concept.



(a) La mole, unité de décompte



(b) une mole d'atome de soufre.



(c) Masse d'une mole d'atomes de carbone 12.

Activer Windo
Accédez aux par

Observe attentivement les illustrations (a), (b) et (c) du document ci-dessus et réponds aux questions suivantes :

- Comment appelle-t-on « un paquet » d'entités élémentaires en chimie et en physique ?
- Combien d'entités élémentaires (atomes, molécules...) contient un paquet ?
- Quel nom donne-t-on à ce nombre ? Comment le note-t-on ?
- Renseigne-toi et dis comment on appelle le nombre de « paquets » contenus dans un échantillon de matière.
- Calcule le nombre N d'atomes de soufre contenus dans une quantité de matière $n = 3$ moles d'atomes de soufre. Propose une formule entre N , n , et $6,02 \times 10^{23}$.
- Que représente l'affichage de la balance électronique en (c)? Renseigne-toi et donne un nom à cette mesure.
- Calcule la masse d'un atome de carbone 12. Que représente cette masse calculée ?
- La formule H_2O indique qu'une mole de molécules d'eau est formée de 2 moles d'atomes d'hydrogène (H) et d'une mole d'atomes d'oxygène (O). Calcule la masse d'une mole de molécules d'eau.

Cette activité est constituée de trois documents a, b et c. Le document a est intitulé « la mole, unité de décompte » et on y lit : « 1 paquet de $6,02 \cdot 10^{23}$ entités correspondant à 1 mole ». Le document b est intitulé « une mole d'atome de soufre » et nous observons 1 mole de l'élément soufre posée sur une cuillère indiquant $6,02 \cdot 10^{23}$ atomes de soufre. Le document c intitulé masse d'une mole d'atome de carbone 12, propose la mesure de la masse d'une mole de carbone 12 = 12 g et N_A correspondant au nombre d'Avogadro égale à $6,02 \cdot 10^{23}$ /mol qui correspond au nombre d'atome constituant un échantillon de 12 g de carbone, soit environ 600.000 milliards de milliard. Les apprenants doivent exploiter ces documents pour répondre aux questions. À cet effet, l'enseignant attend de ces apprenants les productions ci-dessous :

a- Comment appelle-t-on « un paquet » d'entités élémentaires en chimie et en physique ?

La réponse attendue d'après le document a : un paquet d'entités élémentaires en chimie et en physique est une mole.

b- Combien d'entités élémentaires (atomes, molécules...) contient un paquet ?

Au regard du document a, la bonne réponse est un paquet contient $6,02 \cdot 10^{23}$ entités élémentaires.

c- Quel nom donne-t-on à ce nombre ? Comment le note-t-on ?

Le document c nous renseigne que ce nombre est la constante d'Avogadro noté N_A

d- Renseigne-toi et dis comment on appelle le nombre de « paquets » contenus dans un échantillon

Il s'agit de la quantité de matière.

e- Calcule le nombre N d'atomes de soufre contenus dans une quantité de matière n =3 moles d'atomes de soufre. Propose une formule entre N, n, et 6,02. 10²³

Par la relation $n=N/N_A$ nous avons $N=n \times N_A$. Application numérique ; Le nombre N est $3 \times 6,02. 10^{23} = 1,83.10^{24}$ atomes de soufre.

f- Que représente l'affiche de la balance électronique en (C) ? Renseigne-toi et donne un nom à cette mesure.

L'affiche représente la masse du carbone 12. Elle correspond à la mesure d'une masse molaire atomique.

g- La formule H₂O indique qu'une mole de molécules d'eau est formée de 2 moles d'atome d'hydrogène(H) et d'une mole d'atome d'oxygène (O). Calcule la masse d'une mole de molécules d'eau.

$$M_{H_2O}=M_H+2M_O \quad \text{AN : } M_{H_2O}=1 \times 2 + 16 = 18 \text{ g/mol}$$

Il faut noter que nous avons insisté pour que cette activité soit faite parce que, généralement, pour question de temps les enseignants considèrent le plus souvent comme un outil qui freine la progression.

Figure 34

Activité 2 sur la détermination de la quantité de matière (Dewatek, 2014 P.19)

- À l'aide d'une balance (de précision de préférence) mesure la masse $m(\text{Fe})$ de la limaille de fer (poudre de fer) et note le résultat obtenu en gramme (g).
- Relève dans la classification périodique la masse molaire atomique de fer $M(\text{Fe})$.
- Calcule en mole (mol) la quantité de matière de fer $n(\text{Fe})$ contenue dans la masse $m(\text{Fe})$ de fer mesurée à l'étape a).
- Écris la relation entre $n(\text{Fe})$, $m(\text{Fe})$ et $M(\text{Fe})$.
- Exploite la relation que tu viens de trouver pour calculer la masse $m(\text{S})$ de soufre qui contient une quantité de matière $n(\text{S})$ égale à celle du fer $n(\text{Fe})$ calculée à l'étape c). Tu relèveras la masse molaire atomique de soufre donnée dans le tableau périodique.

La deuxième activité portant sur le calcul de la quantité de matière n'a pas été faite par manque de réactif (limaille de fer) dans les établissements choisis puisqu'il faut déterminer la masse de la limaille de fer expérimentalement pour pouvoir calculer la quantité de matière de l'atome de fer. Après cette activité, l'enseignant va passer directement à la trace écrite.

6.5. Collecte des données du post-test

Après la phase d'expérimentation qui s'est déroulée entre Janvier et Avril 2023, nous avons conçu cet instrument de collecte des informations auprès des apprenants qui nous servira à mesurer l'impact de l'utilisation de la DI. Il s'agit de vérifier si les notions abordées lors de la séance de travaux pratiques ont été assimilées par les élèves. Sur la base de leur travail, nous pourrions affirmer ou infirmer nos hypothèses de départ. Dans sa structure, il comprend les 9 questions présentées au pré-test dont les 8 premières sont à deux paliers proposant quatre réponses au premier palier avec une seule réponse correcte. La question 9 à un seul palier permet de vérifier le raisonnement des apprenants en termes de calculs quantitatifs : le questionnaire administré au pré-test est le même utilisé au post-test. Le but est de vérifier si les apprenants ont procédé au changement conceptuel. Nous avons réduit le temps alloué pour ce post-test à 40 min contrairement au pré-test dont le temps alloué était de 45 min. Les élèves doivent de nouveau faire un choix au premier palier parmi les multiples choix qui leur sont proposés en entourant la réponse qui leur semble vraie. Au deuxième palier, ils doivent produire des explications qui ont conduit au choix du premier palier.

7. Technique d'analyse des données

– Analyse des données du pré-test

➤ Le premier palier

Sur la base des données obtenues au pré-test, les questionnaires ont été dépouillés et analysés suivant la grille caractérisant les différentes catégories observées dans le tableau que nous présenterons plus bas.

Rappelons que cette grille est inspirée de Cormier (2014) lorsqu'elle étudiait les conceptions alternatives et des processus de raisonnement des étudiants de chimie sur la molécule, la polarité et des phénomènes macroscopiques.

Nous les avons récupérés dûment remplis pour le dépouillement. Nous avons procédé à un dépouillement manuel par l'appui des collègues. Il a consisté à regrouper le nombre d'élèves ayant choisi les bonnes réponses par question pour obtenir le score des apprenants afin de calculer la moyenne des scores du pré-test grâce au logiciel Excel 2016. Notons qu'au pré-test, sur 431 participants qui ont reçu le questionnaire, tous ont répondu à l'ensemble des 9 questions dont 8 à deux paliers et une à un palier.

➤ Le deuxième palier

Ce deuxième palier est constitué des justifications dont l'analyse sera combinée aux choix du premier palier. « L'analyse didactique des productions peut être considérée comme la suite d'une analyse didactique d'un contenu » (Thouin, 2014 p.166), bien que l'analyse didactique d'un contenu se fait avant la production des élèves. Selon lui, l'analyse des productions peut aussi se faire pendant et après l'enseignement tout comme l'analyse du contenu. Il s'agit de catégoriser les justifications les plus fréquentes. Ceci permettra d'avoir une idée sur le mode de raisonnement des élèves au sujet du concept de mole. Pour rendre la lecture de ces justifications aisées, nous avons pris la charge de corriger les fautes d'orthographe et de grammaire tout en conservant le sens des phrases. Les scores des items prennent en compte les réponses du premier palier et leurs justifications au deuxième palier. La fréquence des bonnes réponses et la moyenne des scores au premier palier sera calculée également par le logiciel Excel 2016. Selon cette grille d'analyse, un item sera considéré comme juste si et seulement si l'apprenant entoure la bonne réponse au premier palier et produit une bonne justification au deuxième, c'est-à-dire le choix au premier niveau doit être correct et la justification au deuxième palier doit être pertinente. Pour les réponses fausses, elles peuvent être causées par plusieurs raisonnements tels que mentionnés dans le cadre théorique. Mais notons que dans le cadre de l'analyse de ces résultats, nous avons pris en compte la présence des conceptions alternatives et le manque de connaissances dans le mode de raisonnement des apprenants. Ceci en fonction de notre objectif qui est d'identifier les conceptions des apprenants au sujet de la mole et leurs origines, c'est-à-dire repérer les difficultés des apprenants liées aux conceptions alternatives et aux manques de connaissances. Alors :

- Un bon choix au premier palier et une bonne justification au deuxième palier correspondent à une connaissance construite ;
- Un bon choix au premier palier et une mauvaise justification au deuxième palier, les apprenants éprouvent les difficultés et la connaissance n'est pas construite ;
- Un bon choix au premier palier et pas de justification au deuxième palier, les apprenants éprouvent les difficultés et la connaissance n'est pas construite ;
- Un mauvais choix au premier palier et une mauvaise justification au deuxième palier, les apprenants éprouvent les difficultés et la connaissance n'est pas construite ;
- Un mauvais choix au premier palier et pas de justification au deuxième palier, les apprenants éprouvent les difficultés et la connaissance n'est pas construite ;

Pour les mauvaises justifications, nous les avons classés en deux catégories après une analyse didactique pour trouver leurs origines à savoir, les conceptions alternatives ou le manque de connaissances suivant le tableau 23 sur la technique d'analyse des données.

Les productions des apprenants ont été analysées avec l'appui de quelques animateurs pédagogiques de certains établissements et trois doctorants de didactique de la chimie tous appartenant au laboratoire de didactique des sciences expérimentales (LARDESE) fondé et dirigé par le professeur AYINA BOUNI. Pendant cette analyse, les questions ont été regroupées par thème : les questions Q1 et Q2 traitent la notion de la masse molaire, les questions Q3 et Q4 mettent en exergue la notion de la constante d'Avogadro, les questions Q5, Q6, Q7 et Q8 abordent la masse et la quantité de matière sur plusieurs formes tandis que la question Q9 est indépendante des autres et traite les calculs quantitatifs. La première hypothèse sera validée si les conceptions sont identifiées.

– Analyse des données du post-test

Tout comme à la phase du pré-test, un item sera considéré comme juste si et seulement si l'apprenant entoure la bonne réponse au premier palier et produit une bonne justification au deuxième palier, c'est-à-dire le choix au premier niveau doit être correct et la justification au deuxième palier doit être pertinente. Pour le post-test, notre but est de nous intéresser davantage sur le changement conceptuel c'est-à-dire faire le bon choix au premier palier et produire une justification manifeste. Les catégories de conceptions alternatives et le manque de connaissances ne sont pas exploitables. A cet effet, en lieu et place de l'origine des difficultés, nous allons juste conclure en fonction de la nature de la justification (connaissance construite ou connaissance non construite).

Pour évaluer l'impact d'un apprentissage de la mole basé sur la démarche d'investigation, nous avons également calculé la fréquence des bonnes réponses au premier palier dans le groupe témoin et le groupe expérimental dans un premier temps afin d'établir une comparaison. Dans un second temps, nous avons analysé les productions des apprenants au deuxième palier dans chaque groupe. La validation de notre hypothèse secondaire sera fonction de la pertinence des justifications au deuxième palier.

Tableau 23*Technique d'analyse des données du pré-test et post-test*

Premier palier : Choix	Deuxième palier : Justification	Analyse didactique	Origine	Conclusion
Bon choix	Bonne justification	Connaissance construite		
Bon choix	Mauvaise justification	Identification des difficultés des apprenants	conception erronée ou manque de connaissance	Connaissance non construite
Bon choix	Pas de justification			
Mauvais choix	Mauvaise justification			
Mauvais choix	Pas de justification			
Pas de choix	Pas de justification	Sujet non classé pour l'item		

Figure 35

Schéma des principaux moments de la recherche

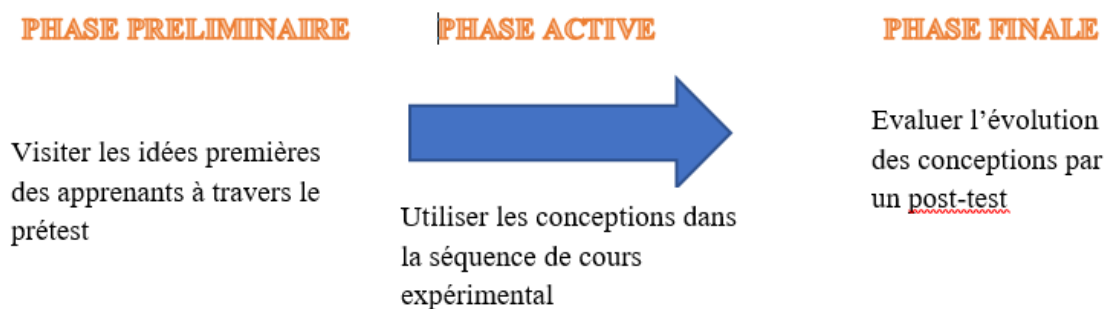
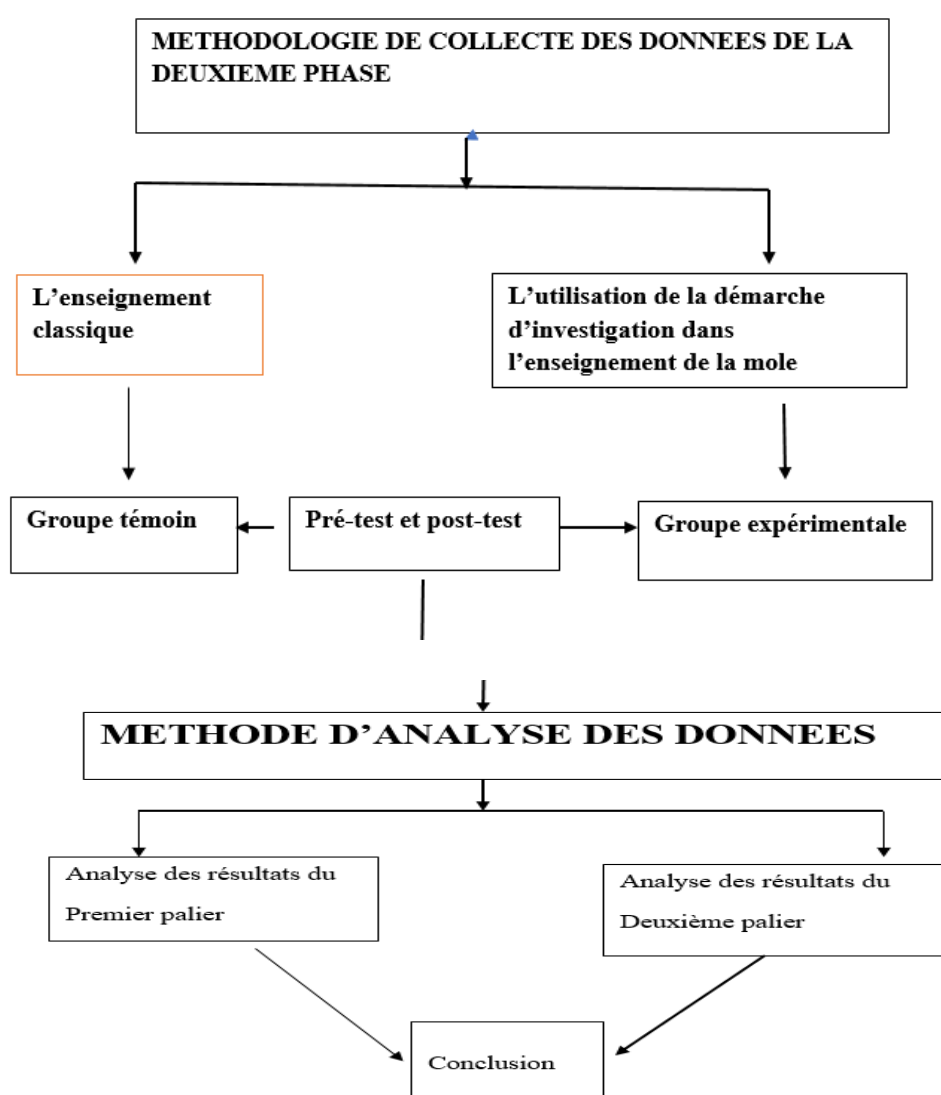


Figure 36 : Les étapes de la méthodologie de la phase finale de l'étude



En définitive, nous avons présenté les détails basés sur la technique de collecte et d'analyse des données. Le chapitre suivant est destiné à la présentation et discussion des résultats.

CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans cette partie, il s'agit de présenter clairement les résultats afin de les analyser et d'en ressortir les points importants en fonction de la question principale et des questions secondaires. Les données quantitatives « consistent à résumer un grand nombre de données numériques pour en faire ressortir les caractéristiques principales telles la tendance centrale ... » (Thouin, 2014, p.159). Il est question de présenter la moyenne des fréquences obtenues.

L'analyse qualitative va reposer sur les productions des apprenants au deuxième palier. « Elle nécessite un type d'analyse qui vise à inférer diverses informations au sujet des conceptions des raisonnements des méthodes de travail et des intentions des sujets à partir des caractéristiques de leurs productions » (Thouin, 2014, p.166).

L'analyse des résultats a permis de déterminer quelles perceptions les élèves ont des phénomènes scientifiques et à identifier les potentiels problèmes que cela engendre sur la compréhension du concept de mole. Ce mode de représentation des résultats est une illustration tirée partiellement des travaux de Cormier (2014). Il permet d'identifier les concepts chimiques qui posent des difficultés aux apprenants, de vérifier le niveau de changement, de modification du système de croyance des élèves en chimie et de caractériser leur attitude comportementale face aux processus d'apprentissage du concept de mole.

Comme nous l'avons signalé dans la méthodologie, un questionnaire à deux paliers a été administré. Le premier palier constitue le choix et une justification ouverte pour le second palier. Nous présentons dans un premier temps les résultats du premier palier en fréquence de bonne réponse. Ensuite, une combinaison du choix-justification sera mise en évidence. Les résultats que nous présentons dans cette partie émanent des questions de recherche évoquées.

1. Taux de participation expérimental

Nous rappelons dans ce chapitre que le questionnaire a été distribué au pré-test à 431 apprenants du niveau troisième dans des lycées secondaires d'enseignement général francophone. Toutes les questions ont été valablement remplies pour un taux de participation de 100 %. Ceci est dû à notre présence dans toutes les salles de classe pendant cette phase donc les résultats présentés et discutés ici sont les productions de 431 apprenants à la phase du pré-test et, pour la phase du post test, 99 apprenants du groupe expérimental ont subi un enseignement basé sur la démarche d'investigation. Tous les 99 apprenants ont entièrement répondu à l'ensemble des questions du questionnaire du post-test. Pour ce qui est du groupe témoin, 99 apprenants ont pris part à un apprentissage basé sur la méthode traditionnelle et tous les 99 apprenants ont également répondu à toutes les questions du questionnaire du post-

test, soit un taux de participation de 100% au post-test dans le groupe témoin et dans le groupe expérimental. Nous présenterons pour la phase du post-test les résultats et les productions de 99 élèves dans le groupe expérimental et 99 élèves dans le groupe témoin.

2. Taux du succès au premier palier du pré-test

Rappelons que notre effectif pour cette phase de pré-test est de 431 apprenants provenant de quatre régions du pays.

Le tableau suivant présente le pourcentage de bonne réponse par question du pré-test. Il est constitué de 8 items qui sont les items à deux paliers.

Tableau 24

Taux de succès des élèves au premier palier

Items	Effectifs	Fréquence (%)
Q1	67	15
Q2	65	15
Q3	90	20
Q4	40	9
Q5	73	16
Q6	48	11
Q7	65	15
Q8	27	6
Moyenne		13

Le taux de réussite moyen au premier palier est de **13 %**, ce qui est en dessous de la moyenne. Ce faible taux est une évidence étant donné que le pré-test a été conçu pour faire ressortir les idées préconçues. Il est troublant de constater que sur l'ensemble des 8 questions, nous n'avons pas pu enregistrer un effectif de 100 apprenants ayant fait le bon choix au premier palier pour un item. Le plus grand effectif est observé à la question 3 soit 90 apprenants ayant fait le bon choix au premier palier pour un taux de 20 % qui est très insignifiant. Pour le reste des questions, les taux de succès sont en dessous de 17 %. Cela voudrait tout simplement dire que si nous nous limitons au premier palier, nous devons nous focaliser sur ces taux pour tirer la conclusion selon laquelle le concept de mole est assimilé

pour ces élèves. Rappelons aussi que ce concept avait été déjà enseigné au moment où nous passons le pré-test. Notre premier objectif secondaire est d'identifier les conceptions erronées et leurs origines, nous allons analyser les justifications des apprenants au deuxième palier même si l'apprenant venait à porter son choix sur la bonne réponse et donnait une mauvaise justification.

2.1. Justification au deuxième palier

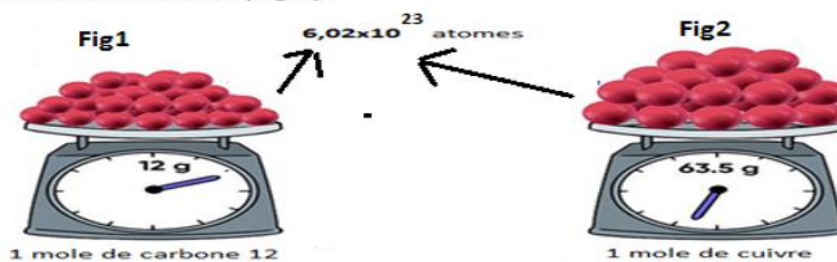
Nous présentons ici les résultats combinés (premier palier et deuxième palier) pour l'ensemble des 8 items. Il est question de faire une analyse didactique des justifications du deuxième palier dans le but de relever les idées fausses associées à chaque justification ou au manque de connaissances. Cette analyse est faite à la fois pour les mauvaises et les bonnes réponses. Précisons qu'il existe environs 390 justifications mais nous ne pouvons pas toutes les présenter. Les justifications les plus récurrentes regroupées sont présentées par item. Au terme de cette analyse, il a été décelé chez les apprenants plusieurs conceptions erronées. Les bonnes réponses du premier palier sont matérialisées par un astérisque (*) et les résultats sont regroupés par thème.

2.1.1. Résultats des questions qui traitent la masse molaire

La masse molaire qui est une notion centrale dont la compréhension contribue à une bonne maîtrise du concept de mole. Elle fait l'objet de deux items. : la première question et la deuxième question. Les tableaux 24 et 25 présentent les réponses des apprenants aux première (Q1) et deuxième (Q2) questions du pré-test. Les explications des élèves sont liées à leurs choix.

La première question est présentée ainsi qu'il suit :

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).



Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1.

a- La masse d'une mole de molécule de carbone 12

b- Le nombre d'atome de carbone 12

c- La masse d'une mole d'atome de carbone 12

d- Je ne sais pas

Justification :

Rappelons que la bonne réponse est : c- La masse molaire atomique du carbone 12

La bonne justification attendue ;

Justification : La masse molaire atomique du carbone 12 est la masse d'une mole d'atome de carbone 12

Tableau 25

Réponses et justifications des élèves à la question Q1 du pré-test

Réponse Premier palier	Deuxième palier : Justification	Analyse didactique	Origine
a	<ul style="list-style-type: none"> - Sur la balance, nous voyons 12 g qui représente la masse moléculaire d'une mole ; - La masse moléculaire du carbone est 12 g ; - La molécule et l'atome ont la même masse égale à 12 g. 	La molécule est égale à l'atome	Concepti on erronée
b	<ul style="list-style-type: none"> - 12 est le numéro atomique ; - 12 est la charge du carbone parce qu'il occupe la 12^{ème} case du TCP ; - 12 représente les électrons qui gravitent autour du noyau ; 	Confusion entre la masse molaire atomique et le numéro atomique	Concepti on erronée

	12 est le nombre de masse qui se trouve dans le TCP ;	La masse molaire atomique est égale au nombre de masse	
	<ul style="list-style-type: none"> – Le nombre d'atomes est estimé en g/mol ; – Le gramme est l'unité de mesure des masses ; – Les deux schémas ont le même nombre d'atomes ; 		Manque de connaissances
c*	<ul style="list-style-type: none"> – 12g représentent la masse du poids dans 12 g de carbone 12 ; – Quand on pose un objet ou un poids sur la pesée, c'est pour regarder la masse de cet objet ; – C'est le poids de la masse ; 	Difficulté à identifier le poids d'un objet et la masse d'un objet	Conception erronée
	<ul style="list-style-type: none"> – Un atome est contenu dans une mole ; – Le nombre d'atomes est constitué dans un échantillon de 12 carbones ; – La masse d'une mole est son nom ; – Le carbone est un atome qui contient les molécules. 		Manque de connaissances

Question 2 : D'après les schémas de la question 1, que représente la mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la Fig2 ?

- a- La masse d'une mole de molécule de cuivre
- b- Le nombre d'atome de cuivre
- c- La masse d'une mole d'atome de cuivre
- d- Je ne sais pas

Justification :

Rappelons que la bonne réponse est : **c**-La masse d'une mole d'atome de cuivre.

La bonne justification se présente comme suit :

Justification : La masse molaire atomique du cuivre est la masse d'une mole d'atome **de** cuivre.

Tableau 26

Réponse et justifications des élèves à la question Q2 du pré-test

Premier palier	Deuxième palier Justification	Analyse didactique	Origine
a	<ul style="list-style-type: none"> - La masse d'une mole de molécule est 63,5 g ; - Le cuivre est une molécule ayant pour mole 63,5 g ; - La masse moléculaire du cuivre est 63,5kg. 	Confusion entre la masse molaire moléculaire et la masse molaire atomique	Conception erronée
b	<ul style="list-style-type: none"> - Le nombre total de Cu =63,5 g ; - 63,5 g est le nombre total d'atome contenu dans une ou plusieurs moles ; - Il y'a erreur : on devait plutôt écrire 63,5 atomes au lieu de 63,5 g. 	La masse molaire atomique = au numéro atomique	Conception erronée
C*	<ul style="list-style-type: none"> - 63,5 est le nombre de cuivre car 1 mol d'atome représente la totalité de ça ; - 63,5 est le d'atome contenu dans une mole ; - La mole représente le nombre d'atomes que contient le cuivre 63,5 atomes ; 		

	– Le cuivre est constitué d’atomes lourds donc 63,5 atomes ;		
	– La quantité de matière d’un système contenant autant d’entités élémentaires qu’il y’a d’atomes de carbone 12 ; – 63,5 est la quantité de matière contenue dans une mole ;	La masse molaire est la quantité de matière	Conception erronée
	– Le nombre de cuivre augmente ; – La masse est exprimée en gramme ; – La masse est le poids d’une mole ; – L’unité d’une mole représente la quantité de matière ;		Manque de connaissances

La première et la deuxième question sont semblables. Il s’agit de vérifier le niveau des apprenants au sujet de la masse molaire qui est incontournable pour la compréhension de la mole. Les productions des élèves montrent qu’ils ont des difficultés à ce sujet. L’analyse de ces productions est basée sur les combinaisons réponses-justifications. Rappelons que trois catégories sont mises en évidence :

- Certains élèves produisent la bonne réponse et la bonne justification : la connaissance est construite ;
- D’autres produisent la mauvaise réponse et une justification non correcte : ces apprenants présentent soit une conception erronée, soit un manque de connaissances ;
- La troisième catégorie concerne les élèves qui proposent une bonne réponse avec une mauvaise justification : La bonne réponse n’est pas prise en compte, nous nous intéressons sur leurs justifications pour les classer comme conceptions erronées ou comme un manque de connaissances.

Notons que pour la première catégorie, nous avons enregistré quelques rares élèves qui donnaient la bonne réponse au premier palier et une bonne justification au deuxième palier. Le pourcentage dans ce cas était très négligeable étant donné que nous n’avons enregistré

aucun élève ayant validé quatre items dans ce cas de figure. En fonction de notre objectif, les deux dernières catégories nous ont semblées intéressantes. Si les élèves ne distinguent pas la masse molaire atomique de la masse molaire moléculaire, il est tout à fait normal qu'ils confondent la molécule de l'atome.

Figure 37

Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un mauvais choix (a) pour la question Q1 du pré-test

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).

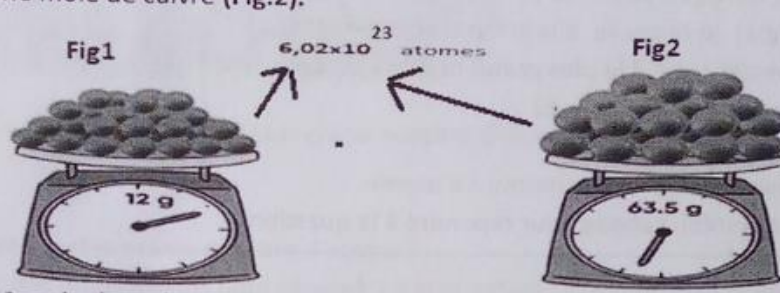


Fig1: 12 g, 1 mole de carbone 12

Fig2: 63.5 g, 1 mole de cuivre

6,02x10²³ atomes

Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1.

a- La masse d'une mole de molécule de carbone 12

b- Le nombre d'atome de carbone 12

c- La masse d'une mole d'atome de carbone 12

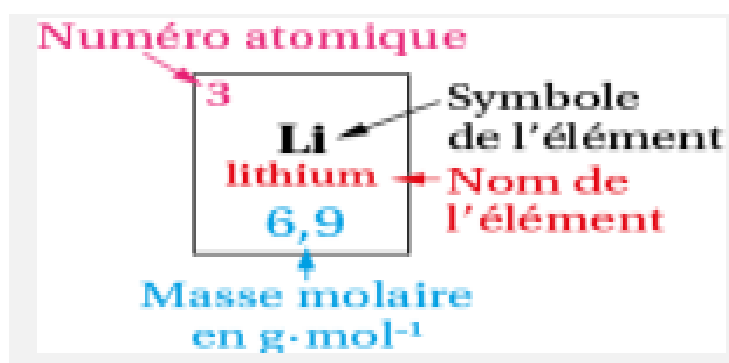
d- Je ne sais pas

Justification : C'est la masse molaire moléculaire du Carbone 12 $M = 12 \text{ g/mol}$

Dans cette production, nous constatons que les apprenants raisonnent avec des idées fausses. Dans le tableau de classification périodique, un élément chimique est représenté par ses caractéristiques selon le modèle suivant :

Figure 38

Caractéristiques de l'élément Lithium



Numéro atomique → 3

Symbole de l'élément → Li

Nom de l'élément → lithium

Masse molaire en g·mol⁻¹ → 6,9

Rappelons que le tableau de classification périodique des éléments permet :

- De reconnaître le symbole d'un élément ;
- De reconnaître son numéro atomique z ainsi que sa masse molaire atomique ;
- De situer un élément chimique dans le tableau lorsque son numéro atomique est connu.

Nous avons pris l'exemple de l'élément lithium, la Fig1 nous renseigne que sa masse molaire atomique est $M = 6,9 \text{ g/mol}$ et son numéro atomique $Z = 3$. Dans le contexte camerounais comme nous l'avons signalé à la problématique, cette leçon est enseignée juste avant le concept de mole. Mais l'analyse didactique des justifications des apprenants a montré que plusieurs font la confusion entre la masse molaire et le numéro atomique. D'autres parts, plusieurs apprenants ne font pas la différence entre le poids d'un corps et la masse.

Figure 39

Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un mauvais choix (b) pour la question Q1 du pré-test

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).

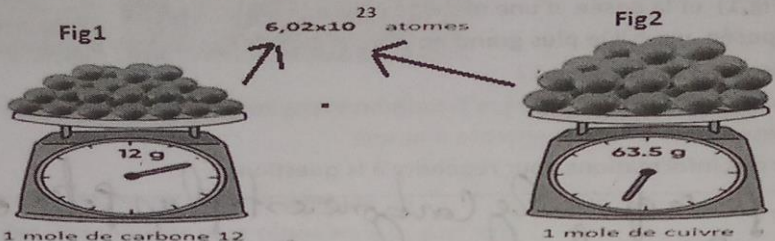


Fig1
12 g
1 mole de carbone 12

Fig2
63.5 g
1 mole de cuivre

6,02x10²³ atomes

Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1.

a- La masse d'une mole de molécule de carbone 12
 b- Le nombre d'atome de carbone 12
 c- La masse d'une mole d'atome de carbone 12
 d- Je ne sais pas

Justification : *à force que le nombre d'atome de Carbone est représenté à 12 g*

Pour ces apprenants, « 12 g représente le nombre d'atome de carbone ». Cette conception alternative a été constatée chez plusieurs apprenants. Pendant le cours sur la mole, la relation entre la quantité de matière et la mole est établie ; c'est le rapport entre la masse de l'échantillon et la masse molaire. Chez certains élèves, la quantité de matière est confondue avec la masse molaire atomique. Dans le tableau 16, nous avons mentionné le taux du succès au premier palier pour tous les items. Pour les deux premiers items, le taux de succès au premier palier est identique à **15 %**. Les explications des apprenants nous montrent que ce

choix a été fait par hasard. Ci-dessous l'exemple d'une production d'un apprenant pour la question 2.

Figure 40

Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un bon choix (c) pour la question Q2 du pré-test

Question 2 : D'après les schémas de la question 1

Que représente la mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la Fig2

a-La masse d'une mole de molécule de cuivre
 b-Le nombre d'atome de cuivre
 c-La masse d'une mole d'atome de cuivre
 d-Je ne sais pas

Justification : parce que le nombre d'atome est représenté 63,5 g

Nous constatons que certains apprenants ont fait le bon choix au premier palier à savoir, 63,5 g représente la masse d'une mole d'atome de cuivre mais ils présentent une conception erronée « 63,5 g représente le nombre d'atome ». Selon ces apprenants, il existe un demi atome pourtant on leur fait comprendre que l'atome est insécable.

A la première et deuxième question, l'analyse des justifications des apprenants montre que les difficultés rencontrées par les apprenants quand ils mobilisent les connaissances pour résoudre une tâche en lien avec la mole sont dues non seulement à la présence des conceptions erronées mais aussi à un manque de connaissances.

Figure 41

Exemple d'un mode de raisonnement lié à un manque de connaissances qui conduit à la mauvaise réponse(a) pour la question Q1 du pré-test

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).

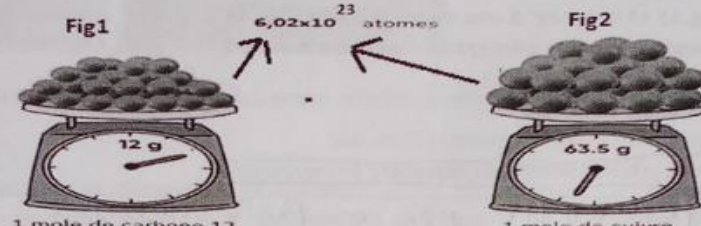


Fig1 1 mole de carbone 12

Fig2 1 mole de cuivre

6,02x10²³ atomes

Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1.

a-La masse d'une mole de molécule de carbone 12

b-Le nombre d'atome de carbone 12

c- La masse d'une mole d'atome de carbone 12

d-Je ne sais pas

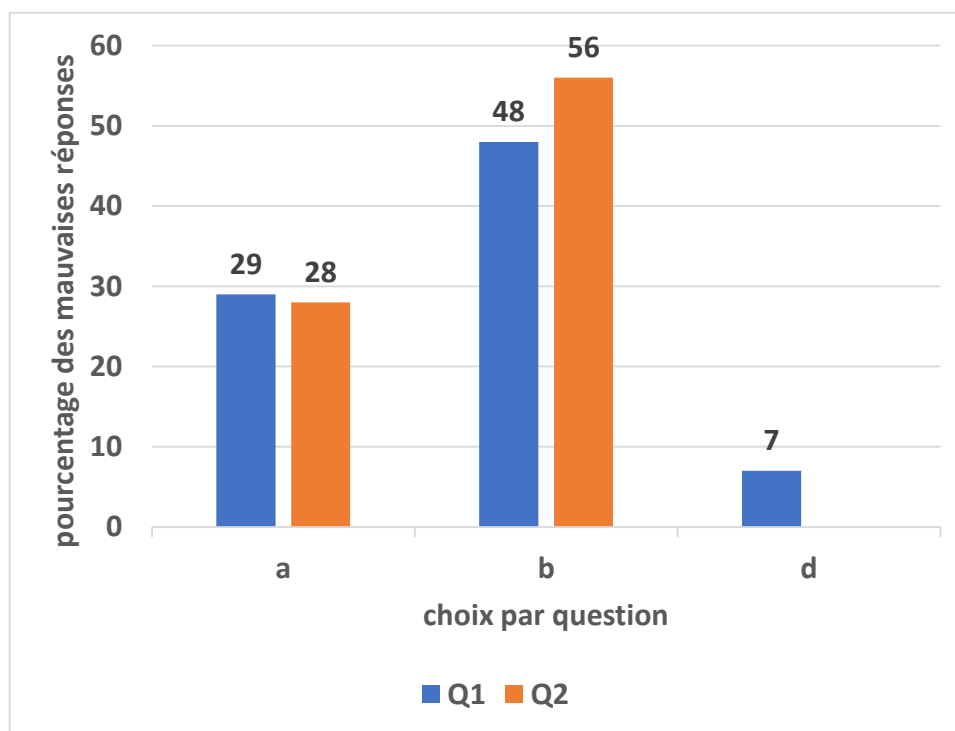
Justification : *parce que la masse s'exprime en gramme et on peut aussi la convertir en Kg*

Cet apprenant ne dispose pas assez de ressources pour aborder la question. Le choix du premier palier est faux et la justification n'a aucun sens.

Pour mieux explorer les difficultés conceptuelles des apprenants, nous avons opté de tracer le diagramme des pourcentages des mauvaises réponses au premier palier en fonction des différents choix par question (Q1 et Q2) sur la notion de la masse molaire atomique. Le diagramme ci-dessous représente ces pourcentages.

Figure 42

Diagramme des pourcentages des mauvaises réponses sur la notion de la masse molaire atomique



Comme nous pouvons le constater, ce diagramme montre la fréquence des mauvais choix par question. La question 1 est matérialisée par la couleur bleue et la question 2 par la couleur orange. Le choix c qui constitue la bonne réponse ne figure pas sur le diagramme. Pour la première question, 29 % des élèves pensent que 12 g représente la masse d'une mole de molécules de carbone 12. 48 % considèrent ce chiffre comme étant le nombre d'atomes de carbone et 7 % qui ne savent pas ce qui signifie ce chiffre. Par contre à la deuxième question, pour 28 % des apprenants, 63,5 g correspondent à la masse d'une mole de molécules de cuivre et pour 56 % des apprenants, 63,5 g représentent le nombre de molécules. A partir de ces pourcentages, nous comprenons pourquoi nous avons enregistré une pléthore de justifications erronées.

2.1.2. Résultats traitant la constante d'Avogadro

Nous avons jugé indispensable de tester le niveau de connaissances des apprenants au sujet de la constante d'Avogadro. Pour cela, il faut connaître le nombre d'atomes contenus dans une mole de carbone et de cuivre car la constante d'Avogadro établit le lien entre le domaine macroscopique (entités visibles) et le monde microscopique (entités invisibles). Deux items étaient suffisants pour faire émerger les conceptions erronées ; il s'agit des questions Q3 et Q4.

2.12.1. Analyse des productions des apprenants à la question Q3 au pré-test

Question 3 : D'après les schémas de la question 1, quel est le nombre d'atomes contenus respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre ?

- a- Une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63,5 atomes de cuivre ;
- b- Une mole de carbone 12 contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de cuivre ;
- c- Une mole de carbone 12 contient $7,22 \times 10^{24}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $3,82 \times 10^{25}$ atomes de cuivre ;
- d-** Je ne sais pas.

Justification :

Pour rappel, cette question vise à sonder les connaissances des élèves sur la connaissance de la constante d'Avogadro. Pour une mole de toute substance ayant les masses différentes, elles contiennent exactement le même nombre d'entités élémentaires. La réponse attendue est b- Une mole de carbone 12 contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de cuivre. La justification attendue est :

Justification : Une mole d'entités élémentaires de substances chimiques différente est égale à la constante d'Avogadro (N_A) qui vaut exactement $6,02214179 \times 10^{23}$ /mol.

Les tableaux 26 et 27 ci-dessous représentent l'analyse de quelques justifications des apprenants.

Tableau 27

Réponses et justifications des élèves à la question Q3 au pré-test

Premier palier	Deuxième palier Justification	Analyse didactique	Origine
a	<ul style="list-style-type: none"> - Dans le TCP le carbone est égal à 12 et le cuivre est égale à 63,5 ; - Le cuivre contient le double de carbone ; 		Manque de connaissances
	12 représente sa masse molaire moléculaire ;	Masse molaire atomique est égale à masse molaire moléculaire	Conception erronée
	<ul style="list-style-type: none"> - Dans la balance, on a marqué 12 atomes de carbone et 63,5 g de cuivre ; - Une mole de carbone contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63,5 atomes de cuivre ; 	Masse molaire = nombre d'atomes	
	<ul style="list-style-type: none"> - Plus le chiffre est élevé plus l'atome augmente ; 		Manque de connaissances

	– La quantité de matière est mesurée en gramme.		
b*	– Le nombre de mole est $6,02 \cdot 10^{23}$ – La loi de Lavoisier dit que la masse des produits = a la masse des réactifs – La balance nous indique tout – Les deux n'ont pas de puissance		Manque de connaissances
	On a utilisé la constante d'Avogadro N_A ;	Confusion entre N_A et Na	
	– Le nombre d'atomes = au nombre de mole ; – Le carbone contient 12 mol, égal au nombre d'atome ;	La quantité de matière = nombre d'atome	Conception erronée
	– Dans le TCP le carbone a une atomicité de 12 ; – 6305 g et 12 g forment l'atomicité de chaque atome.	Masse molaire = nombre d'atomicité	
c	– Il y'a moins d'atome dans une mole de carbone que dans une mole de cuivre car le cuivre est gros ;	La quantité d'une mole d'entité élémentaire dépend de sa grosseur	Conception erronée
	$6,02 \cdot 10^{23}$ est la masse d'une mole de carbone et de cuivre ;	La masse d'une mole est égale au nombre d'Avogadro	
	Quand on calcule le nombre d'atome contenu, on obtient $7,22 \cdot 10^{24}$ et $3,82 \cdot 10^{25}$.		Manque de connaissances

Comme nous pouvons le constater dans le tableau ci-dessus, certains élèves estiment que pour connaître le nombre d'atomes de carbone et de cuivre contenus dans une mole, il

faut consulter le tableau de classification périodique. Ceci relève d'une conception alternative qui peut influencer sur les calculs quantitatifs même au niveau supérieur.

Figure 43

Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un mauvais choix (a) pour la question Q3 du pré-test

Question 3 : D'après les schémas de la question 1
 Quel est le nombre d'atome contenu respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre.

a- Une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63.5 atomes de cuivre
 b- Une mole de carbone 12 contient 6.022×10^{23} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 6.022×10^{23} atomes de cuivre
 c- Une mole de carbone 12 contient 7.22×10^{24} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 3.82×10^{25} atomes de cuivre

Justification : parce que d'après le tableau périodique des éléments le carbone est = 12 et le Cuivre = 63,5

Nous notons dans ce mode de raisonnement une confusion conceptuelle entre la masse molaire atomique et le nombre d'atomes. Comme les balances indiquent 12 g et 63.5 g, et que ces chiffres se trouvent dans le tableau de classification périodique, ils représentent respectivement le nombre d'atomes de carbone et le nombre d'atomes de cuivre. Cette conception est très répandue chez beaucoup d'élèves.

Plusieurs énoncent plutôt la loi de Lavoisier tandis que d'autres pensent que dans une mole il faut effectuer les calculs pour trouver le nombre d'atomes ; par conséquent, nous les avons classés dans la catégorie de manque de connaissances.

Figure 44

Exemple d'un mode de raisonnement lié à un manque de connaissances qui conduit à la mauvaise réponse(c) pour la question Q3 du pré-test

Question 3 : D'après les schémas de la question 1
Quel est le nombre d'atome contenu respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre.

a- Une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63.5 atomes de cuivre

b- Une mole de carbone 12 contient 6.022×10^{23} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 6.022×10^{23} atomes de cuivre

c- Une mole de carbone 12 contient 7.22×10^{24} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 3.82×10^{25} atomes de cuivre

Justification : la réponse est le c car $12 \text{ g} \times 6,022 \times 10^{23} = 7,22 \times 10^{24}$ atomes pour carbone et $63,5 \times 6,02 \times 10^{23} = 3,82 \times 10^{25}$

Nous avons identifié d'autres conceptions erronées telles que la confusion conceptuelle entre la masse molaire et le nombre d'atomicité, la non distinction de la masse molaire atomique et la masse molaire moléculaire. Pourtant que la notion d'élément chimique est abordée en classe de 4^{ème} où on enseigne les règles pour représenter les symboles des éléments chimiques. Tous ces éléments chimiques sont classés dans un tableau contenant 7 lignes ou périodes et 18 colonnes ou groupes appelé tableau de classification périodique des éléments chimiques. Chaque élément est caractérisé par son symbole.

Par convention, le symbole de chaque élément chimique commence par une première lettre majuscule dérivant de l'une des langues suivantes : Français, Anglais, Allemand, Latin, Grec... Exemple : Carbone : C ; Hydrogène : H ; Nitrogène (Azote) : N ; Kalium (Potassium) : K. Lorsque ces noms commencent par la même lettre, une seconde lettre est ajoutée en minuscule pour différencier leurs symboles. Exemple : Chlore : Cl ; Calcium : Ca ; Hélium : He ; Natrium (Sodium) : Na. Les symboles du sodium et d'azote proviennent de leur ancienne appellation (Natrium et Nitrogène). (Kappenol et al., 2016 par. 4)

Au sortir de ce niveau, l'élève est censé maîtriser le symbole des 20 premiers éléments. Il est alors étonnant qu'au niveau troisième, les apprenants confondent encore les symboles N_A et Na malgré le bon choix fait au premier palier.

Figure 45

Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un bon choix (b) pour la question Q3

Question 3 : D'après les schémas de la question 1
 Quel est le nombre d'atome contenu respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre.

a- Une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63.5 atomes de cuivre

b- Une mole de carbone 12 contient 6.022×10^{23} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 6.022×10^{23} atomes de cuivre

c- Une mole de carbone 12 contient 7.22×10^{24} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 3.82×10^{25} atomes de cuivre

Justification : *On a utilisé la constante d'Avogadro N_A*

Les deux symboles ont les mêmes lettres constituées de la première et de la quatorzième lettre de l'alphabet français mais n'ont pas les mêmes significations en langage chimique. Le symbole N_A dont la première lettre est écrite en majuscule et la deuxième est en indice et à droite écrite aussi en majuscule désigne la constante d'Avogadro. Pour le symbole Na la première lettre est en majuscule et la deuxième en minuscule écrite en indice et à droite pour indiquer le symbole de l'élément chimique qui est le sodium. Les apprenants devraient réaliser cette différence. Le taux de succès pour la troisième question est de **20 %** et l'analyse didactique montre que ce groupe d'élèves présentent un manque de connaissances et des conceptions alternatives.

2.1.2.2. Analyse des productions des apprenants à la question Q4 au pré-test

Question 4 : D'après les schémas de la question 1 représentés par la pesée d'une mole de carbone 12 (**Fig.1**) et la pesée d'une mole de cuivre (**Fig.2**), **dans quelle pesée y a-t-il le plus grand nombre d'atome ?**

- a- Pesée d'une mole de carbone 12 ;
- b- Pesée d'une mole de cuivre ;
- c- Les deux pesées ont le même nombre d'atomes ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Justification :

La bonne réponse : c- Les deux pesées ont le même nombre d'atomes

La bonne justification attendue :

Justification : Une mole d'entités élémentaires (atome, molécule, ion, ...) de deux substances chimiques ayant des masses différentes a le même nombre d'entités élémentaires égales exactement à $6,02214179 \times 10^{23}$

Le tableau suivant présente quelques exemples des productions des apprenants à la question Q4 du pré-test.

Tableau 28

Réponse et justifications des élèves à la question Q4 au pré-test

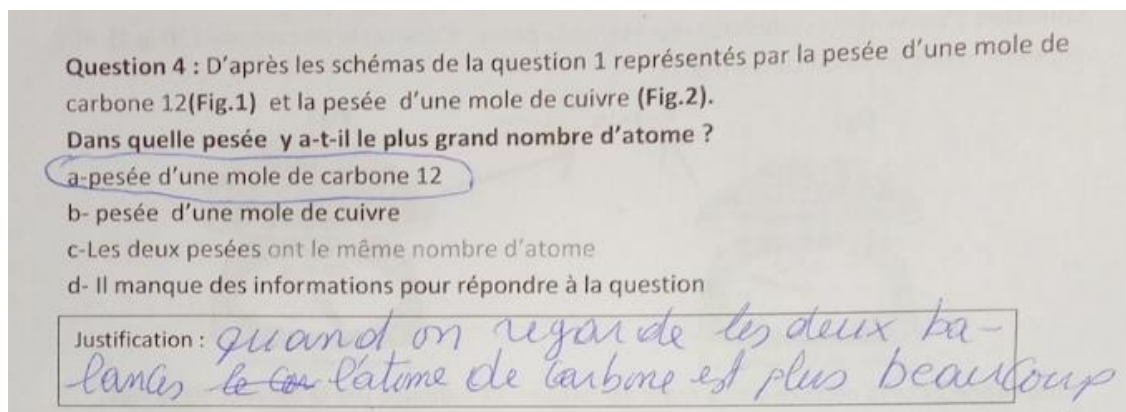
Premier palier	Deuxième palier Justification	Analyse didactique	Origine
a	<ul style="list-style-type: none"> - Une mole de carbone est porteuse de plusieurs atomes ; - Dans le carbone on a plus d'atomes ; 	Confusion entre quantité de matière et masse	Conception erronée
	<ul style="list-style-type: none"> - Le carbone est contenu dans le CO₂ qui est composé de 2 atomes. 		Manque de connaissances
b	<ul style="list-style-type: none"> - Le cuivre est ion ; - Le cuivre n'a pas de masse atomique ; - La mole est supérieure au carbone 12 et le cuivre ; 		Manque de connaissances
	<ul style="list-style-type: none"> - Le cuivre en le pesant donne un grand nombre ; - La masse du cuivre est plus élevée que celle du carbone ; - $12\text{g} < 63,3\text{ g}$ - Le cuivre contient 63,5 atomes et le carbone contient 12 atomes. 	La masse molaire atomique = au nombre d'atomes	Conception erronée
c*	<ul style="list-style-type: none"> - Dans 12g de carbone 12 il y'a plusieurs atomicités ; 		Manque de connaissances

	<ul style="list-style-type: none"> - 1 mol de carbone 12 et 1 mol de cuivre est $> 6,022 \cdot 10^{23}$; - On peut compter ce qui est au-dessus et on sait que ce qui est en bas correspond à la même quantité. 		
--	--	--	--

La question trois évalue les connaissances des apprenants sur la valeur de la constante d'Avogadro. La quatrième question met en évidence le même nombre d'atomes dans une mole pour deux éléments chimiques différents. La nouvelle conception relevée ici est la confusion entre la quantité de matière et la masse. Cette conception est observée pour les apprenants ayant porté leur choix du premier palier sur la lettre **a**. Pour ces élèves, le carbone semble avoir plus d'atomes. Le jugement est basé sur l'aspect physique des atomes représentés sur les balances.

Figure 46

Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à une mauvaise réponse (a) pour la question Q4



D'autres apprenants se focalisent sur la comparaison des masses molaires atomiques et tirent la conclusion selon laquelle le cuivre, ayant une masse molaire atomique plus élevée que le carbone, contient par conséquent plus d'atomes de cuivre. Nous présentons ci-dessous la justification d'un apprenant à cet effet.

Figure 47

Exemple d'un mode de raisonnement lié aux conceptions alternatives conduisant à un bon choix (b) pour la question Q4

Question 4 : D'après les schémas de la question 1 représentés par la pesée d'une mole de carbone 12(Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).

Dans quelle pesée y a-t-il le plus grand nombre d'atome ?

a- pesée d'une mole de carbone 12

b- pesée d'une mole de cuivre

c- Les deux pesées ont le même nombre d'atome

d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : parce que 63.5g est plus grand que 12g.

Dans leur pensée, plus la masse molaire est élevée, plus l'entité contient le plus grand nombre d'atomes « 63,5 g est plus grand que 12 g ». Un autre raisonnement lié à un manque de connaissances que nous avons également identifié et qui conduit à un autre mauvais choix au premier palier est observé au niveau du rapprochement entre la masse molaire et le nombre d'atomicité ; ils pensent qu'une mole de carbone 12 et une mole de cuivre sont supérieurs à $6,022 \cdot 10^{23}$. Le plus étonnant est le bon choix fait au premier palier. Notons que les apprenants qui développent ce type de raisonnement représentent un faible taux.

Figure 48

Exemple d'un mode de raisonnement lié à un manque de connaissances qui conduit à la bonne réponse(c) pour la question Q4 du pré-test

Question 4 : D'après les schémas de la question 1 représentés par la pesée d'une mole de carbone 12(Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).

Dans quelle pesée y a-t-il le plus grand nombre d'atome ?

a- pesée d'une mole de carbone 12

b- pesée d'une mole de cuivre

c- Les deux pesées ont le même nombre d'atome

d- Il manque des informations pour répondre à la question

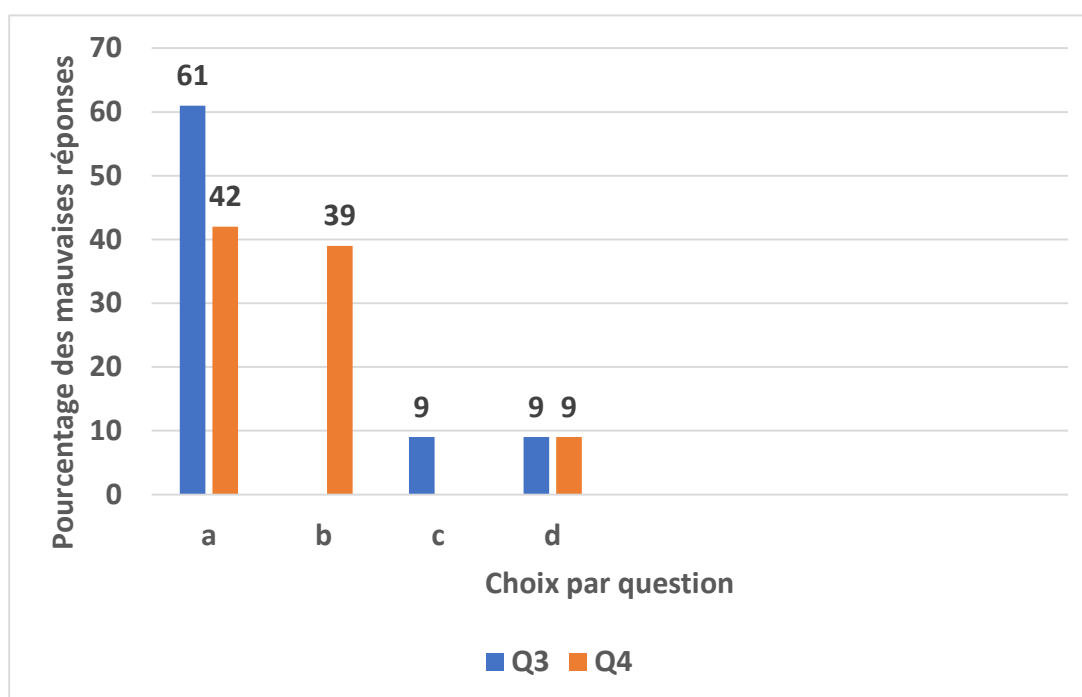
Justification : parce que 1 mol de carbone et 1 mol de cuivre $> 6,022 \times 10^{23}$

Les élèves doivent intégrer qu'une mole d'atomes de carbone contient exactement $6,02214179 \cdot 10^{23}$ atomes de carbone avec une masse de 12 g /mol représentant sa masse molaire atomique. Une mole d'atomes de cuivre contient aussi exactement $6,02214179 \cdot 10^{23}$ atomes de cuivre avec une masse de 63.5 g / mol représentant sa masse molaire atomique.

Alors, une mole de toutes substances (atome, molécule, ion, ...) contient exactement $6,2214076 \cdot 10^{23}$ atomes de cette substance, ce qui veut dire que 2 moles d'une substance contiennent exactement $2 \times 6,02214179 \cdot 10^{23} = 1,2044 \cdot 10^{24}$ atomes de cette substance. On obtient la relation suivante : nombre de particule = quantité de matière x constante d'Avogadro. Pour cette question, le taux de succès au premier palier est de 9 % pour un taux moyen de 14,5%. Le diagramme suivant montre le degré de difficultés des apprenants sur la notion de la constante d'Avogadro au premier palier.

Figure 49

Diagramme des pourcentages des mauvaises réponses sur la notion de la constante d'Avogadro au pré-test



Rappelons que les deux items qui constituent ce diagramme mettent en évidence la mobilisation des ressources pour conceptualiser la notion de la constante d'Avogadro. La question 3 est identifiée par la couleur bleue et la question 4 par la couleur orange. Les choix b et c, respectivement pour les questions 3 et 4, représentent les bonnes réponses. Pour la question 3, 61 % des élèves estiment qu'une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63,5 atomes de cuivre ; une conception qui a beaucoup persistée. Concernant les 9 % des apprenants, une mole de carbone 12 contient $7,22 \times 10^{24}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $3,82 \times 10^{25}$ atomes de cuivre et pour les autres 9 % des apprenants,

Une mole de carbone 12 contient $6,022 \times 10^{24}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $6,022 \times 10^{24}$ atomes de cuivre. Quant à la quatrième question, 61 % des élèves réalisent que la pesée d'une mole de carbone 12 contient le plus grand nombre d'atomes contrairement à 9 % des élèves qui pensent plutôt que c'est la pesée d'une mole de cuivre qui contient le plus grand nombre d'atomes. Nous avons également 9 % des apprenants qui déclarent qu'ils manquent les informations pour répondre à la question. Ces fréquences montrent l'ampleur des difficultés conceptuelles rencontrées par les apprenants. A partir du moment où la constante d'Avogadro est mal assimilée par les apprenants, il est évident que le concept de mole sera perçu comme un concept perturbateur.

2.2. Analyse de quelques justifications des apprenants liés à la quantité de matière et la masse au pré-test.

Il est question d'analyser les productions des apprenants concernant la relation qui lie les nombres de particules et leur masse. Pour ce faire, nous avons mobilisé quatre questions Q1, Q2, Q3 et Q4. Parmi les quatre, une question est constituée des objets macroscopiques et trois questions constituées des objets microscopiques. Nous savons tous que cette dualité constitue l'une des sources de difficultés en chimie. Les tableaux 21, 22, 23 et 24 résument les justifications des élèves.

2.2.1. Analyse des productions des apprenants à la question Q5 au pré-test

Cette question est formulée ainsi :

Question 5 : On dispose de deux paniers. A et B. Le panier A contient 4 kg de citron, le panier B contient 5 kg d'orange.

Dans quel panier y a-t-il le plus grand nombre de fruits ?

- a- Le panier A ;
- b- Le panier B ;
- c- Il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Justification :

La réponse juste est a) Le panier A.

La bonne justification :

Justification : Le citron étant plus léger contient plus de fruits que l'orange de même masse.

Le but de cette question était de faire une analogie avec les entités microscopiques.

Tableau 29

Réponses et justifications des élèves à la question Q5 au pré-test

Premier palier	Deuxième palier : Justifications	Analyse didactique	Origine
a*	<ul style="list-style-type: none"> – Le citron est acide et l'orange est sucrée ; – Le PH du citron est inférieur au PH d'orange ; – La masse du citron est en Kg. 		Manque de connaissances
b	<ul style="list-style-type: none"> – On a 5 Kg d'oranges et 4 Kg de citrons donc $4 < 5$; – Si on considère 1Kg d'orange et 1 Kg de citron, le panier qui aura plus de fruits sera le panier d'orange ; – L'orange le dépasse d'un Kg alors c'est une évidence. 	Confusion entre quantité de matière et la masse	Conception erronée
c	<ul style="list-style-type: none"> – L'orange est plus grosse que le citron ; par conséquent, on ne peut pas distinguer ; – Il y aura compensation ; – On peut avoir 20 citrons qui donnent 4 Kg et 20 oranges qui donnent 5 Kg. 		
d	<ul style="list-style-type: none"> – Nous n'avons pas d'accès aux données ; – On a le poids d'un fruit et non le nombre ; – On ne connaît pas la masse du mélange ; – On ne connaît pas le nombre de 		Manque de connaissances

	fruits par panier.		
--	--------------------	--	--

Les objets macroscopiques constituent tout ce qui est percevable à l'échelle mondiale et pouvant être mesurable (masse, volume...) et la taille varie en fonction de l'objet. C'est dans ce but que nous avons choisi comme objets macroscopiques le citron et l'orange dont les tailles diffèrent. Les deux fruits sont dans deux paniers distincts contenant exactement 4 Kg pour l'orange et 3 Kg pour le citron. Les élèves doivent choisir le panier qui contient le plus de fruit. Il faut réaliser que « le macroscopique est observable, tangible et résulte de ce qui se passe au niveau microscopique inaccessible qui est modélisable, alors que la réalité macroscopique ne semble pas l'être » (Kermen, 2018, p. 2). (Berg, 2015 cité par Kermen, 2018) a affirmé que les questions adaptées sous la forme macroscopique sont plus comprises par les élèves que celles sous la forme microscopique. Bien que 73 élèves pour un taux de 16 % ont fait le bon choix au premier palier, l'analyse des productions montre qu'ils présentent un manque de connaissances.

Figure 50

Exemple d'un mode de raisonnement lié à un manque de connaissances qui conduit à la bonne réponse(a) pour la question Q5 du pré-test

Question 5 : On dispose de ^{deux} ~~trois~~ paniers. A et B. Le panier A contient 4kg de citron, le panier B contient 5kg d'orange.

Dans quel panier y a-t-il le plus grand nombre de fruits ?

a- Le panier A

b- Le panier B

c- Il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers

d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : parce que le pH du citron est inférieur au pH d'orange

Pour ces élèves, la comparaison des PH est suffisante pour connaître le nombre de fruits par panier ou encore le caractère acide d'un objet est une propriété caractéristique qui conditionne la détermination de la quantité de cet objet.

Une autre catégorie des apprenants pense qu'on a 5 Kg d'oranges qui sont supérieurs à 4 Kg de citrons donc plus d'oranges que de citrons. Nous notons dans ce mode de raisonnement une confusion conceptuelle entre la quantité de matière et la masse.

Figure 51

Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (b) pour la question Q5 du pré-test

Question 5 : On dispose de ^{deux} trois paniers. A et B . Le panier A contient 4kg de citron, le panier B contient 5kg d'orange.

Dans quel panier y a-t-il le plus grand nombre de fruits ?

a- Le panier A
 b- Le panier B
 c- Il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers
 d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : parce que 4kg est plus petit que 5kg et bien 5kg est plus grand que 4kg

Ces modes de raisonnement montrent que plusieurs apprenants utilisent des idées intuitives face à un problème qui implique la mobilisation de la mole. Nous avons identifié cette conception alternative (confusion entre la quantité de matière et la masse) chez 15 % des élèves. Un autre raisonnement lié à la même conception alternative que nous avons révélé et qui conduit plutôt à un mauvais choix (c) au premier palier est basé sur le fait que l'orange est plus gros que le citron par conséquent, on ne peut pas les distinguer. Par contre, pour justifier le fait qu'il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers, d'autres prennent comme exemple : 20 citrons pèsent 4 kg et 20 oranges pèsent également 5 kg.

Figure 52

Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (c) pour la question Q5 du pré-test

Question 5 : On dispose de ~~trois~~ ^{deux} paniers. A et B. Le panier A contient 4kg de citron, le panier B contient 5kg d'orange.

Dans quel panier y a-t-il le plus grand nombre de fruits ?

a- Le panier A
b- Le panier B
c- Il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers
d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : *parce que il peut y avoir 20 citron mais 4kg et 20 orange mais 5kg.*

Pour ce mauvais choix, nous avons enregistré 53 % des apprenants ayant produit cette conception alternative. Le taux du succès au premier palier est de 16 %.

2.2.2. Analyse des productions des apprenants à la question Q6 au pré-test

La question se présente ainsi :

Question 6 : On dispose de deux coupelles. A, B. La coupelle A contient 1g d'aluminium, La coupelle B contient 1g d'or.

Dans quelle coupelle y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

- a- La coupelle A ;
b- La coupelle B ;
c- Il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles ;
d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Justification :

Cette question a la même forme que la question précédente. La différence est observée sur la nature des objets. Ici nous avons les entités microscopiques.

Réponse juste : d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Bonne justification :

Justification : Les entités étant microscopiques, nous n'avons aucune information sur la masse d'un atome d'aluminium et la masse d'un atome d'or.

Tableau 30

Réponses et justifications des élèves à la question Q6 au pré-test

Premier palier	Deuxième palier Justification	Analyse didactique	Origine
a	<ul style="list-style-type: none"> – $1 : 27 = 0,037$ $1 : 107 = 9,34 \times 10^{-3}$ alors $0,37 < 9,34 \times 10^{-3}$ 	La quantité de matière = au nombre d'atomes	Conception erronée
b	<ul style="list-style-type: none"> – On fabrique l'aluminium avec la tôle il a beaucoup d'atomes ; – L'or naturellement pèse plus que l'aluminium ; – L'or brille plus ; – L'or n'est pas un ion et l'aluminium est un ion qui perd les électrons ; – L'or est plus cher et a plus de valeur ; 		Manque de connaissances
	<ul style="list-style-type: none"> – La masse atomique de l'or est plus élevée que celle de l'aluminium ; – Dans le TCP la masse de l'or est plus élevée que celle du carbone qui est la référence ; – La masse molaire contient 107 atomes. 	La masse molaire = au nombre d'atomes	Conception erronée
c	<ul style="list-style-type: none"> – Ils ont les mêmes masses ; – Ils ont les mêmes nombres d'atomes car $1 \text{ g} = 6,022 \times 10^{23}$ atomes ; – Il y'a autant d'atomes que dans 12 g de carbone 12 car chacun a 1 g ; 	La quantité de matière et la masse	Conception erronée

	<ul style="list-style-type: none"> – Les réactifs sont égaux aux produits ; – Les deux coupelles ont les mêmes charges positives que négatives ; – Ils sont sur la même ligne. 		Manque de connaissances
d*	<ul style="list-style-type: none"> – On n'a pas donné le nombre d'atome d'or et d'Al ; – On ne connaît pas la quantité à mesurer ; – On ne peut pas seulement mesurer 1 Kg. 		

Nous avons utilisé comme entités chimiques l'aluminium et l'or qui sont les particules microscopiques invisible à l'œil nu, par conséquent, elles sont matérialisées par des modèles chimiques étant donné que la chimie met au-devant le lien entre ces deux dualités. Le monde microscopique est utilisé pour clarifier le domaine macroscopique. Rappelons aussi que dans le registre microscopique, la matière est constituée des particules extrêmement petites qui interagissent entre elles. La quantité de matière est donc utilisée pour le passage d'un registre à l'autre. Nous avons deux coupelles contenant chacune 1Kg d'aluminium et 1 Kg d'or. Toutes les données ne sont pas réunies pour répondre à la question. Il faut connaître la masse de chaque entité. Nous avons identifié plusieurs conceptions alternatives. Le fait que les deux entités aient les mêmes masses fait croire à certains élèves que les deux coupelles possèdent les mêmes nombres d'atomes. Une conception qui entrave la compréhension du concept de mole. La justification de l'élève ci-dessous est un exemple parmi tant d'autres. Au premier palier, il y'a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles, certainement parce qu'elles ont chacune 1 g. A ce niveau, les apprenants qui raisonnent ainsi présentent les difficultés liées à la confusion entre la masse et la quantité de matière.

Figure 53

Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (c) pour la question Q6 du pré-test

Question 6 - On dispose de trois coupelles. A, B. La coupelle A contient 1g d'aluminium, La coupelle B contient 1g d'or

Dans quelle coupelle y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

a- la coupelle A

b- la coupelle B

c- Il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles

d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : Par le que les deux coupelles distinsse la même masse et autant d'aluminium

Les apprenants ne réalisent pas que le nombre d'atomes dans une mole dépend de la taille de l'atome. Il s'agit d'une conception présente chez plusieurs apprenants soit 66 %. Un autre type de raisonnement lié à un manque de connaissances que nous avons identifié qui conduit à une mauvaise réponse (b) au premier palier chez d'autres, « l'or pèse plus que l'aluminium et pour cela, l'or contient plus d'atomes ».

Figure 54

Exemple de raisonnement lié à un manque de connaissance qui conduit à un mauvais choix (b) pour la question Q6 du pré-test

Question 6 - On dispose de ~~trois~~ coupelles. A, B. La coupelle A contient 1g d'aluminium, La coupelle B contient 1g d'or

Dans quelle coupelle y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

a- la coupelle A

b- la coupelle B

c- Il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles

d- Il manque des informations pour répondre à la question

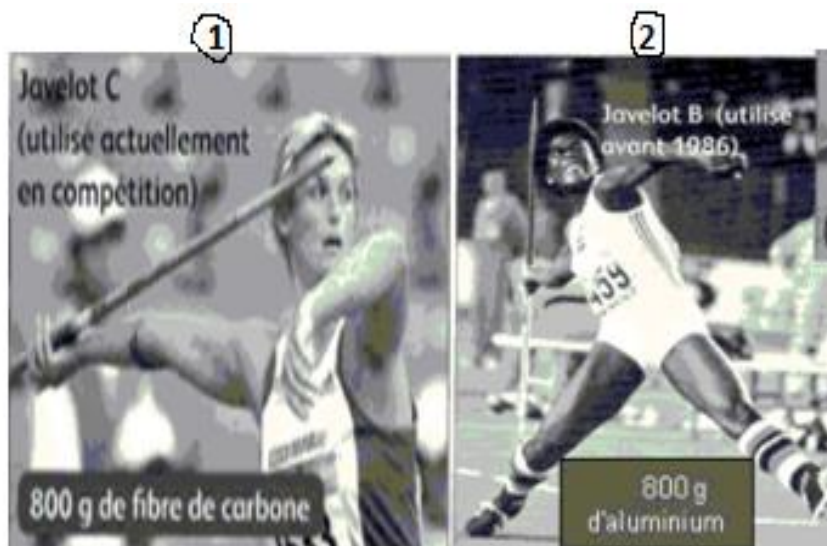
Justification : L'or pèse plus que l'aluminium donc il contient plus d'atomes

Le tableau 22 nous montre également que les 43 élèves ayant fait le bon choix au premier palier présentent un manque de connaissances pour justifier leur choix au premier palier. Le taux de succès au premier palier est de 11%.

2.2.3. Analyse des productions des apprenants à la question Q7 au pré-test

La formulation de cette question est :

Question 7 : Les images 1 et 2 ci-dessous représentent des athlètes ayant deux javelots constitués respectivement des atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. Sachant que les masses en kg d'un atome de carbone et d'aluminium sont : un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg et un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg.



Dans quel javelot trouve-t-on le plus grand nombre d'atome ?

- a- Javelot B ;
- b- Javelot C ;
- c- Javelot B et C ont le même nombre d'atomes ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Justification :

Bonne réponse : b- Javelot C.

Bonne justification :

Justification : Les entités sont microscopiques ; la masse d'un atome de carbone est égale à $1,993 \times 10^{-26}$ kg inférieure à la masse d'un atome d'aluminium qui est $4,51 \times 10^{-26}$ kg.

Quant à la septième question, elle présente également les entités microscopiques. Il s'agit de deux javelots constitués d'atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses, 800 g chacun. Cette fois-ci, toutes les données sont présentées pour répondre à la question. La masse d'un atome de carbone est inférieure à celle de l'aluminium et par conséquent, il y'a plus d'atomes dans le javelot constitué de carbones. C'est dans cette logique que les apprenants doivent faire le choix au premier palier.

Pour rappel, il s'agissait de montrer que les objets que nous utilisons dans la vie quotidienne sont constitués des atomes et que ces objets (entités microscopiques) ayant les mêmes masses ne contiennent absolument pas le même nombre d'entités. Le corps ou la substance qui a le grand nombre d'entités est celui ayant des entités plus légères. Le tableau suivant présente les productions des apprenants au deuxième palier.

Tableau 31

Réponse et justifications des élèves à la question Q7 au pré-test

Premier palier	Deuxième palier Justification	Analyse didactique	Origine
a	<ul style="list-style-type: none"> – Les calculs le prouvent ; – L'Al est un métal plus lourd que le carbone ; – L'individu B prend plus de réflexion que l'autre ; – Il a été utilisé avant l'autre en 1986 ; 		Manque de connaissances
	<ul style="list-style-type: none"> – Son numéro atomique est inférieur à celui du carbone donc $4,51 > 1,99$. 	La masse = au numéro atomique	Conception erronée
b*	<ul style="list-style-type: none"> – Le javelot C est utilisé par un autre qui pèse plus que l'autre ; – Ce sont les anciens javelots ; 		Manque de connaissances
	Les quantités de matière donnent $1,005526 \times 10^{31}$ et $9,99906 \times 10^{-4}$	La quantité de matière = aux nombres d'atomes	Conception erronée
c	<ul style="list-style-type: none"> – C'est le javelot qu'on utilise 		Manque de

	maintenant en compétition		connaissances
	Ils ont les mêmes masses	Confusion quantité de matière et masse	Conception erronée
d	Il manque les masses molaires		Manque de connaissances

Plusieurs apprenants ont considéré la masse de chaque entité comme son numéro atomique et d'autres comme son nombre d'atomes. Alors, comme le numéro atomique du carbone est inférieur au numéro atomique de l'aluminium, on a plus d'atomes de carbone que d'atomes d'aluminium.

Figure 55

Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (a) pour la question Q7 du pré-test

Question 7: les images 1 et 2 ci-dessous représentent les athlètes ayant deux javelots constitués respectivement des atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. Sachant que les masses en kg d'un atome de carbone et d'aluminium sont : Un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg et un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg

Dans quel javelot trouve-t-on le plus grand nombre d'atome.

a-Javelot B
b-Javelot C
c-Javelot B et C ont le même nombre d'atome
d-Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : *Le numero atomique du Carbone est plus élevé que celui de l'aluminium*


Pourtant, la masse exprimée en Kg n'est ni le numéro atomique ni le nombre d'atomes, c'est une conception erronée. On ne saurait confondre la masse des atomes avec le nombre d'atomes ou le numéro atomique. Certains ont plutôt exploité ces masses pour calculer la quantité de matière afin de tirer la conclusion selon laquelle $n_C > n_{Al}$. Alors que

parmi les données de l'exercice, ne figure aucune masse molaire atomique. Selon eux, la quantité de matière est égale au nombre d'atomes.

Figure 56

Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un bon choix (b) pour la question Q7 du pré-test

Question 7: les images 1 et 2 ci-dessous représentent les athlètes ayant deux javelots constitués respectivement des atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. Sachant que les masses en kg d'un atome de carbone et d'aluminium sont : Un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg et un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg



Dans quel javelot trouve-t-on le plus grand nombre d'atome.

a-Javelot B
b-Javelot C
c-Javelot B et C ont le même nombre d'atome
d-Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : *Ces quantités de matière donnent*

$$n_C = \frac{4,51 \cdot 10^{-26}}{12} = 1,005526 \cdot 10^{31} \quad n_{Al} = \frac{1,993 \cdot 10^{-26}}{27} = 9,9906 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n_C > n_{Al}$$


Ces élèves ont pourtant fait le bon choix au premier palier. Le tableau 16 montre le taux de succès a **15 %** pour un effectif de 65 élèves. Pour certains, ils se figent sur la forme et l'ancienneté du javelot. « Il a été utilisé avant l'autre en 1986 ». Pour d'autres, ils manquent des informations pour répondre à la question. Ils estiment qu'il y a manque de masses molaires. Nous les avons classés dans la catégorie de manque de connaissances.

Notons que ce type de raisonnement basé sur la confusion conceptuelle entre la quantité de matière et la masse est récurrente chez plusieurs apprenants. Puisque les deux javelots ont chacun une masse de 800 g, forcément ils ont le même nombre d'atomes.

Figure 57

Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (c) pour la question Q7 du pré-test

Question 7: les images 1 et 2 ci-dessous représentent les athlètes ayant deux javelots constitués respectivement des atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. Sachant que les masses en kg d'un atome de carbone et d'aluminium sont : Un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg et un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg



Dans quel javelot trouve-t-on le plus grand nombre d'atome.

a- Javelot B
b- Javelot C
 c- Javelot B et C ont le même nombre d'atome
d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : *parce qu'ils ont les mêmes masses 800g = 800g*

2.2.4. Analyse des productions des apprenants à la question Q8 au pré-test

Question 8 : Un élève affirme qu'un morceau d'aluminium pur (Al) de masse 10,8 g et un morceau d'or pur (Au) de masse 78,8 g contiennent le même nombre d'atomes. Les masses molaires atomiques de l'aluminium et de l'or sont : $M_{Al} = 27 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_{Au} = 197 \text{ g.mol}^{-1}$. Selon vous : **dans quel morceau trouve-t-on le plus grand nombre d'atomes ?**

- a- Les deux ont le même nombre d'atomes ;
- b- Le nombre d'atomes d'or (Au) est plus grand que le nombre d'atomes d'aluminium(Al) ;
- c- Le nombre d'atomes d'aluminium(Al) est plus grand que le nombre d'atomes d'or (Au) ;
- d- Je ne sais pas.

Justification

La bonne réponse est le choix a) Les deux ont le même nombre d'atome

Bonne justification :

Justification : Soient n la quantité de matière, N le nombre d'entités élémentaires, N_A la constante d'Avogadro et M la masse molaire atomique. La relation qui les lie est $N = (m \times N_A) / M$.

Application : $N_{Al} = (10,8 \times 6,022 \cdot 10^{23}) / 27 = 2,408 \cdot 10^{23}$ atomes d'aluminium

$N_{Au} = (10,8 \times 6,022 \cdot 10^{23}) / 197 = 2,408 \cdot 10^{23}$ atomes d'or

Conclusion : $N_{Al} = N_{Au}$

La question 8 présente le cas de deux entités toujours microscopiques avec des masses différentes. Il s'agit d'un morceau d'aluminium et d'un morceau d'or. Il faut vérifier par calcul le nombre d'atomes contenus dans un morceau avant de faire le choix au premier palier.

L'objectif initial attendu était de mettre en application la relation entre la quantité de matière et la constante d'Avogadro pour montrer que deux corps de masses différentes peuvent posséder le même nombre d'entités élémentaires.

Si n représente la quantité de matière, N le nombre d'entités élémentaires, N_A la constante d'Avogadro et M la masse molaire atomique, nous nous attendions à ce que les apprenants appliquent la relation suivante au niveau de la justification : $N = (m \times N_A) / M$.

Le tableau suivant présente les productions des élèves.

Tableau 32

Réponses et justifications des élèves à la question Q8 au pré-test

Premier palier	Deuxième palier justification	Analyse didactique	Origine
a*	<ul style="list-style-type: none"> - C'est la loi de la nature ; - Dans le tableau de classification périodique, 		Manque de Connaissances

	ils sont situés dans la même colonne ; – Lavoisier stipule que rien ne se perd, tout se transforme ;		
b	– La masse molaire d'or est plus grande que la masse d'Aluminium ;	Plus la masse molaire est grande, plus le nombre d'atomes est important	Conception erronée
	– La masse d'or est plus grande que celle d'Al.	Plus la masse est grande, plus le nombre d'atomes est important	
c	Sa masse est supérieure ;		
	-L'Al est plus important que l'or -L'Al est une matière première.		Manque de connaissances

Les apprenants ont fait le choix au premier palier sans toutefois effectuer les calculs. Ce type d'item nécessite uniquement ces calculs pour déterminer le nombre d'atomes par morceau, la masse de chaque morceau est connue ainsi que la masse molaire atomique de chaque élément. Les élèves sont censés connaître la relation entre le nombre d'entités, la masse et la masse molaire. Mais beaucoup d'apprenants se sont basés sur la masse d'aluminium qui est supérieure à la masse d'or pour conclure que l'aluminium contient plus d'atomes.

Figure 58

Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un mauvais choix (b) pour la question Q8 du pré-test

Question 8 : Un élève affirme qu'un morceau d'aluminium pur (Al) de masse 10,8 g et un morceau d'or pur (Au) de masse 78,8 g contiennent le même nombre d'atomes. Les masses molaires atomiques de l'aluminium et de l'Or sont : $M_{Al} = 27 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_{Au} = \overset{197}{197} \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Selon vous : **Dans quel morceau trouve-t-on le plus grand nombre d'atome?**

a- Les deux ont le même nombre d'atome
 b- Le nombre d'atome d'Or(Au) est plus grand que le nombre d'atome d'aluminium(Al)
 c- Le nombre d'atome d'aluminium(Al) est plus grand que le nombre d'atome d'Or(Au)
 d- Je ne sais pas

Justification parce que l'or pèse 78,8g et l'aluminium pèse 10,8g

Inversement, plusieurs se sont aussi focalisés sur la masse molaire atomique d'or 197 g/mol qui est supérieure à celle d'aluminium 27 g/mol pour dire que l'or contient plus d'atomes. Les apprenants qui développent ce type de raisonnement font une confusion conceptuelle déjà identifiée plus haut, c'est-à-dire la confusion entre la masse molaire atomique et la quantité de matière.

Les élèves qui ont porté leur choix sur la bonne réponse à savoir les deux entités ont le même nombre d'atomes, soit 27 élèves pour un taux de réussite de **6 %** présentent un manque de connaissances : « c'est la loi de la nature » pour certains. Pour d'autres, « ils sont situés dans la même colonne dans le tableau de classification périodique ».

Figure 59

Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives qui conduit à un bon choix (a) à la question Q8 du pré-test

Question 8 : Un élève affirme qu'un morceau d'aluminium pur (Al) de masse 10,8 g et un morceau d'or pur (Au) de masse 78,8 g contiennent le même nombre d'atomes. Les masses molaires atomiques de l'aluminium et de l'Or sont : $M_{Al} = 27 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_{Au} = 197 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Selon vous : **Dans quel morceau trouve-t-on le plus grand nombre d'atome?**

a- Les deux ont le même nombre d'atome

b- Le nombre d'atome d'Or(Au) est plus grand que le nombre d'atome d'aluminium(Al)

c- Le nombre d'atome d'aluminium(Al) est plus grand que le nombre d'atome d'Or(Au)

d- Je ne sais pas

Justification *C'est plus simple, dans le tableau de classification des éléments ils sont situés dans la même colonne*

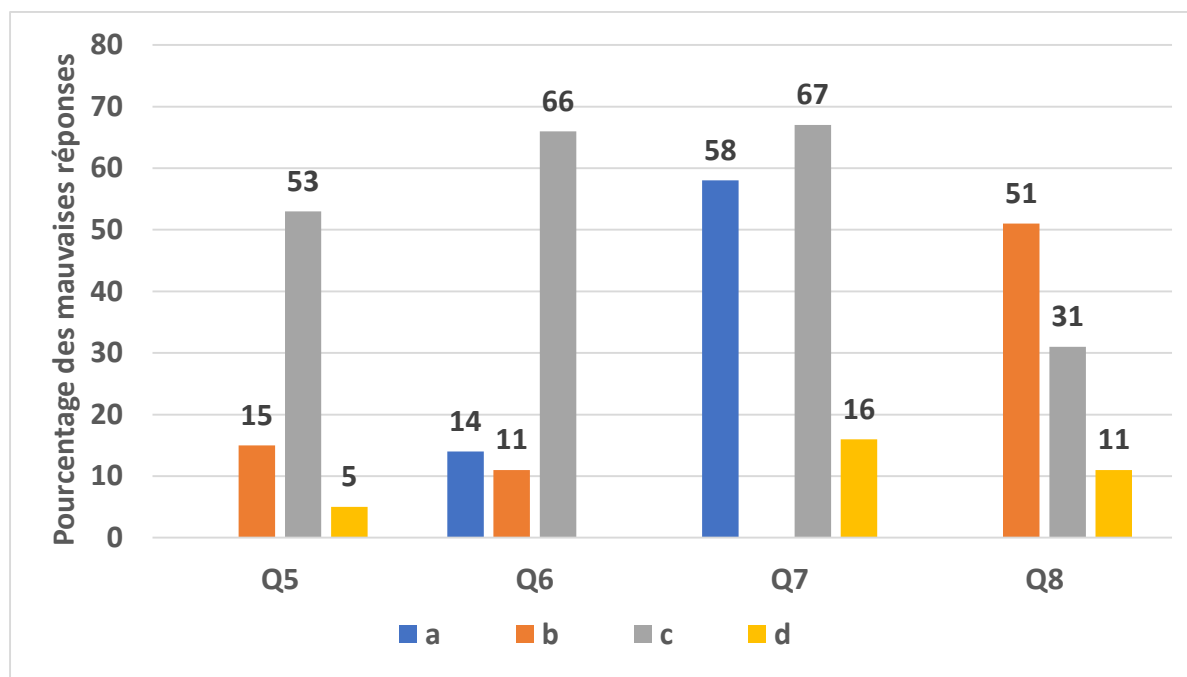
Le tableau de classification périodique nous renseigne sur la masse molaire atomique de chaque élément et non sur le nombre d'atomes. Le taux du succès moyen pour ce thème est de **12 %**.

Nous réalisons que le fait de faire un bon choix au premier palier ne signifie pas qu'il y a eu un changement conceptuel. En dehors du taux de succès, nous nous sommes aussi intéressés aux taux d'échec pour mieux cerner l'ampleur des difficultés des apprenants lorsqu'ils conceptualisent les notions de masse et de quantité de matière.

Le diagramme suivant regroupe le pourcentage du taux d'échec pour l'ensemble des 4 items.

Figure 60

Diagramme du taux d'échec sur la quantité de matière et la masse au pré-test



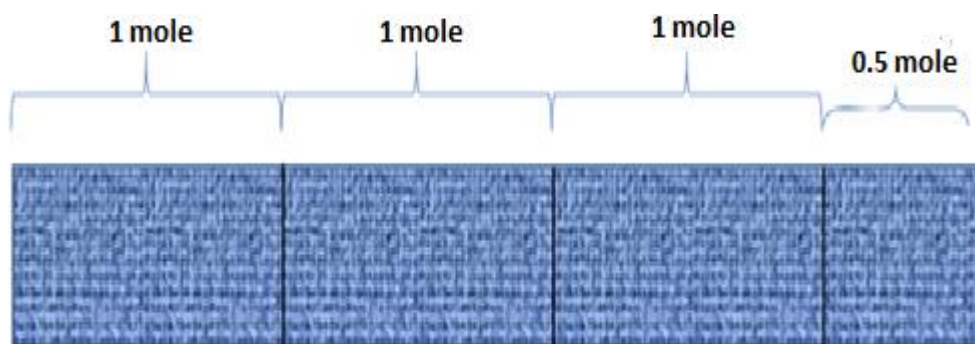
Ces quatre items visaient à étudier les difficultés que des élèves éprouvent sur la quantité de matière et la masse. Le taux d'échec enregistré par item au premier palier montre que les élèves n'ont pas assez de ressources pertinentes quand il faut distinguer la quantité de matière de la masse. Comme nous l'avons signifié plus haut, les choix a, d, b et a, respectivement pour les questions 5, 6, 7 et 8, représentent les bonnes réponses au premier palier. À la cinquième question, 15 % des élèves reconnaissent que le panier B contient le plus grand nombre de fruits et 53 % des apprenants réalisent qu'il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers. Par contre 5 % des élèves trouvent qu'il y a manque d'informations pour répondre à la question. Pour le taux d'échec à la sixième question, 14 % pensent que dans la coupelle A, il y a le plus grand nombre d'atomes contrairement à 11 % des apprenants qui trouvent plutôt que c'est dans la coupelle B qu'il y a plus d'atomes. 66 % des élèves se sont focalisés sur la masse identique des entités (1 g d'aluminium et 1 g d'Or) pour penser qu'il y'a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles. La septième question sur le diagramme montre que 58 % des élèves ont choisi le javelot B où on trouve le plus grand nombre d'atomes. Pour 67 % des apprenants, comme chaque javelot a une masse de 800 g, ils estiment que les deux javelots ont le même nombre d'atomes et 16 % ont ignoré totalement la masse des deux atomes pour opter sur le choix d qui parle du manque des informations. Pour la huitième question, 51% des apprenants ont fait la comparaison des masses molaires

atomiques pour conclure que le nombre d'atomes d'or (Au) est plus grand que le nombre d'atomes d'aluminium (Al). C'est le contraire pour les 31 % qui pensent que le nombre d'atomes d'aluminium (Al) est plus grand que le nombre d'atomes d'or (Au).

Ces taux d'échec nous laissent croire que le mal est profond. A ce stade, le parcours pour l'accès à la connaissance scientifique est long et nécessite également un travail profond surtout quand nous savons que l'erreur témoigne de l'écart qui existe entre les conceptions erronées et le savoir scientifique.

2.2.5. Résultats de la question Q9 au pré-test (Halloun,2019).

Question 9 Le schéma ci-dessous illustre le découpage en mole d'une lame de fer à l'échelle microscopique.



Calculer le nombre d'atomes dans les différents découpages

- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 1 mol ?.....
- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 2 mol ?
- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 0,5 mol ?
- Quel est le nombre d'atomes de fer dans la lame ?.....

Réponse attendues :

Soient N le nombre d'entités (atome de fer), n la quantité de matière de l'atome de fer et N_A le nombre d'Avogadro qui est égal à $6,022 \cdot 10^{23}$ /mol.

- $N = n \times N_A$: Application $N = 1 \times 6,022 \cdot 10^{23} = 6,022 \cdot 10^{23}$ atomes ;
- $N = n \times N_A$: Application $N = 2 \times 6,022 \cdot 10^{23} = 12,044 \cdot 10^{24}$ atomes ;
- $N = n \times N_A$: Application $N = 0,5 \times 6,022 \cdot 10^{23} = 3,011 \cdot 10^{23}$ atomes ;
- $N = n \times N_A$: Application $N = 3,5 \times 6,022 \cdot 10^{23} = 2,1077 \cdot 10^{24}$ atomes.

Le tableau ci-dessous présente les performances des apprenants en fréquence des bonnes réponses.

Tableau 33

Pourcentage de bonnes réponses de la Q9 au pré-test

Item	Réponses	Nombre d'élèves	Fréquence(%)
Q9	A	78	18
	B	59	13
	C	43	9.97
	D	32	7.42
Moyenne			12

La question 9 a été adaptée pour un seul palier. Cette question est constituée d'une lame de fer découpée en segment. Chaque segment représente une mole. Nous avons au total quatre segments donc 3 d'une mole chacun et un segment de 0,5 mole. Il faut déterminer le nombre d'atomes dans un segment d'une mole, dans un autre segment de deux moles, puis de 0,5 mole et enfin dans la lame entière. Le pourcentage de bonnes réponses est respectivement **18 %** pour le nombre d'atomes contenus dans une mole, 13% pour le nombre d'atomes contenus dans deux moles, 9,97 % pour le nombre d'atomes contenus dans 0,5 mole et 7.42 % pour le nombre d'atomes de fer dans toute la lame de 3,5 moles. Ce faible taux est une évidence parce que les élèves ont non seulement de la peine à identifier le nombre d'entité dans un échantillon mais aussi à utiliser une formule mathématique et à faire une application numérique. Certains élèves effectuent une bonne application numérique même sans formule mais n'arrivent pas à trouver les bonnes réponses ; nous avons le cas de cet élève qui trouve les réponses identiques dans toutes les applications. Le taux moyen de gain conceptuel est de 12 %.

Figure 61

Exemple de raisonnement lié aux conceptions alternatives à la question Q9 du pré-test

Calculer le nombre d'atomes dans les différents découpages

a- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 1 mol? $1 \times 6,02 \times 10^{23} = 6,02^{23}$

b- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 2 mol? $2 \times 6,02 \times 10^{23} = 6,02^{23}$

c- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 0,5 mol? $0,5 \times 6,02 \times 10^{23} = 6,02^{23}$

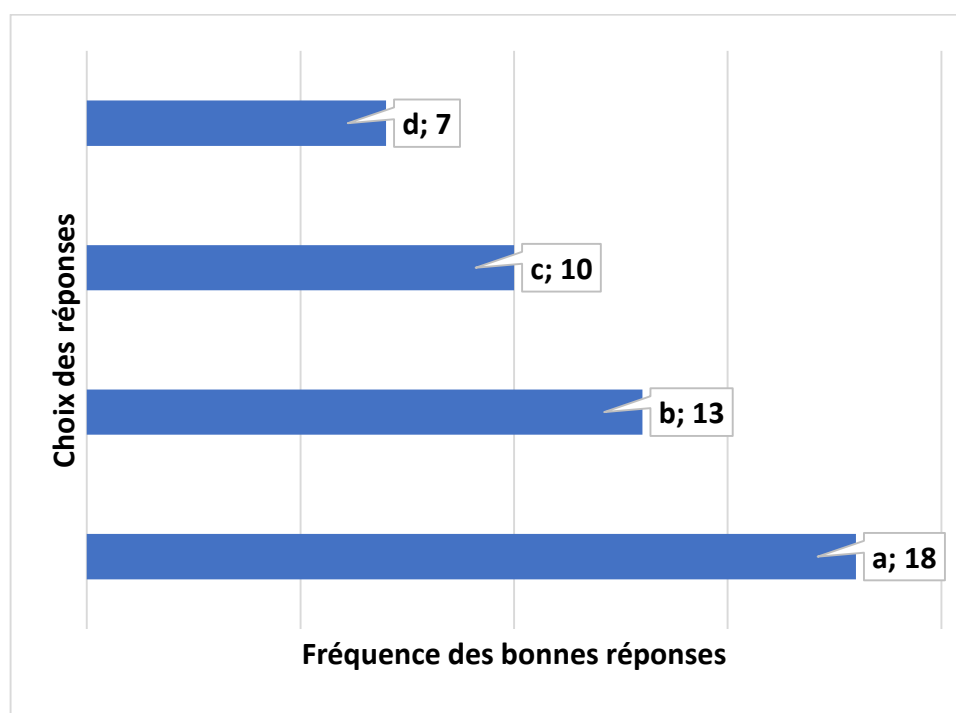
d- Quel est le nombre d'atomes de fer dans la lame? $4 \times 6,02 \times 10^{23} = 6,02^{23}$

Pour cet élève, quelle que soit la valeur de la quantité de matière multipliée par la constante d'Avogadro, il trouve les mêmes réponses, c'est-à-dire « $6,02 \times 10^{23}$ » sans toutefois préciser la particule (atome, molécule, ion). La lame est découpée en trois parties et dans le choix d, il faut calculer le nombre d'atomes de fer dans la lame entière. Selon cet élève, la lame est découpée en 4 moles au lieu de 3,5 moles.

Le diagramme suivant nous montre le pourcentage de bonnes réponses de cette question liée à la mobilisation des connaissances.

Figure 62

Diagramme du taux de succès à la question 9



D'après ce diagramme, nous avons constaté que, quand il faut calculer le nombre d'atomes avec une quantité de matière supérieure à 1, le degré de difficulté augmente et le pourcentage de bonnes réponses baisse soit 18 %, 13 %, 10 % et 7 % respectivement.

Il faut reconnaître qu'en science, les problèmes qui nécessitent généralement l'utilisation des calculs mathématiques causent beaucoup de difficultés aux apprenants, surtout les problèmes qui impliquent les puissances, les constantes chimiques. Pour pallier à ces difficultés, les apprenants doivent d'abord savoir ce que c'est que le nombre d'entités, ensuite s'entraîner à manipuler couramment les formules pour développer la confiance. Omwirihi (2015) a découvert que l'anxiété et la capacité de raisonnement proportionnel est un obstacle à la compréhension de la mole. « Le concept de mole ne peut pas être séparé

des mathématiques, une bonne connaissance des mathématiques est une compétence pour comprendre le concept de mole » (Aborah, 2019, p. 23).

2.3. Récapitulatif des résultats obtenus à la phase du pré-test.

Nous rappelons que la première phase de ce travail avait pour objectif d'identifier les difficultés qui influencent le raisonnement des apprenants des classes de 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général au Cameroun et leurs origines lorsqu'ils sont évalués sur le concept de mole. Les résultats obtenus montrent que la moyenne de bonnes réponses est de 13 % pour les questions à deux paliers et 12 % pour la question à un palier. Ces pourcentages prouvent que beaucoup d'élèves ont des difficultés avec les notions en lien avec la mole (masse molaire, constante d'Avogadro, masse et quantité de matière). Les apprenants sont dans l'incapacité de faire fonctionner la formule $N = n \times N_A$ quand il s'agit de déterminer le nombre d'entités élémentaires. Ils ont des difficultés à manipuler un nombre aussi élevé comme la constante d'Avogadro.

Comme signalé dans le paragraphe précédent, l'origine de ces difficultés est due à une mauvaise acquisition des concepts tels que la quantité de matière, la masse molaire la constante d'Avogadro, imbriqués autour de la mole. Ces difficultés sont dues aux conceptions alternatives telles que :

- La confusion conceptuelle entre la masse et la quantité de matière ;
- La confusion conceptuelle entre le numéro atomique et la masse molaire ;
- La confusion conceptuelle entre la constante d'Avogadro (N_A) et l'élément sodium (Na) ;
- La confusion conceptuelle entre la masse molaire atomique et la masse molaire moléculaire.

Les résultats obtenus montrent également que les difficultés auxquelles sont confrontés les apprenants pour conceptualiser le concept de mole sont dues à un manque de connaissances sur les trames conceptuelles de la mole. Ce manque de connaissances signifie tout simplement que les concepts présentés ont été partiellement assimilés ou pas du tout intégrés pendant la transposition par l'enseignant. De ce fait, lorsqu'une tâche à résoudre leur est présentée, où il faut mobiliser plusieurs concepts pour y parvenir, ils sont butés. D'après notre constat empirique fait sur le terrain, nous avons remarqué que les difficultés des apprenants pour conceptualiser la mole sont aussi dues à la manière par laquelle la transposition est faite par les enseignants. Comme exemple nous avons la pratique d'une enseignante sur le concept de mole qui se limite aux définitions et la relation entre la masse

et la quantité de matière. Précisons que cette relation est fondée uniquement sur la formule ($n=m/M$). Cette formule permet de calculer la quantité de matière d'un échantillon. Le drame est que cette formule même est souvent mal appliquée. Notons aussi que l'analyse des manuels scolaires sur le chapitre réservé à la problématique a également révélé que les difficultés des apprenants sont liées à une mauvaise structure du concept de mole dans ces manuels.

Sur la base de ces résultats obtenus, nous corroborons avec les écrits antérieurs que la mole est un concept difficile à appréhender par les apprenants. Certains chercheurs pensent plutôt que cela est dû à un manque de connaissances chez les enseignants au niveau du contexte socio-historique (Furio *et al.*, 2000). C'est une carence qui impacte négativement la pratique enseignante. Nous validons que la conception majeure identifiée est liée à cette carence comme la confusion de la quantité de matière à la masse. Cette confusion nous rappelle la définition de la mole selon Ostwald en 1900 qui définissait la mole en se référant sur sa signification en latin qui veut dire (grosse) et (masse). Pour Ostwald la mole est donc une masse. Avec l'évolution de la science, cette idée est décontextualisée. Nous faisons ensuite un lien direct de ces conceptions identifiées avec la méthode d'enseignement employée. « Dans un enseignement traditionnel, pour des raisons d'efficacité, de durée, les seuls échanges se font à l'initiative de l'enseignant qui guide les élèves dans l'observation et dans l'interprétation des expériences » (Laugier & Dumond, 2004, p.92). Ce mode de transposition ne donne pas le pouvoir à l'apprenant d'exposer ses conceptions alternatives ce qui entraîne un fossé entre les objectifs de l'enseignant et les difficultés que rencontrent les apprenants sur le sujet.

Il était crucial de vérifier si les difficultés des apprenants à comprendre le concept de mole sont dues au manque de connaissance ou à la présence des conceptions erronées. Les résultats présentés au pré-test l'ont approuvé. Ceci nous a amené à valider notre première hypothèse secondaire à savoir : les apprenants des classes de 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général au Cameroun rencontrent les difficultés d'ordre didactique, de manque de connaissance lorsqu'ils répondent aux questions sur le concept de mole.

Chaque enseignant doit maîtriser les difficultés auxquelles les élèves sont confrontés. Thouin a proposé quelques exemples de difficultés :

- *L'élève a mal compris la consigne d'un exercice ou d'un problème ;*
- *L'élève se base sur une conception alternative fréquente ;*

- *L'élève applique une démarche qui n'est pas appropriée dans le cas de la tâche précise qu'il doit effectuer ;*
- *L'élève est en état de surcharge cognitive ;*
- *L'élève éprouve des difficultés dans une discipline (exemple les mathématiques) qui se répercute dans une autre discipline (exemple les sciences) ;*
- *L'élève est confronté à une notion qui par sa nature même est complexe. (Touin, 2014, p.104)*

Pour mieux comprendre l'origine de ces conceptions, il a établi un lien entre ces difficultés et le triangle didactique :

- *L'apprenant éprouve de la difficulté avec une notion complexe parce que cette notion lui a été présentée de façon trop abstraite (relation enseignant-savoir). Dans le cadre de cette recherche nous pouvons prendre l'exemple du concept de mole ;*
- *L'élève ne connaît pas son rôle dans un travail de grande envergure parce que l'enseignant n'a pas précisé ce qu'il attend des élèves (relation enseignant-élève). L'approche utilisée par l'enseignant ne permet pas à l'apprenant de s'exprimer ou de mettre sur pied sa pensée afin de faire évoluer sa fausse croyance.*
- *L'élève se focalise sur une conception alternative puisqu'elle est très répandue dans la population en général et qu'il pense qu'elle est pertinente (relation élève-savoir). Pour cette recherche, nous pouvons appuyer cette pensée avec les conceptions comme la confusion entre masse molaire atomique et masse molaire moléculaire. (Thouin, 2014, p. 105)*

Nous Connaissons le concept de mole comme étant un concept polyvalent dans l'enseignement de la chimie, en raison de ses conséquences pour la résolution des problèmes tels que la concentration chimique et d'autres grandeurs chimiques. Ce concept fournit aussi de multiples informations sur la nature de la chimie. À cet effet, nous avons consacré du temps à l'enseignement et l'apprentissage en prenant en compte les conceptions erronées par le biais de la démarche d'investigation comme mode de transposition didactique. Cette stratégie offre une riche opportunité et facilite la visualisation du processus d'apprentissage. Grâce à cette approche, les nouvelles connaissances ont été intégrées. Il est indispensable de rappeler que certains élèves ont été enseignés avec la méthode de conférence traditionnelle et d'autre avec la DI. Les apprenants enseignés par le cours habituel ont constitué le groupe témoin et les autres constituent le groupe expérimental.

3. Taux de succès au premier palier du post-test

Les résultats sont consignés dans le tableau 17 ci-dessous. Il présente la fréquence de bonnes réponses des 8 items du premier palier dans le groupe témoin et dans le groupe expérimental. Dans chaque groupe, nous avons un effectif de 99 élèves. Rappelons que tous les 99 apprenants ont pris part à l'évaluation de part et d'autre du groupe témoin et expérimental. Les apprenants qui ont pris part à l'évaluation du post-test dans le groupe témoin sont ceux ayant suivi une séquence de cours classique de leur professeur titulaire. Par contre les élèves ayant pris part à l'évaluation du post-test dans le groupe expérimental sont ceux qui ont suivi une séquence de cours expérimental du chercheur, c'est-à-dire une séquence basée sur l'utilisation de la démarche d'investigation comme mode de transposition didactique. Nous avons administré le même questionnaire dans les deux groupes avec les mêmes objectifs pour mesurer l'impact de cette nouvelle approche dans le groupe expérimental. Le tableau suivant présente la synthèse des résultats obtenus au premier palier dans le groupe témoin et dans le groupe expérimental. Rappelons que ces résultats seront pris en compte à partir de l'analyse didactique de leur production au deuxième palier.

Tableau 34

Taux de succès des élèves au premier palier du groupe témoin et groupe expérimental au post-test

Effectif total	Items	Groupe témoin		Groupe expérimental	
		Effectif	Fréquence (%)	Effectif	Fréquence (%)
99	Q1	42	42	86	86
	Q2	40	40	91	91
	Q3	44	44	94	94
	Q4	35	35	87	87
	Q5	38	38	80	80
	Q6	45	45	81	81
	Q7	30	30	77	77
	Q8	32	32	56	60
	Moyenne			38,87	

Les résultats montrent qu'il y'a une différence significative entre les scores du groupe témoin et ceux du groupe expérimental au premier palier. Le taux de succès moyen dans le

groupe témoin est de **38,87 %** contre **81,5 %** dans le groupe expérimental. La compréhension du concept de mole reste superficielle dans le groupe témoin malgré une légère hausse par rapport aux résultats obtenus au pré-test. Comme nous l'avons signalé plus haut, on ne peut pas se limiter aux scores du premier palier pour conclure qu'il y a eu changement conceptuelle. Dans la technique d'analyse élaborée, une connaissance est considérée comme acquise si et seulement si l'apprenant fait le bon choix au premier palier accompagné d'une bonne justification au deuxième palier. Nous allons analyser les justifications produites par les apprenants au deuxième palier et la nature de ces productions couplées avec les résultats obtenus au premier palier nous permettra de confirmer ou d'infirmer notre deuxième hypothèse secondaire. Les justifications qui nous intéressent le plus sont celles des élèves ayant fait le bon choix au premier palier. Au regard des résultats du premier palier dans les deux groupes, nous affirmons que « les caractéristiques du contrat didactique sont particulièrement importantes sur l'évaluation des apprentissages dont plusieurs aspects sont implicites et mal compris par certains élèves » (Thouin, 2014, p. 163).

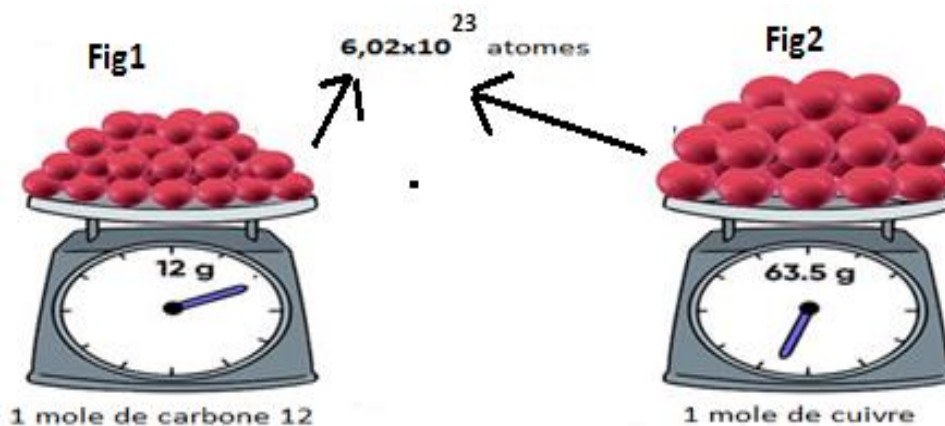
3.1. Analyse des justifications des élèves au deuxième palier du post-test

Cette analyse sera faite par thème. Chaque thème regroupe plusieurs questions. Les productions sont regroupées par thème et consignées dans un tableau pour le groupe témoin et le groupe expérimental. Notons que les choix du premier palier sont combinés avec quelques productions récurrentes au deuxième palier.

3.1.1. Analyse des productions des élèves sur la masse molaire moléculaire au post-test

Il est important de tester le niveau de compréhension des apprenants au sujet de la masse molaire atomique qui conditionne la compréhension de la mole après ces interventions. Les justifications liées à l'acquisition de la masse molaire atomique sont illustrées par deux questions regroupées dans le tableau 31. Il s'agit des résultats des questions Q1 et Q2. Ces deux questions sont présentées ainsi :

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12(**Fig.1**) et la pesée d'une mole de cuivre (**Fig.2**).



Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1 ?

- a- La masse d'une mole de molécule de carbone 12 ;
- b- Le nombre d'atome de carbone 12 ;
- c- La masse d'une mole d'atome de carbone 12 ;
- d- Je ne sais pas.

Justification :

Question 2 : D'après les schémas de la question 1, que représente la mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la Fig2 ?

- a- La masse d'une mole de molécule de cuivre ;
- b- Le nombre d'atome de cuivre ;
- c- La masse d'une mole d'atome de cuivre ;
- d- Je ne sais pas.

Justification :

Le tableau suivant matérialise donc les justifications des apprenants dans le groupe témoin. Rappelons qu'un bon choix au premier palier et une mauvaise justification au deuxième palier sont considérés comme le fruit du hasard et par conséquent, la connaissance n'est pas construite.

Tableau 35

Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la connaissance de la masse molaire atomique : groupe témoin

Premier palier		Deuxième palier		
Items+choix des Réponses	Effectifs	Justifications	Analyse didactique	Conclusion
Q1a	20	– Le nombre d’atomes est constitué d’un échantillon de 12 carbone		Connaissance non construite
Q1b	37	La balance indique 12 qui représente le nombre d’atome	La masse molaire =au nombre d’atomes	
Q1C*	42	La masse molaire atomique du carbone est égale à 12		Connaissance construite
Q2a	25	La molécule de cuivre a une masse de 63,5 g/mol	Confusion atome et molécule	Connaissance non construite
Q2b	24	La balance indique 63,5 g/mol qui représente les atomes de cuivre	confusion nombre d’atomes et masse molaire	
Q2C*	40	Dans le TCPE, la masse molaire atomique du cuivre est égale à 63,5 g/mol		Connaissance construite
Q2C*	10	La masse molaire est égale au nombre d’Avogadro	Confusion masse molaire et constante d’Avogadro	Connaissance non construite

Nous avons enregistré respectivement la fréquence de bonnes réponses qui est de 42 % pour un effectif de 42 apprenants à la première question et de 40% pour un effectif de 40 élèves à la deuxième question au premier palier. Au deuxième palier, les justifications produites par ces apprenants sont correctes à savoir les masses molaires des atomes de carbone et de cuivre sont respectivement 12 g/mol et 63,5 g/mol ; ainsi, la connaissance est construite. Certains apprenants qui, ayant fait un bon choix au premier palier ont produit des mauvaises justifications (10 %).

Figure 63

Exemple de raisonnement basé sur une connaissance manifeste au choix de la bonne réponse(c) à la question Q1 du post-test.

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).

Fig1
12 g
1 mole de carbone 12

Fig2
63.5 g
1 mole de cuivre

6,02x10²³ atomes

Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1.

a-La masse d'une mole de molécule de carbone 12
 b-Le nombre d'atome de carbone 12
 c-La masse d'une mole d'atome de carbone 12
 d-Je ne sais pas

Justification : *parce que 12g représente la masse d'une mole d'atome*

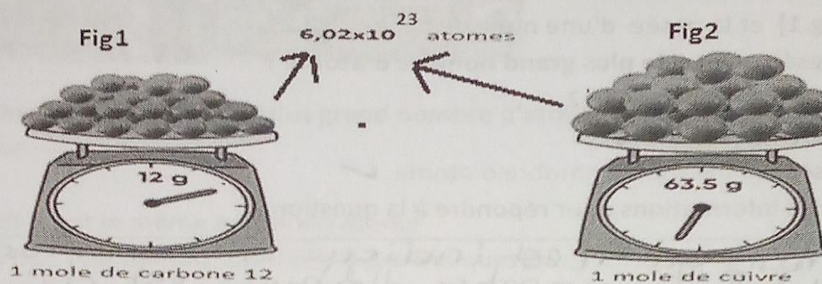
Toutefois, le taux de succès est en dessous de la moyenne. L'analyse nous montre que 57 élèves à la première question et 49 élèves à la deuxième question développent les difficultés d'apprentissage. Par conséquent, le gain conceptuel est partiel. Les conceptions erronées résistent dans ce groupe témoin.

Nous avons relevé une catégorie des apprenants qui ont manifesté une double conception erronée, c'est-à-dire porter leur choix du premier palier de la question Q1 sur la mauvaise réponse (b) qui stipule que la masse 12 g indiquée sur la première balance représente le nombre d'atomes de carbone 12. Mais au niveau de la justification, ils estiment que 12 g représente le numéro atomique comme nous pouvons le constater sur la figure ci-dessous. Pour cette catégorie, les apprenants (37 élèves à la question Q1 et 24 élèves à la question Q2) ne parviennent toujours pas à distinguer la masse molaire atomique, le numéro atomique et le nombre d'atomes.

Figure 64

Exemple de raisonnement basé sur les conceptions alternatives au choix de la mauvaise réponse (b) à la question Q1 du post-test.

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).



Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1.

- a- La masse d'une mole de molécule de carbone 12
- b- Le nombre d'atome de carbone 12 ✓
- c- La masse d'une mole d'atome de carbone 12
- d- Je ne sais pas

Justification : Parce que 12 représente le numéro atomique

Ces apprenants doivent réaliser que la masse molaire atomique de l'élément carbone est 12 g/mol, c'est-à-dire qu'une mole d'atomes de carbone (soit $6,022 \times 10^{23}$ atomes de carbone) pèse 12 g et que la masse molaire atomique de l'élément cuivre est 63,5 g/mol, c'est-à-dire qu'une mole d'atomes de cuivre (soit $6,022 \times 10^{23}$ atomes de cuivre) pèse 63,5 g. La masse molaire ne saurait être confondue au nombre d'atomes puisqu'il n'y a pas de demi atome.

Un autre type de raisonnement lié à une connaissance non acquise que nous avons décelé et qui conduit à un bon choix au premier palier est basé sur la confusion entre la constante d'Avogadro et la masse d'une mole d'atomes de cuivre.

Figure 65

Exemple de raisonnement basé sur les conceptions alternatives au choix de la bonne réponse(c) à la question Q2 du post-test.

Que représente la mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la Fig2

- a- La masse d'une mole de molécule de cuivre
- b- Le nombre d'atome de cuivre
- c- La masse d'une mole d'atome de cuivre ✓
- d- Je ne sais pas

Justification : parce que $6,02 \times 10^{23}$ est la masse d'un mole de carbone et 63,5 est la masse d'atome de Cuivre

La masse molaire atomique est attribuée à chaque élément chimique et constitue la masse d'une mole de chaque élément. Analysons les productions des apprenants dans le groupe expérimental.

Le tableau ci-dessous montre les justifications des élèves dans le groupe expérimental sur la notion de la masse molaire.

Tableau 36

Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la connaissance de la masse molaire atomique : groupe expérimental

Premier palier		Deuxième palier		
Items + choix des Réponse	Effectifs	Justifications	Analyse didactique	Conclusion
Q1a	7	La masse d'une molécule	Confusion masse et molécule	Connaissance non construite
Q1b	6	La balance indique 12 atomes de carbone	La masse molaire est égale au nombre d'atomes	
Q1C*	86	La masse molaire atomique du carbone est 12g/mol		Connaissance construite
Q2a	3	Le cuivre est un isolant		Connaissance non construite
Q2b	5	La balance a indiqué ce nombre d'atomes qui est 63,5	Confusion nombre d'atomes et masse molaire	
Q2C*	91	La masse molaire atomique du cuivre est égale à 63,5 g/mol		Connaissance construite

Rappelons que dans le groupe expérimental, le taux de succès au premier palier est de **86 %** à la première question Q1 et **91 %** à la deuxième question Q2. Au deuxième palier, les justifications sont également pertinentes pour l'ensemble des deux questions. La connaissance est construite. Malgré ces taux, on relève quelques apprenants qui résistent dans leurs idées tacites. L'exemple ci-dessous montre la production d'une catégorie des apprenants ayant fait

le bon choix au premier palier avec une bonne justification. Comme nous le constatons dans cette figure, ils ont pu faire la différence entre la masse molaire atomique, la masse molaire moléculaire et le nombre d'atomes. En fonction de notre grille d'analyse établie dans le cadre méthodologique, nous pouvons dire que la connaissance est construite pour la notion de la masse molaire atomique.

Figure 66

Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de la bonne réponse(c) à la question Q1 du post-test.

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).

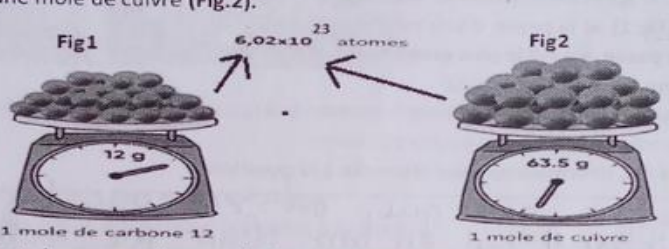


Fig1 12 g 1 mole de carbone 12

Fig2 63.5 g 1 mole de cuivre

6,02 x 10²³ atomes

Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1.

a-La masse d'une mole de molécule de carbone 12
 b-Le nombre d'atome de carbone 12
 c-La masse d'une mole d'atome de carbone 12
 d-Je ne sais pas

Justification : *par ce que l'on parle de nombre d'une mole est non d'atome est non de la masse d'une mole de molécule ou du nombre d'atome*

Nous pouvons conclure que le choix fait au premier palier n'est pas le hasard car la fréquence moyenne des deux questions Q1 et Q2 au premier palier est de 88,5 % ; on note une évolution significative des performances des apprenants. Cependant, il y'a quelques cas qui développent toujours la présence des conceptions erronées ; nous avons dénombré au total 13 élèves à la première question et 8 élèves à la deuxième question pour un taux moyen de 10,56 %. Pour ces cas précis, la connaissance n'est pas construite. En faisant une comparaison, 88,5 % est largement supérieur à 10,56 %, donc la notion de la masse molaire atomique est acquise.

3.1.2. Analyse des productions des élèves sur la constante d'Avogadro au post-test

La constante d'Avogadro est la deuxième notion que nous avons choisie parmi les trames conceptuelles à cause de son lien étroit avec la mole. Cette constante occupe une position centrale pour la compréhension du concept de mole. Rappelons que les deux questions Q3 et Q4 ci-dessous illustrent cette notion. Ces questions sont formulées ainsi :

Question 3 : D'après les schémas de la question 1, **quel est le nombre d'atomes contenus respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre ?**

- a- Une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63,5 atomes de cuivre ;
- b- Une mole de carbone 12 contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de cuivre ;
- c- Une mole de carbone 12 contient $7,22 \times 10^{24}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $3,82 \times 10^{25}$ atomes de cuivre ;
- d- Je ne sais pas.

Justification :

Question 4 : D'après les schémas de la question 1 représentés par la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2), **dans quelle pesée y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?**

- a- Pesée d'une mole de carbone 12 ;
- b- Pesée d'une mole de cuivre ;
- c- Les deux pesées ont le même nombre d'atome ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Justification :

Le tableau suivant présente les justifications des apprenants au deuxième palier dans le groupe témoin.

Tableau 37

Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la connaissance de la constante d'Avogadro : groupe témoin

Premier palier		Deuxième palier		
Items + choix des Réponses	Effectifs	Justifications	Analyse didactique	Conclusion
Q3a	35	Le nombre d'atomes est situé dans le TCPE		

Q3B*	44			Connaissance non construite
Q3c	15	Les calculs donnent $7,22 \times 10^{24}$ et $3,82 \times 10^{25}$		
Q3d	5	$6,022 \times 10^{24}$ représente la constante de sodium	Confusion Na et N_A	
Q4a	20	Le carbone est très volumineux par rapport au cuivre		
Q4b	40	La masse molaire du cuivre est plus grande	Masse molaire = nombre d'atomes	
Q4C*	35	Dans chaque balance, on a $6,022 \times 10^{23}$ atomes		Connaissance construite
Q4d	4	On n'a pas la masse de chaque atome		Connaissance non construite

À la question 3, nous avons 44 apprenants soit 44 % qui ont obtenu un taux de succès au premier palier et n'ont proposé aucune justification au deuxième palier. Comme nous l'avons signalé plus haut, un bon choix au premier palier sans justification au deuxième palier aboutit à une connaissance non acquise. Un apprenant qui a la maîtrise du savoir doit pouvoir expliquer librement son choix. En dehors de cette catégorie d'élèves, 45 autres apprenants ont fait un mauvais choix au premier palier. Pour ces élèves, les justifications ne nous intéressent plus car la connaissance est tout simplement non acquise. Pour l'ensemble des 99 participants dans ce groupe, aucun apprenant n'a produit une connaissance scientifique pour la question 3. Quant à la quatrième question, 35 % des apprenants ont obtenu un taux de succès au premier palier d'après le tableau 30 avec des meilleures justifications au deuxième palier.

Figure 67

Exemple de raisonnement basé sur la connaissance acquise au choix de la bonne réponse(c) à la question Q4 du post-test

Question 4 : D'après les schémas de la question 1 représentés par la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).

Dans quelle pesée y a-t-il le plus grand nombre d'atome ?

a- pesée d'une mole de carbone 12
 b- pesée d'une mole de cuivre
 c- Les deux pesées ont le même nombre d'atome
 d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : *parce que les deux ont un atome de $6,02 \times 10^{23}$ qui est indiquée par flèche*

Pour ces apprenants, « dans chaque balance, on a $6,022 \times 10^{23}$ atomes ». Comme conclusion, la connaissance est construite malgré le faible taux de réussite. Le tableau ci-dessous nous montre qu'à la question Q4, 64 élèves ayant fait le mauvais choix, ont présenté des justifications erronées, ceci prouve que dans ces productions, les apprenants raisonnent toujours en faisant appel aux idées intuitives. En conclusion, la constante d'Avogadro reste une difficulté majeure dans le groupe témoin.

Examinons les justifications des apprenants au deuxième palier dans le groupe expérimental. Le tableau suivant résume les productions des apprenants sur la notion de la constante d'Avogadro dans le groupe expérimental.

Tableau 38:

Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la connaissance de la constante d'Avogadro : groupe expérimental

Premier palier		Deuxième palier		
Items+ choix des Réponses	Effectifs	Justifications	Analyse didactique	Conclusion
Q3a	4	La balance montre la masse de carbone qui est 12 atomes et celle du cuivre qui est 63,5 atomes	La masse molaire atomique est égale au nombre d'atomes	Connaissance non construite

Q3B*	94	Une mole d'une substance chimique contient exactement $6,02214172 \times 10^{23}$ de cette substance		Connaissance construite
Q3c	1	Les calculs donnent les mêmes réponses		Connaissance non construite
Q4a	2	La masse molaire du carbone est plus petite que celle du cuivre	La masse molaire est considérée	
Q4b	10	Le cuivre pèse plus que le carbone	comme le nombre d'atomes	
Q4C*	87	Il s'agit d'une mole de carbone et d'une mole de cuivre soit $6,02214172 \times 10^{23}$ atomes		Connaissance construite

Dans les deux items, nous avons enregistré 94 % de bonnes réponses à la troisième question et 87 % à la quatrième question au premier palier, avec les justifications au deuxième palier qui cadrent avec la théorie scientifique : « Une mole d'une substance chimique contient exactement $6,02214172 \times 10^{23}$ entités de cette substance ».

Figure 68

Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de la bonne réponse (b) à la question Q3 du post-test du groupe expérimental

Question 3 : D'après les schémas de la question 1
Quel est le nombre d'atome contenu respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre.

a- Une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63.5 atomes de cuivre

b- Une mole de carbone 12 contient 6.022×10^{23} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 6.022×10^{23} atomes de cuivre

c- Une mole de carbone 12 contient 7.22×10^{24} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 3.82×10^{25} atomes de cuivre

Justification : parce que $6,02214172 \times 10^{23}$ qui est la constante d'Avogadro qui permet de déterminer le nombre d'atome d'une mol d'un composé

Nous avons été étonnés que les apprenants donnaient la nouvelle valeur exacte de la constante d'Avogadro adoptée en 2019. Ceci est dû au fait que nous avons beaucoup insisté sur cette nouvelle valeur pendant l'expérimentation. Nous reconnaissons que l'ancienne valeur a toujours été à l'origine de nombreuses difficultés. Les apprenants ont également réalisé à la question quatre que dans une mole d'une substance chimique, quelle que soit la nature de la particule, on a exactement $6,02214172 \times 10^{23}$ entités. C'était le défi à relever. La fréquence moyenne des deux questions Q3 et Q4 est de 90,5 %. En somme, la maîtrise de la constante d'Avogadro est parfaite dans le groupe expérimental. Relevons quelques cas isolés, soit 5 élèves à la troisième question et 12 élèves à la quatrième question qui jusqu'ici persistent dans leurs conceptions alternatives mais le pourcentage est très insignifiant (8,5 %).

3.1.3. Analyse des productions des élèves sur la quantité de matière et la masse au post-test

Les écrits antérieurs montrent que les difficultés majeures des apprenants sont liées au mode de raisonnement basé sur la confusion conceptuelle entre la masse et la quantité de matière. Raison pour laquelle nous avons constitué quatre questions Q5, Q6, Q7 et Q8 présentées sous plusieurs formes dont l'objectif principal vise à faire la distinction entre la

masse et la quantité de matière par les apprenants. En guise de rappel, ces questions sont formulées de la façon suivante :

Question 5 : On dispose de deux paniers. A et B. Le panier A contient 4 kg de citron, le panier B contient 5 kg d'orange.

Dans quel panier y a-t-il le plus grand nombre de fruits ?

- a- Le panier A ;
- b- Le panier B ;
- c- Il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Justification :

Question 6 : On dispose de deux coupelles A, B. La coupelle A contient 1 g d'aluminium, la coupelle B contient 1 g d'or.

Dans quelle coupelle y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

- a- La coupelle A ;
- b- La coupelle B ;
- c- Il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Justification :

Question 7 : Les images 1 et 2 ci-dessous représentent les athlètes ayant deux javelots constitués respectivement des atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. Sachant que les masses en kg d'un atome de carbone et d'aluminium sont : un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg et un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg.



Dans quel javelot trouve-t-on le plus grand nombre d'atomes ?

- a- Javelot B ;
- b- Javelot C ;
- c- Javelot B et C ont le même nombre d'atomes ;
- d- Il manque des informations pour répondre à la question.

Justification :

Question 8 : Un élève affirme qu'un morceau d'aluminium pur (Al) de masse 10,8 g et un morceau d'or pur (Au) de masse 78,8 g contiennent le même nombre d'atomes. Les masses molaires atomiques de l'aluminium et de l'or sont : $M_{\text{Al}} = 27 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_{\text{Au}} = 197 \text{ g.mol}^{-1}$. Selon vous, **dans quel morceau trouve-t-on le plus grand nombre d'atomes ?**

- a- Les deux ont le même nombre d'atomes ;
- b- Le nombre d'atomes d'or (Au) est plus grand que le nombre d'atomes d'aluminium (Al) ;
- c- Le nombre d'atomes d'aluminium(Al) est plus grand que le nombre d'atomes d'or (Au) ;
- d- Je ne sais pas.

Justification

Pour cerner tous les contours, nous étions obligés de faire recours à ces deux grandeurs, c'est-à-dire la quantité de matière et la masse. Nous avons voulu vérifier ce que d'autres chercheurs ont identifié comme conceptions alternatives des apprenants dans le

contexte camerounais à travers les productions des apprenants regroupées dans le tableau ci-dessous. Le tableau 37 présente les justifications des élèves lorsqu'ils sont interrogés sur les notions de masse et de quantité de matière dans le groupe témoin au post-test.

Tableau 39

Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la masse et la quantité de matière : groupe témoin

Premier palier		Deuxième palier		
Items + Réponse	Effectifs	Justifications	Analyse didactique	Conclusion
Q5A*	38	Le citron est beaucoup dans la nature par rapport à l'orange		Connaissance non construite
Q5b	40	– Le panier d'orange pèse 5 Kg ; – L'orange est gros et contient plus de jus que le citron.	Confusion quantité et la masse	Connaissance non construite
Q5d	21	On ne connaît pas les masses molaires		
Q6a	3	L'aluminium est une matière première		
Q6b	11	L'or est plus cher que l'aluminium		
Q6c	40	Les deux ont les mêmes masses 1g	Confusion masse et nombre d'atomes	
Q6D*	45	Nous n'avons pas la masse molaire des éléments		Connaissance non construite
Q7a	20	On utilisait le javelot B avant 1986		Connaissance non construite
Q7B*	30	La masse d'un atome de carbone est plus petite $1,993.10^{-26}$ kg		Connaissance construite
Q7c	40	On a 800 g de carbone et 800g d'aluminium	La masse = nombre d'atomes	Connaissance non construite
Q7d	9	Il y a manque de masses molaires		
Q8A*	32			Connaissance non construite
Q8b	33	La masse de l'or est 78,8 g	Le nombre	Connaissance

		et celle de l'aluminium est 10,8 g	d'atome représente la masse ou la masse molaire	non construite
Q8c	34	La masse molaire d'aluminium est 27 et celle d'or est 107		


Dans ce groupe témoin, le taux du succès est de 38 % à la cinquième question et 45 % à la sixième question. Malheureusement les justifications montrent que la connaissance est non construite de part et d'autre. La conception erronée sur la confusion conceptuelle entre la quantité de matière et la masse est récidive chez 40 apprenants soit 40 %. Pour la septième question, 30 % des apprenants ont fait un meilleur choix au premier palier. La justification produite par ces élèves est que « la masse d'un atome de carbone est plus petite $1,993 \cdot 10^{-26}$ kg ». Par ailleurs, l'atome de carbone contient plus d'atomes. À ce niveau, nous confirmons la construction de la connaissance.

Figure 69

Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de la bonne réponse (b) à la question Q7 du post-test du groupe témoin


Question 7: les images 1 et 2 ci-dessous représentent les athlètes ayant deux javelots constitués respectivement des atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. Sachant que les masses en kg d'un atome de carbone et d'aluminium sont : Un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg et un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg

①



Javelot C
(utilise actuellement en compétition)
800 g de fibre de carbone

②



Javelot B (utilisé avant 1926)
800 g d'aluminium

Dans quel javelot trouve-t-on le plus grand nombre d'atome.

a-Javelot B
 b-Javelot C
 c-Javelot B et C ont le même nombre d'atome
 d-Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : parce que la masse de carbone est plus petite $1,993 \cdot 10^{-26} \text{ kg} < 4,51 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

Le taux est très faible mais il faut aussi reconnaître que ces élèves ont pu faire la distinction entre la masse et la quantité de matière. Concernant la question 8 nous avons enregistré 32 % de bonnes réponses au premier palier et l'analyse des justifications n'a révélé aucune bonne justification pour les choix faits alors, la connaissance n'est pas assimilée. 65 apprenants, pour cette question, ont au préalable fait le mauvais choix au premier palier. Au total pour les questions Q5, Q6, Q7 et Q8, et sur l'ensemble des 99 participants, 69 n'ont pas pu distinguer la masse et la quantité de matière. On constate que la conception alternative persiste.

Figure 70

Exemple de raisonnement basé sur les conceptions alternatives au choix de la mauvaise réponse (c) à la question Q6 du post-test du groupe témoin

The image shows a screenshot of a test question and a handwritten justification. The question is in French and asks about the number of atoms in two beakers. The justification is written in blue ink and states that 1g of gold is equal to 1g of aluminum, making the question obvious.

Question 6 - On dispose de ^{deux} trois coupelles. A, B. La coupelle A contient 1g d'aluminium, La coupelle B contient 1g d'or

Dans quelle coupelle y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

a- la coupelle A
b- la coupelle B
 c- Il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles
d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : 1g dor = 1g d'aluminium la question est évidente

Pour cet apprenant, la question est aussi évidente vu que $1 \text{ g d'or} = 1 \text{ g d'Aluminium}$. Comme nous avons signalé à la section de l'analyse à priori, les élèves doivent inhiber cette conception alternative en sachant que les échantillons constitués d'entités microscopiques ayant les mêmes masses ne contiennent pas automatiquement le même nombre d'entités. Le corps ou la substance qui a le grand nombre d'entités est celui ayant les entités les plus légères. C'est ce qui fait qu'à la question 6, il manquait des informations pour répondre à la question tout simplement parce qu'il n'y avait aucun renseignement concernant la masse de chaque atome. Par contre, nous avons utilisé les objets macroscopiques visibles à l'œil nu pour la question 5 ; donc il fallait juger la forme des deux objets. Tout le monde le sait que naturellement, le citron est plus léger que l'orange. C'est pourquoi, pour mener notre expérience dans le groupe expérimental, nous avons utilisé les objets macroscopiques dans le but de faire une analogie avec les entités microscopiques.

Le tableau suivant présente les justifications des élèves au deuxième palier des questions Q5, Q6, Q7 Q8 du groupe expérimental lorsqu'ils mobilisent les connaissances sur les notions de masse et la quantité de matière.

Tableau 40

Justifications des élèves au deuxième palier du post-test sur la distinction entre la masse et la quantité de matière : groupe expérimental

Premier palier		Deuxième palier		
Items +Réponse	Effectifs	Justifications	Analyse didactique	Conclusion
Q5A*	80	Le citron est plus léger que l'orange et occupe plus d'espace		Connaissance construite
Q5b	10	On a 5 kg > 4 kg	Confusion quantité de matière et masse	Connaissance non construite
Q5c	9			
Q6a	1			
Q6b	2	L'or est situé à la dernière colonne du TCPE		
Q6c	15	1g = 1g ils ont les mêmes atomes		
Q6D*	81	On ne connaît pas l'élément le plus léger		Connaissance construite
Q7a	2	Il est plus ancien que l'autre		
Q7B*	77	La masse d'un atome de carbone est plus petite		Connaissance construite
Q7c	20	Le javelot B pèse 800 g et le javelot C pèse aussi 800 g		Connaissance non construite
Q8A*	60	Les calculs donnent : $N_{Al} = 10,8 \times 6,022 \cdot 10^{23} / 27 = 2,408 \cdot 10^{23}$ $N_{Or} = 107 \times 6,022 \cdot 10^{23} / 197 = 2,408 \cdot 10^{23}$		Connaissance construite
Q8b	19	La masse molaire de l'or est supérieure à celle d'aluminium	Le nombre d'atomes dépend de la masse	Connaissance non construite
Q8c	20	L'Aluminium a une petite masse		

Au premier palier de la question 5, nous avons enregistré 80 % des apprenants qui ont fait le bon choix. Au deuxième palier, ils estiment que « le citron est plus léger que l'orange et occupe plus d'espace ». L'apprentissage est acquis pour ces 80 apprenants. Les 10 autres apprenants se basent sur la comparaison des masses pour porter leur choix sur la mauvaise réponse, la connaissance est non construite. 9 élèves ont porté leur choix sur le choix c au premier palier. Pour cette catégorie, il manque les informations pour répondre à la question. Quant à la sixième question, 81 % des apprenants ont obtenu un taux de succès au premier palier pour une bonne justification au deuxième palier : « on ne connaît pas l'élément le plus léger ».

Figure 71

Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de la bonne réponse(d) à la question Q6 du post-test du groupe expérimental

Question 6 - On dispose de ^{deux} ~~trois~~ coupelles. A, B. La coupelle A contient 1g d'aluminium, La coupelle B contient 1g d'or
 Dans quelle coupelle y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?
 a- la coupelle A
 b- la coupelle B
 c- Il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles
 d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification : on ne dispose pas de ^{masse} ~~pesé~~ d'un atome d'aluminium et d'un atome d'or.

Effectivement, la méconnaissance des masses des deux éléments ne permet pas d'identifier l'élément le plus léger ; la connaissance est construite. Selon la pensée des 15 élèves de la même question, il faut juste comparer les masses des éléments et non de chaque élément ; « 1g = 1g ils ont les mêmes atomes ». La conception erronée résiste pour ces élèves. Nous pensons qu'un suivi particulier est indispensable pour ces apprenants sans toutefois négliger la prise en compte des obstacles ontologiques.

Pour la question 7, la masse de chaque élément est donnée et en fonction de ces masses, il faut déterminer dans quel javelot il y a le plus d'atomes. Les productions des apprenants montrent 77 % de bonnes réponses au premier palier. Leurs justifications montrent que la connaissance est construite : « la masse d'un atome de carbone est plus petite » ; par conséquent, le javelot c contient plus d'atomes de carbone. 20 élèves se sont focalisés plutôt

sur la comparaison des masses des deux javelots : « le javelot B pèse 800g et le javelot C pèse aussi 800 g » pour eux, c'est une évidence que les deux éléments aient le même nombre d'atomes. Les questions 6 et 7 étaient similaires, la seule différence était basée sur la masse d'un élément ; nous avons été surpris d'avoir enregistré 81 % de gain conceptuel à la question 6 et 77 % à la question 8. Le plus important était la justification au deuxième palier.

La huitième question illustre toujours la distinction entre la masse et la quantité de matière mais cette fois ci par les calculs quantitatifs. Il s'agit de mobiliser toutes ces connaissances et de pouvoir les appliquer dans un exercice haut de gamme. Nous avons enregistré la fréquence de bonnes réponses de 60 % au premier palier. Il est vrai que nous nous attendions à un pourcentage plus élevé. La production de ces apprenants au deuxième palier a montré la maîtrise de la relation qui lie la masse, la constante d'Avogadro et le nombre d'atomes. Ainsi, « $N_{Al} = (10,8 \times 6,022 \cdot 10^{23}) / 27 = 2,408 \cdot 10^{23}$ atomes d'aluminium et $N_{Au} = (78,8 \times 6,022 \cdot 10^{23}) / 197 = 2,408 \cdot 10^{23}$ atomes d'or ». Ils ont les mêmes nombres d'atomes d'après les calculs. Nous savons que cette relation est $N = (m \times N_A) / M$ avec n : la quantité de matière, N : le nombre d'entités élémentaires, N_A : la constante d'Avogadro et M : la masse molaire atomique et m : la masse de l'échantillon.

Figure 72

Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix de la bonne réponse (a) à la question Q8 du post-test du groupe expérimental

Question 8 : Un élève affirme qu'un morceau d'aluminium pur (Al) de masse 10,8 g et un morceau d'or pur (Au) de masse 78,8 g contiennent le même nombre d'atomes. Les masses molaires atomiques de l'aluminium et de l'Or sont : $M_{Al} = 27 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_{Au} = 197 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Selon vous : Dans quel morceau trouve-t-on le plus grand nombre d'atome?

a- Les deux ont le même nombre d'atome

b- Le nombre d'atome d'Or (Au) est plus grand que le nombre d'atome d'aluminium (Al)

c- Le nombre d'atome d'aluminium (Al) est plus grand que le nombre d'atome d'Or (Au)

d- Je ne sais pas

Justification

$N = \frac{m \times N_A}{M}$

$N_{Al} = \frac{10,8 \times 6,022 \cdot 10^{23}}{27} = 2,408 \cdot 10^{23}$

$N_{Au} = \frac{78,8 \times 6,022 \cdot 10^{23}}{197} = 2,408 \cdot 10^{23}$

Il faut d'abord calculer on sait que

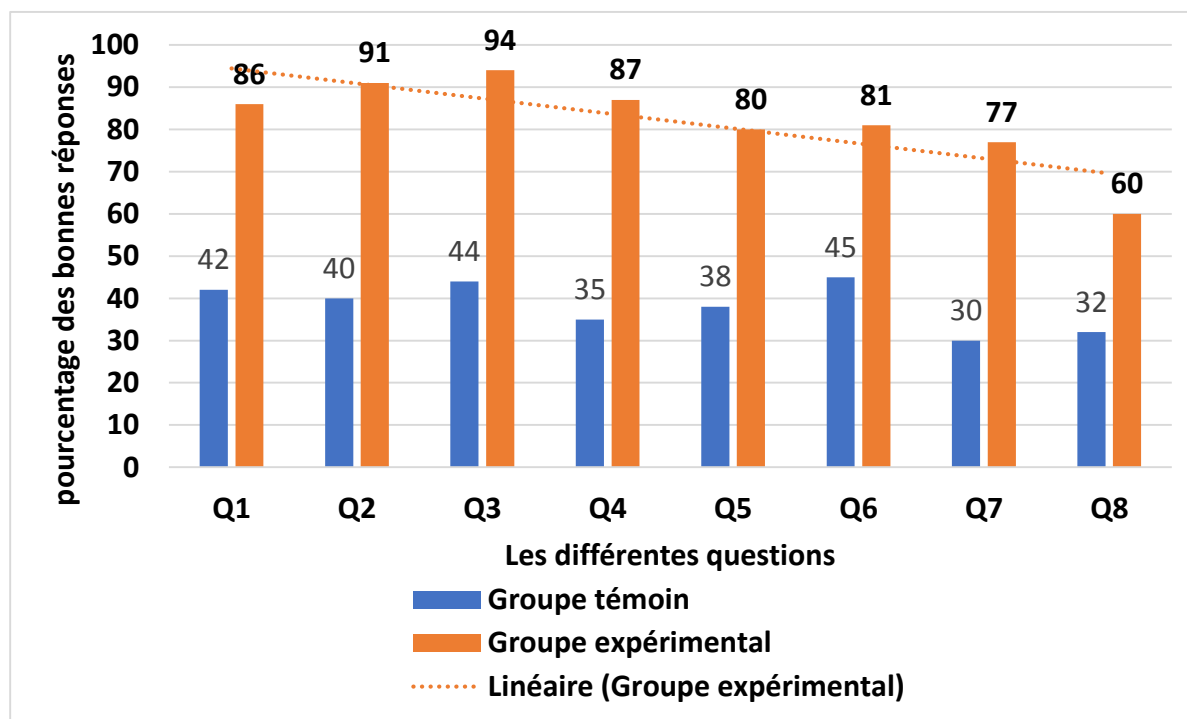
Nous dénombrons 39 élèves qui n'ont pas compris qu'il fallait effectuer les calculs afin de conclure. Le taux de réussite moyen de ces quatre questions est de 74,5 %, nous

prenons en compte ce taux qui est au-dessus de la moyenne puisque les justifications sont en accord avec la théorie scientifique. De ce fait, la distinction entre la masse et la quantité de matière est comprise pour un bon nombre des apprenants. Pour confirmer ou infirmer l'impact de la démarche d'investigation comme approche contribuant au changement conceptuel, nous allons résumer dans un diagramme la comparaison du taux de succès au premier palier dans le groupe expérimental et dans le groupe témoin et coupler aux bonnes justifications ci-haut.

Le paragraphe ci-dessous présente donc le taux de réussite enregistré dans le groupe témoin et le groupe expérimental après le post-test à partir des scores obtenus au premier palier. Notons que ces scores sont validés par les bonnes justifications présentées plus haut. L'objectif est de comparer les performances dans le groupe témoin après enseignement du concept de mole sans utiliser la DI et le groupe expérimental après enseignement de la mole avec utilisation de la DI.

Figure 73

Diagramme de comparaison du taux de succès au premier palier dans le groupe témoin et expérimental au post-test



Le diagramme ci-dessus montre le pourcentage de bonne réponse en fonction des différentes questions dans le groupe témoin et expérimental. Nous avons 86 % dans le groupe expérimental contre 42 % dans le groupe témoin et 91 % contre 40 % dans le groupe témoin respectivement pour les questions Q1 et Q2. En se référant sur l'analyse des justifications des

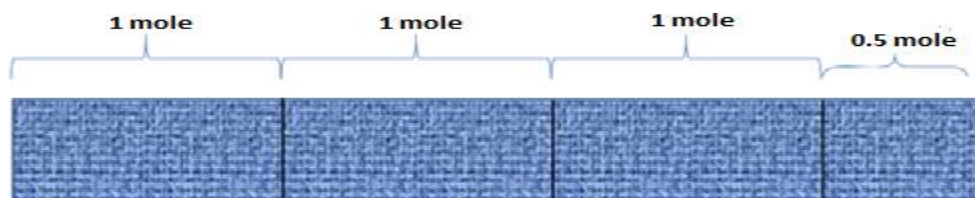
apprenants ci haut, nous pouvons confirmer que le concept de masse molaire est plus assimilé dans le groupe expérimental que dans le groupe témoin. Pour les questions Q3 et Q4, on a respectivement 94 % ; 87 % dans le groupe expérimental et 44 % ; 35 % dans le groupe témoin. Nous observons un écart important entre ces taux, l'analyse des productions des apprenants au deuxième palier montre un lien étroit avec ces pourcentages. La notion de la constante d'Avogadro est acquise dans le groupe expérimental. À la question Q5 dans le groupe témoin nous avons obtenu 38 % et 80 % dans le groupe expérimental. Cette différence du taux de succès est très significative. En faisant un rapprochement avec les justifications au deuxième palier, nous constatons que les apprenants ont pu faire une distinction conceptuelle entre la quantité de matière et la masse en s'appuyant sur les objets macroscopiques. Pour les questions Q6 et Q7 nous avons 81 % et 77 % dans le groupe expérimental contre 45 % et 30 % dans le groupe témoin. Ces deux questions ont été adaptées dans le but d'établir une analogie entre les objets macroscopiques et les entités microscopiques. Au vu des résultats du premier et deuxième palier, nous confirmons avec satisfaction que les apprenants ont été à la hauteur de cette tâche.

Quant à la question Q8 où il fallait poser une formule et faire une application numérique, nous avons enregistré 60 % dans le groupe expérimental contre 32 % dans le groupe témoin. Notons que ces taux cadrent avec les justifications des apprenants. Malgré la différence de score dans les deux groupes, le taux obtenu dans le groupe expérimental est inférieur aux taux obtenus pour les autres questions du même groupe ; ceci est dû au fait que la question était liée au calcul quantitatif. Par conséquent, un élève qui a les difficultés en mathématiques peut transposer cette difficulté en chimie. Sur la base de ces résultats, nous pouvons tirer une conclusion selon laquelle la conception alternative des apprenants basée sur la confusion conceptuelle entre la masse et la quantité de matière a évolué. Par ailleurs, les pourcentages obtenus au premier palier aux différents items et les justifications au deuxième palier dans le groupe expérimental laissent croire que le concept de mole est assimilé par les élèves.

4. Résultats de la question Q9 au post-test

En guise de rappel, cette question est formulée ainsi :

Question 9 : Le schéma ci-dessous illustre le découpage en mole d'une lame de fer à l'échelle microscopique (Halloun,2019).



Calculer le nombre d'atomes dans les différents découpages

- a- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 1 mol ?.....
- b- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 2 mol ?
- c- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 0,5 mol ?
- d- Quel est le nombre d'atomes de fer dans la lame ?.....

Les connaissances mobilisées doivent être appliquées dans des différents exercices, raison pour laquelle la question 9 illustre le calcul du nombre d'atomes contenus dans une lame de fer découpée en mole. Cette question est constituée d'un seul palier. Le tableau ci-dessous montre le nombre d'élèves et fréquences relatives de bonnes réponses dans le groupe témoin et expérimental.

Tableau 41

Fréquence de bonnes réponses du groupe témoin et expérimental de la Question Q9 au post-test

Item /Réponses		Groupe témoin		Groupe expérimental	
		Nombre d'élèves	Fréquence	Nombre d'élèves	Fréquence
Q9	a	32	32 %	69	69 %
	b	29	29 %	57	57 %
	c	22	22 %	58	58 %
	d	31	31 %	62	62 %
Moyenne			28,5		61,5

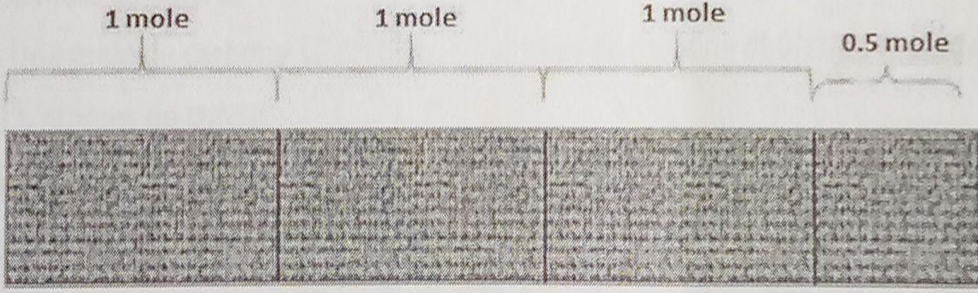
Pour le nombre d'atomes contenus dans une mole, nous avons obtenu une fréquence de 32 % de bonnes réponses dans le groupe témoin et 69 % dans le groupe expérimental. Pour le nombre d'atomes contenus dans 2 mol nous avons enregistré 29 % de bonnes réponses dans le groupe témoin et 57 % dans le groupe expérimental. Concernant le nombre d'atomes de fer

dans 0,5 mol, le pourcentage de bonnes réponses est de 22 % dans le groupe témoin et 58 % dans le groupe expérimental. S'agissant du calcul du nombre d'atomes dans la lame entière, nous avons enregistré 31 % de bonnes réponses et 62 % dans le groupe expérimental. Nous avons constaté que beaucoup d'élèves qui étaient dans la logique de poser d'abord la formule trouvaient toutes les réponses de la question Q9 à l'instar de cet élève.

Figure 74 :

Exemple de raisonnement basé sur la connaissance construite au choix des bonnes réponses (a, b, c, d) à la question Q9 du post-test du groupe expérimental

Question 9- Le schéma ci-dessous illustre le découpage en mole d'une lame de fer à l'échelle microscopique.



Calculer le nombre d'atomes dans les différents découpages

a- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 1 mol? $N = n \times N_A \dots 1 \times 6,022 \times 10^{23} = 6,022 \times 10^{23}$ atomes

b- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 2 mol? $N = n \times N_A \dots 2 \times 6,022 \times 10^{23} = 1,204 \times 10^{24}$ atomes

c- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 0,5 mol? $N = n \times N_A \dots 0,5 \times 6,022 \times 10^{23} = 3,011 \times 10^{23}$ atomes

d- Quel est le nombre d'atomes de fer dans la lame? $N = n \times N_A \dots 3,5 \times 6,022 \times 10^{23} = 2,107 \times 10^{24}$ atomes

le nombre d'atome est le produit entre la quantité de matière et la constante d'Avogadro

La production de cet apprenant montre qu'il maîtrise la relation qui lie la quantité de matière, la constante d'Avogadro et le nombre d'atomes.

Au vu de ces pourcentages, nous avons constaté une large différence entre les performances des apprenants dans le groupe expérimental et dans le groupe témoin. Le taux de succès moyen dans le groupe témoin est de 28,5 % contre 61,5 % dans le groupe expérimental. Malgré cette différence observée dans les deux groupes, on note une baisse de

pourcentage par rapport aux autres questions notamment Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 et Q8. Nous pensons que cette baisse est due au fait que la question a une liaison avec la mathématique comme nous l'avons signifié plus haut. La chimie est une discipline scientifique qui convoque les outils mathématiques pour résoudre certains exercices. Donc les conceptions des élèves en mathématiques peuvent avoir des répercussions en chimie.

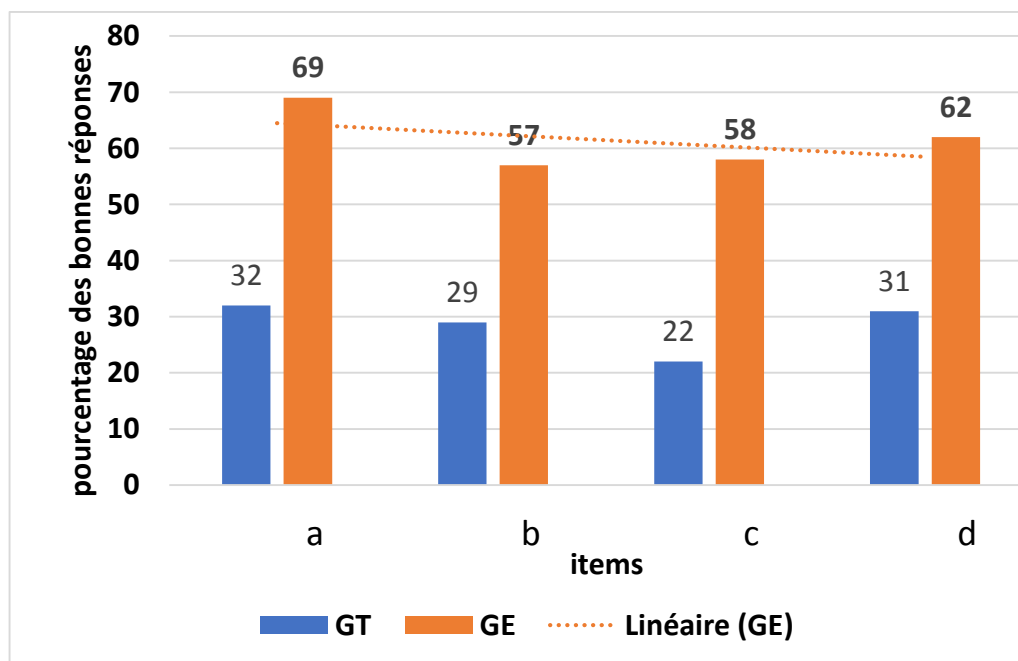
La notion de proportionnalité est enseignée au niveau quatrième en mathématiques et est utilisée réellement au niveau troisième en physique, chimie et technologie.

Il faut aussi noter qu'au niveau 6^{ème} et 5^{ème}, l'enseignement de la chimie est qualitatif au niveau 4^{ème}, il est légèrement quantitatif ; c'est au niveau 3^{ème} que les calculs des différentes grandeurs sont intenses.

Le diagramme suivant nous renseigne sur la comparaison du taux de succès dans le groupe expérimental et dans le groupe témoin au post-test.

Figure 75

Diagramme de comparaison du taux de succès à la question Q9 dans le groupe témoin et expérimental



Le diagramme présente le taux de succès de la question Q9 en fréquence de bonnes réponses pour les tâches a, b, c et d. Les fréquences obtenues dans le groupe témoin sont indiquées par la couleur bleue et les fréquences obtenues dans le groupe expérimental sont matérialisées par la couleur orange. Rappelons que pour la tâche a, où il fallait calculer le nombre d'atomes de fer dans une mole, nous avons enregistré 69 % dans le groupe

expérimental contre 32 % dans le groupe témoin : la différence est significative. Pour la tâche **b**, on doit calculer le nombre d'atomes dans 2 moles ; nous avons enregistré 57 % dans le groupe expérimental et 29 % dans le groupe témoin. Malgré le faible taux enregistré, on observe un écart conséquent. Concernant la tâche **c**, nous avons obtenu un taux de 58 % dans le groupe expérimental contre 22 % dans le groupe témoin et 62 % contre 31 % respectivement dans le groupe expérimental et témoin pour la tâche **d** où il fallait calculer le nombre d'atomes de fer dans la lame entière. On observe un pic pour la tâche **a** justement parce que cette tâche ne nécessite pas l'usage d'une calculatrice. Nous avons constaté que les apprenants ont des difficultés à manipuler les puissances. Le plus intéressant ici est que les élèves se sont attelés à appliquer la formule $N = n \times N_A$, mais au niveau de l'application numérique, beaucoup ont montré leur faiblesse quant à l'utilisation de la calculatrice ; nous voyons là un problème mathématique.

5. Récapitulatif des résultats obtenus du groupe témoin et du groupe expérimental à la phase du post-test.

Les résultats de l'ensemble des 9 questions du post-test montrent une différence significative du taux de succès au premier palier (huit questions) ; d'une part (38,25 % dans le groupe témoin et 81,5 % dans le groupe expérimental) et d'autre part une corrélation avec l'analyse des justifications des apprenants au deuxième palier. En d'autres termes, dans le groupe expérimental, les apprenants qui ont fait le bon choix au premier palier ont apporté en même temps les bonnes justifications correspondant au deuxième palier. Le taux moyen dans le groupe témoin est 28,5 % contre 61,5 % dans le groupe expérimental à la question Q9. Au regard de ces résultats obtenus au post-test, nous pouvons ainsi valider notre deuxième hypothèse : le processus d'enseignement apprentissage basé sur l'émission des hypothèses suivis de l'expérimentation dans un contexte socioconstructiviste a permis de construire le concept de mole.

La première et la deuxième hypothèse étant validés, nous pouvons tirer la conclusion selon laquelle l'apprentissage basé sur la démarche d'investigation permet de surmonter les difficultés que les apprenants des classes de 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général au Cameroun rencontrent lorsqu'ils conceptualisent le concept de mole.

Cette approche a permis à chaque élève à prendre du recul sur la nécessité d'une vision fondée sur des faits évidents, ce qui en plus a conduit à la mise en cause des conceptions erronées. Sur la base des performances obtenues, nous pouvons déclarer une

compréhension optimale de ce concept par les élèves. Ceci prouve qu'il existe dans le cerveau des apprenants des schèmes sur lesquels un enseignant chevronné devrait greffer des connaissances nouvelles.

Le but final de la démarche d'investigation est d'améliorer les performances des apprenants. Le schéma alterne trois grandes phases : la phase du questionnement où l'élève développe ainsi la capacité à méditer, en mettant en œuvre des habiletés diverses. Elle situe l'élève dans une logique où il se trouve au centre de l'apprentissage. Cette phase permet à l'élève d'étaler toutes les idées premières au sujet posé tel que nous avons constaté dans le cadre de cette recherche.

La phase d'émission des hypothèses où les apprenants installent le doute, l'incertitude dans leur pensée. La phase d'expérimentation où l'élève est appelé à inhiber sa conception alternative pour fixer la nouvelle connaissance qui est celle adaptée par la communauté scientifique. Cet aboutissement est accompagné par l'enseignant. À cet effet, on dit que l'apprenant a institutionnalisé¹⁶ son savoir. Pour mettre le savoir acquis en fonction, il faut proposer des exercices d'entraînements tels que nous l'avons fait pendant la phase d'expérimentation. Pour réactiver cette connaissance et la rendre résistante, nous avons proposé dans notre questionnaire deux exercices liés aux calculs.

Ces résultats nous conduit à une ouverture d'esprit dans la mesure où nous avons compris que si certains élèves ont de mauvais résultats, ce n'est pas forcément dû à un manque d'intelligence comme le dit Oriol et ses collaborateurs : « Les inaptitudes particulières d'hommes par ailleurs brillants tiennent non pas à un défaut d'intelligence spécialisée, mais à un manque d'entraînement, l'absence d'intérêt ou l'influence d'un milieu favorable » (Oriol & *al.*, 1968 p.543).

La démarche d'investigation intègre les sept profils d'apprentissage comme nous l'avons décrit dans le cadre théorique.

- Le profil d'identité qui englobe l'émotion, l'enthousiasme ;
- Le profil de motivation qui est activée par le biais d'une expérimentation. Ce profil prend en compte les éléments suivants : la volonté, l'interaction, l'utilité de la connaissance à acquérir ;
- Le profil de concentration ;

¹⁶ C'est un processus par lequel l'apprenant acquiert la connaissance institutionnelle

- Le profil de compréhension. Ces profils permettent d'orienter les élèves qui ont les difficultés d'apprentissages, c'est-à-dire de débloquer les apprenants en difficultés.

Pour le cas des apprenants qui persistent dans leurs conceptions, nous proposons également la mise sur pied de la technique du tutorat.

Pourquoi ne pas imaginer que des élèves prennent en charge certains de leurs camarades en difficultés et mettre en place un tutorat : un élève tuteur pour un élève en difficulté ? Si, c'est possible ! Ce tutorat peut s'organiser au sein d'un même niveau ou encore à des niveaux différents (un « Terminale » aide un « première »). Le tuteur est responsabilisé et l'élève aidé profite d'un dialogue d'égal à égal où il entend un discours différent de celui du professeur....(Maury, 2008, p. 70)

« ...Quand un élève bute à plusieurs reprises sur le même obstacle par exemple lorsque l'on commence à apprendre l'addition au CP, beaucoup d'élèves ont déjà des méthodes personnelles pour faire de petites additions en comptant sur les doigts » (Hervieu, 2019, p.297).

C'est parfois une méthode de remédiation très efficace si la formation des petits groupes entre les élèves n'a pas porté de fruit pour certains apprenants. On peut aussi solliciter l'appui des aînés. La population cible étant constituée des apprenants du niveau troisième alors, les élèves du niveau 2nde, première et terminale scientifiques peuvent jouer le rôle des tuteurs. Avec cette interaction, les apprenants qui persistent dans leurs difficultés peuvent trouver une solution significative. Le tutorat est un dispositif efficace pour lutter contre les difficultés avec l'appui des apprenants du niveau supérieur (Maury, 2008). Le tutorat nécessite une organisation particulière et pour ce faire, Maury a proposé quelques règles pour que ce dernier soit efficace :

- *Les heures de tutorat doivent être consacrées à une seule et même discipline et se font en dehors des heures de cours ;*
- *Le tutorat doit être régulier (une heure par semaine par exemple) et peut durer toute une année ;*
- *Vous devez-vous impliquer totalement et ne pas disparaître au profit des élèves, tuteur ;*
- *Les groupes doivent être restreints (pas plus de douze élèves à charge en même temps) ;*
- *Pensez à toutes les questions d'ordre pratique, qui si elles ne sont pas traitées, peuvent devenir empoisonnantes ;*
- *Le lieu : une salle équipée de manuels scolaires. (Maury, 2008, p.71)*

La condition spécifique pour être garant d'un tuteur est prédominée par les élèves les plus compétents en la matière ayant les bons résultats.

Maury a énoncé plusieurs propositions visant à trouver une solution pour les apprenants en récidive :

- *Rendre le cours vivant, évitez le ton monocorde, promenez-vous dans la salle, sollicitez d'avantage la participation des élèves, proposez aux élèves des documents (textes, images, schéma) sans titre, ni questions et demandez-leur d'écrire les questions qu'ils se posent, les réactions que cela suscite chez eux et pourquoi, ...ce qui les étonne et les hypothèses qu'ils peuvent émettre. Faire un tour de classe pour entendre les propositions. Notez tout au tableau y compris les propositions peu pertinentes (et pour chaque hypothèse demandez si on peut les valider. Vous effacerez ce qu'ils ne confirment pas) ;*
- *Pour l'élève qui ne comprend rien, essayez de réexpliquer ou de reformuler, sinon, il vous faudra réfléchir à la mise en place d'un dispositif d'aide ;*
- *Interrogez l'élève, même s'il ne lève pas le doigt ;*
- *S'il ne répond pas quand vous l'interrogez, réaffirmez qu'on a le droit de se tromper, que les élèves sont aussi là pour ça ;*
- *Valorisez-le quand il comprend, qu'il donne une bonne réponse ou qu'il fait un exercice juste ;*
- *Dites-lui en aparté, à la fin du cours, que vous savez qu'il ne croit pas en ses capacités, mais que vous, vous savez qu'il peut progresser ;*
- *Proposez-lui un dispositif d'aide par exemple un atelier de relais pour améliorer sa concentration et pallier les plus grosses lacunes. (Maury, 2008, pp.11-13)*

6. Contribution de la recherche à l'apprentissage et à l'évolution des sciences

6.1. Pour la recherche

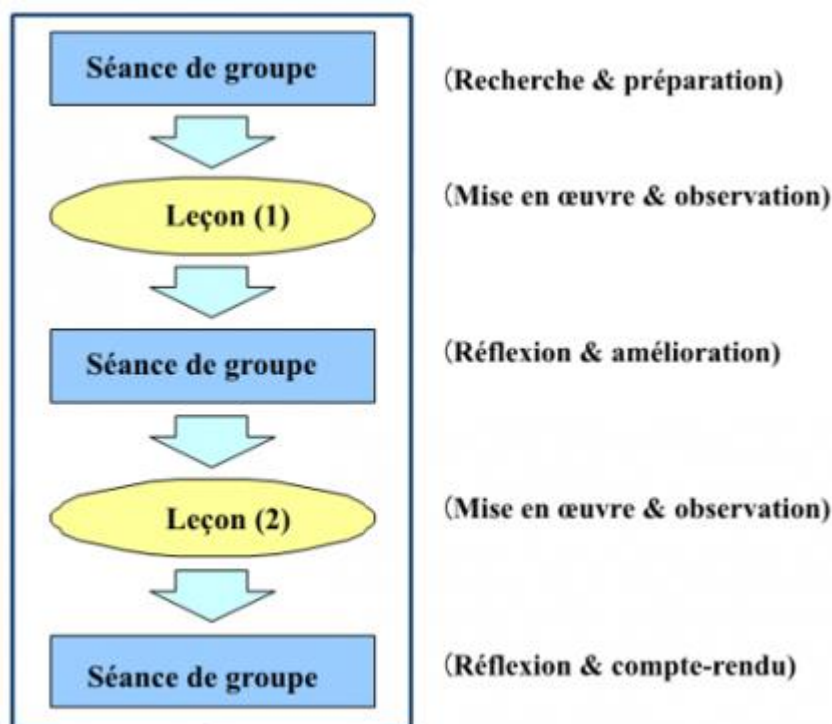
Les enseignants de sciences sont souvent rejetés par certains élèves du fait de la mauvaise réputation attribuée à la science par ces derniers, la conséquence est observée au niveau de leur orientation massive vers les séries littéraires. L'implémentation des étapes successives de la démarche d'investigation a donc permis de créer un environnement positif dans la salle de classe. Cette positivité installe la confiance individuelle de chaque apprenant et la conception alternative est remise en cause. La chimie est une science pratique, par ailleurs, l'enseignement apprentissage de cette discipline doit aussi être pratique. Les résultats de cette recherche ont révélé que l'enseignement apprentissage de la chimie basé sur la pratique contribue à l'évolution des conceptions alternatives et par conséquent, améliore significativement les performances scolaires.

Cette méthode essentiellement interactive employée dans ce travail contribue comme une nouvelle piste pour explorer les conceptions des apprenants surtout dans le contexte camerounais. Nous souhaiterions que cette démarche soit non seulement appliquée sur un échantillon plus considérable mais qu'elle soit aussi utilisée pour transposer d'autres concepts abstraits qui sont susceptibles d'identifier des conceptions alternatives différentes. Quel est l'apport de ces travaux dans l'enseignement apprentissage de la chimie ? L'exploitation des activités interactives basées sur les trames conceptuelles a permis aux apprenants d'appréhender le concept de mole. Alors, les enseignants sont interpellés à l'application des outils macroscopiques utilisés pendant l'expérimentation pour améliorer leurs pratiques dans l'enseignement de la mole. D'autres objets macroscopiques peuvent être adaptés pour enseigner la physique, les mathématiques et voir même la science de la vie et de la terre. En effet, les élèves du niveau troisième étant prêts à s'engager dans le choix des séries pour le second cycle, notre souhait le plus absolu est de minimiser les difficultés sur les concepts de base en science. Sur la base de ces résultats, fort est de constater que les difficultés sur le concept de mole semblent avoir un lien avec la mauvaise compréhension des notions qui s'imbriquent autour de lui telles que la quantité de matière, la masse molaire, la constante d'Avogadro ce qui conduit à suggérer la nécessité d'une recherche particulière sur l'apprentissage de la masse molaire.

Cette recherche nous a permis de cerner des difficultés rencontrées par les apprenants et leurs origines lorsqu'ils étudient la mole. Nous avons mis sur pied une stratégie basée sur la démarche d'investigation pour la remédiation. Ces difficultés sont situées dans la catégorie des conceptions alternatives et manque de connaissances. Nous suggérons qu'à travers ce travail, les enseignants de science physique instaurent au sein de leur département une étude de leçon impliquant la démarche d'investigation afin de mieux l'appliquer. L'étude de leçon est un dispositif mis sur pied par les japonais qui consiste à une préparation collective d'une leçon. Ce dispositif a des principes définis dans la figure 21 :

Figure 76

Cycle d'une étude collective d'une leçon (Clerc & Martin, 2011)



Plusieurs pays ont montré l'efficacité de ce dispositif comme déclarent Takeshi et Carl (2009) : « ...ce dispositif paraît avoir un potentiel considérable de transposition, comme l'expérience de plusieurs pays le montre »(p. 80). Cette étude de leçon peut aussi être appliquée sur les autres concepts en chimie. À cet effet, on pourra organiser des formations continues des enseignants dans le but de leur montrer l'impact d'une étude de leçon sur les contenus scolaires. Comme signalent certains auteurs : « ce dispositif a attiré notre attention parce qu'il semblait pouvoir répondre aux questions que suscite la formation des enseignants » (Clerc & Martin ,2011, p.45). Cette étude de leçon permettra un renouvellement des pratiques de l'enseignement des concepts abstraits comme le concept de mole.

6.2. Pour l'enseignement des sciences

Cette recherche est bénéfique premièrement aux enseignants de chimie en ce sens qu'elle apporte une nouvelle manière d'aborder le concept de mole. De plus, elle a permis d'éclaircir la nature abstraite de ce concept en proposant un enseignement basé sur la manipulation des objets macroscopiques puisqu'il semble être la procédure la mieux adoptée

pour faciliter la compréhension des entités microscopiques. Pour mettre en œuvre cet enseignement, nous avons adopté la démarche d'investigation qui place l'apprenant dans les circonstances où il est le propriétaire de son apprentissage. Deuxièmement à la communauté scientifique dans la mesure où elle présente un outil indispensable pour rendre efficace les séquences d'enseignements au secondaire. Cet outil permet à l'enseignant d'expérimenter la transposition didactique en transformant les savoir-savants en savoirs enseignés puis en savoir à enseigner. À cet effet, les fruits de ladite recherche sont liés au processus d'enseignement apprentissage de la chimie au Cameroun. À travers cette intervention active, nous avons observé une évolution significative des performances des élèves par le biais des résultats du post-test.

Les principes de la démarche d'investigation montrent que c'est une approche qui met en lumière l'autonomisation de l'apprenant. La DI contribue au développement des réflexes des élèves à travers les activités d'apprentissage proposées par l'enseignant. Elle met en exergue une pédagogie innovante au profit de la pédagogie transmissive où l'apprenant est un simple passif qui a pour devoir d'écouter le maître. Les étapes de la démarche d'investigation montrent une compatibilité avec certains principes de l'approche par les compétences, une approche en vigueur dans la formation enseignante au Cameroun qui permettra aux enseignants de mieux s'adapter et s'intégrer à cette nouvelle approche.

Notre souhait le plus absolu est que cette recherche puisse amener les acteurs de l'éducation à prendre acte de nos remarques dans les prochaines révisions du curriculum (Intégration d'une étude épistémologique de certains concepts chimiques, prévoir les expériences pour des notions abstraits) surtout quand nous savons que dans le système éducatif camerounais de l'Enseignement Secondaire Général section francophone, l'enseignement magistral est plus dominant et est le plus utilisé par les enseignants qui présentent un handicap quant à l'utilisation du matériel didactique de récupération tiré de l'environnement de l'apprenant. Par ailleurs, l'apprentissage n'est pas contextualisé et l'apprenant ne perçoit pas l'intérêt du savoir à acquérir. Ainsi, la science est considérée comme un mystère. Les recherches en didactique reconnaissent que lorsque le matériel didactique est adapté au contexte de l'apprenant, le pourcentage des conceptions alternatives des apprenants diminue et leur capacité de raisonnement scientifique augmente (Cormier, 2014). La priorité dans cette démarche est qu'elle laisse la possibilité à l'apprenant de faire des prédictions. En effet, l'apprenant saisit de manière scientifique la situation en face ; ceci contribue à stimuler la capacité de raisonnement des élèves. Elle constitue un moyen efficace

pour construire la connaissance scientifique en ce sens où l'étape de l'émission des hypothèses permet à l'apprenant d'explorer ses conceptions pour une bonne exploitation paisible par l'enseignant.

Cette étude nous a permis de toucher du doigt les difficultés qu'ont les enseignants quant à rendre leurs enseignements interactifs. Sur la base des résultats de notre recherche, il apparaît clair que les élèves qui ont suivi un enseignement par la démarche d'investigation ont de meilleures scores. Ce travail de recherche a aidé les apprenants à consolider leurs acquis et aidera les enseignants à mieux structurer leurs cours. Ces résultats obtenus établissent un lien entre le mode de transposition et les performances des apprenants sur le concept de mole. Au regard des théories explicatives convoquées et selon la théorie socioconstructiviste, la théorie de la cognition située, la théorie de l'apprentissage expérimental, la théorie d'apprentissage par la découverte, il en ressort que les performances scolaires des élèves sont favorisées par le travail en groupe ; ceci donne le privilège à chaque élève d'exprimer ses idées vis-à-vis du problème posé, d'être ouvert à la proposition des autres élèves, de travailler ensemble pour arriver à un résultat commun. Nous retenons que le travail collaboratif renforce fortement l'apprentissage.

Quant au modèle allostérique, il suggère d'identifier les conceptions des élèves et les prendre en compte comme cela a été le cas dans cette étude à travers un pré-test. En prenant en compte ces conceptions dans l'apprentissage, l'apprenant mettra ses erreurs en cause. C'est à ce niveau qu'on observe la coexistence des conceptions alternatives et les connaissances acceptées par les scientifiques. Ces connaissances scientifiques peuvent être subjectives (propres à un individu) ou objectives (communes à un groupe). L'enseignant, dans cette posture, joue le rôle de « facilitateur des apprentissages », de « médiateur ». L'enseignant n'est plus considéré comme le fournisseur du savoir. Il est un guide, c'est-à-dire celui qui oriente les apprenants dans la construction de leurs propres connaissances.

Sur la base des résultats obtenus, nous suggérons aux enseignants et à tous ceux qui s'intéressent à la recherche en didactique des disciplines, d'explorer davantage cette approche active dans d'autres disciplines.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les difficultés d'apprentissage des apprenants du premier cycle secondaire au Cameroun en sciences sont nombreuses. En chimie, ces difficultés conduisent ces apprenants à procéder à des explications irrégulières sur le comportement et la nature de la matière. De nombreux chercheurs en didactique se sont intéressés à ces difficultés quant à l'enseignement apprentissage de la mole. Dans le contexte camerounais, ce concept n'est pas enseigné de manière détaillée à cause de l'utilisation d'une approche inadéquate dans les manuels scolaires. Ce manuel ne prend pas en compte le fait que le concept n'est pas mesurable. On relève aussi le manque de connaissances épistémologiques et des lacunes observées dans le programme officiel. Les recherches montrent également que l'enseignement du concept est fondé uniquement sur l'aspect quantitatif qui centre les objectifs sur la résolution des exercices. Cependant, poser la bonne formule du cours pour une bonne application numérique ne reflète pas toujours l'assimilation du concept. La diversité des approches choisies par les enseignants et la rareté du matériel didactique destinée à l'éducation des plus jeunes en sont la cause. L'enseignement du concept de mole doit considérer son aspect quantitatif et son aspect qualitatif vu que la méconnaissance de l'un constitue un frein pour sa compréhension comme le signifient certains auteurs. « L'enseignement de la mole qui ne tient pas compte de ses deux aspects qualitatif et quantitatif, de l'évolution socio-historique du concept et évidemment des erreurs sémantiques risque de provoquer des obstacles didactiques chez les élèves » (Halloun, 2019, p. 202). À cet effet, la prise en compte et l'établissement du lien entre les trois registres du savoir en chimie sont indispensables.

Pour y parvenir, il était question pour nous de montrer l'impact d'un apprentissage basé sur l'utilisation de la démarche d'investigation comme mode de transposition didactique pour amener les apprenants du niveau 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général francophone à construire le concept de mole. Cette recherche de thèse a conduit à répondre à des questions de recherche pertinentes pour la didactique de la chimie.

En effet, la question principale que nous nous sommes posées est la suivante : Quelle est l'influence de la démarche d'investigation sur les difficultés que les apprenants des classes de 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général au Cameroun rencontrent lorsqu'ils conceptualisent le concept de mole ? La réponse à cette question principale de recherche est l'hypothèse générale de ce travail. Elle est le postulat selon lequel l'apprentissage basé sur la démarche d'investigation permet de surmonter les difficultés que les apprenants des classes de 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général au Cameroun rencontrent lorsqu'ils

conceptualisent le concept de mole. Pour prouver cette hypothèse, notre stratégie de vérification a consisté en l'expérimentation auprès des élèves de troisième.

Nous avons choisi dans un premier temps d'identifier les difficultés des élèves camerounais et leurs origines sur la mole à base d'un questionnaire papier crayon. Pour ce fait, un pré-test constitué d'un questionnaire à deux paliers a été administré. Ce questionnaire portait sur les savoirs scolaires en lien étroit avec les objectifs visés par le programme officiel sur l'enseignement du concept de mole.

Les résultats obtenus au pré-test ont montré que les apprenants rencontrent les difficultés liées aux conceptions alternatives lorsqu'ils doivent mobiliser les connaissances pour résoudre un problème sur le concept de mole. On peut citer entre autres la confusion conceptuelle entre la constante d'Avogadro (N_A) et l'élément sodium (Na), la non maîtrise de la formule liée au calcul du nombre d'entités élémentaires, la confusion conceptuelle entre la masse et la quantité de matière. Il ressort aussi que les difficultés conceptuelles auxquelles ils sont confrontés sont aussi dues à un manque de connaissances sur la mole en général. Cormier (2014) parle de carence, soit à un mauvais agencement des connaissances antérieures ou encore à une fragmentation. Ces résultats du pré-test corroborent avec les écrits antérieurs d'où la validation de notre première hypothèse à savoir : les apprenants des classes de 3^{ème} de l'Enseignement Secondaire Général au Cameroun rencontrent les difficultés d'ordre didactique, de manque de connaissances lorsqu'ils répondent aux questions sur le concept de mole.

Même si ces conceptions alternatives des élèves ont déjà été l'objet des recherches en didactique des sciences, rien n'a encore été réalisé sur les élèves et les étudiants camerounais, qui par ailleurs, présentent un environnement éducatif différent. Nous avons choisi parmi les élèves ayant pris part au pré-test ceux devant participer à l'expérimentation. Ils ont été réparti en deux groupes : le groupe expérimental et le groupe témoin où les activités conçues ont été implémentées. Le groupe témoin a été soumis à une activité d'apprentissage tirée dans le manuel scolaire camerounais et le groupe expérimental a été soumis aux activités portant sur la construction du concept de mole que nous avons proposées : manipuler les entités macroscopiques (grains de riz et grains de soja). Après, une analogie a été faite avec les entités microscopiques. À la fin, nous avons mesuré à l'aide du même questionnaire l'impact de ces activités sur les scores des élèves. Ces scores sont basés sur le calcul des fréquences des choix au premier palier et l'analyse didactique de leur production au deuxième palier.

Les résultats du post-test révèlent que contrairement à l'apprentissage utilisant la méthode classique, l'apprentissage fondé sur la démarche d'investigation améliore de façon significative les performances des apprenants du niveau 3^{ème} qui avaient les difficultés d'apprentissage sur les notions qui s'imbriquent autour de la mole d'où la validation de la seconde hypothèse à savoir : le processus d'enseignement apprentissage basé sur l'émission des hypothèses suivi de l'expérimentation dans un contexte socioconstructiviste améliore les performances des apprenants lorsqu'ils sont de nouveau évalués sur le concept de mole.

Dans cette étude, les résultats auxquels nous sommes parvenus ont permis de tirer la conclusion selon laquelle un apprentissage basé sur l'utilisation de la DI permet aux élèves camerounais du niveau 3^{ème} de l'enseignement secondaire section francophone de faire évoluer leurs conceptions alternatives lorsqu'ils sont confrontés aux exercices en lien avec la mole. Ces résultats mettent en lumière une nouvelle approche pouvant être exploitée par les enseignants comme stratégie de remédiation pour les élèves en difficulté dans le contexte camerounais. Elle facilite en même temps l'apprentissage au niveau des apprenants.

INTÉRÊT DE LA RECHERCHE

Cette recherche met en exergue un outil efficace pour répertorier les conceptions des apprenants (questionnaires à deux paliers) contrairement à l'outil constitué à un seul palier et peu efficace dans la recherche et où les résultats ne sont pas toujours fiables. L'outil à deux paliers permet de catégoriser les productions des apprenants afin de planifier les activités de remédiation. Il est important d'utiliser cette approche à d'autres concepts pour prouver d'avantage son efficacité.

Le matériel utilisé servira d'outil didactique de référence pour aborder la leçon sur le concept de mole. Il est important pour les acteurs de le consulter pour améliorer leur séance d'enseignement. Ce travail consistera à provoquer la curiosité des apprenants et celle des enseignants de chimie et les incitera à utiliser les méthodes d'enseignement appropriées dans le processus d'enseignement apprentissage au profit d'une transmission où l'élève est un destinataire. Cette recherche fera accroître l'intérêt pour l'apprentissage de la chimie. Elle a contribué à améliorer les performances des élèves et a révélé un certain nombre de problèmes qui suscitent des difficultés des apprenants dans l'apprentissage de la chimie en général et de la mole en particulier, notamment la méthode d'enseignement inappropriée. En outre, la maîtrise de l'origine des difficultés courantes des élèves permet à l'enseignant de prendre du recul pour mieux organiser son enseignement de façon à les surmonter. Il est indispensable pour l'enseignant d'y faire recours ponctuellement pendant la préparation des leçons. La recherche a montré également qu'une transmission de type magistral de la chimie en général et de la mole en particulier n'aide pas les élèves à surmonter leurs difficultés pour avoir accès aux connaissances scientifiques.

– Limites de cette étude

À l'issu des résultats obtenus dans les deux groupes, plusieurs difficultés conceptuelles ont été identifiées et des suggestions pour l'enseignement de la mole qui pourraient conduire à l'amélioration des habiletés d'explication et de prédiction des élèves ont été présentées. Malgré tous ces atouts, nous ne saurons sortir de là sans relever quelques limites. La démarche d'investigation est une approche active mais elle nécessite assez de temps dans sa mise en œuvre pour atteindre des objectifs escomptés. Nous avons donc fourni assez d'efforts pour mieux dérouler notre expérimentation. Cette approche nécessite également une formation continue pour les enseignants non chercheurs. Nous savons aussi

que le questionnaire à plusieurs paliers (deux pour notre cas précis) est très sollicité par de nombreux de chercheurs (Othman, Treagust & Chandrasegaran, 2008) a ses exigences surtout quand le deuxième palier est conditionné par la production d'une justification des apprenants. Pour catégoriser ces productions de façon optimale, l'utilisation d'un logiciel est souvent sollicitée. L'absence de ce logiciel approprié a été pour nous un handicap pour caractériser la fiabilité de notre questionnaire.

– **Les difficultés rencontrées**

La principale difficulté est basée au niveau de l'expérimentation ; comme nous l'avons signalé plus haut, dans chaque établissement, il fallait scinder une salle de classe en deux groupes. Certains établissements ne disposaient pas assez de salles pouvant contenir un autre groupe. Dans une telle situation, il fallait soit attendre à la sortie des classes pour espérer trouver une salle vide, soit réaliser le test en deux temps et cela n'était pas du tout évident.

BIBLIOGRAPHIE

- Aborah, M. (2019) Improving the performance of 2 science 2 students of Simms Senior High School in mole concept using some activity methods.
- Adjaho, M., Oko, S. E. & Boko, G. (2020). État des lieux sur les travaux pratiques dans l'enseignement apprentissage en sciences expérimentales au Bénin : étude de cas dans la commune de Dangbo. *Actes du deuxième colloque de l'association de didacticiens des mathématiques africains*.
- Adu-Gyamfii, K. & Vorsah, R. (2021). High school chemistry teachers' perspectives and practices on teaching mole concept. *European Journal of Education Studies*. ISSN : 2501-111. ISSN-L : 2501-111.
- Aime, k. R., (2022). Les théories d'apprentissage et leurs touches dans l'éducation. HALO03741628.
- Ahmad, N. J., Ishak, N. A. & Bunyamin, M. A. H. (2019). Learning demand and classroom discourse design tools to improve students' conceptual understanding of the nature of electrolytes. *Asia Pacic Journal of Educators and Education*, 34, 187–218. <https://doi.org/10.21315/apjee2019.34.10>.
- Aldebert, B. & Rouziès, A. (2011). L'utilisation des méthodes mixtes dans la recherche Française en stratégie : constats et pistes d'amélioration. *Communication dans un congrès XXème Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique*, Jun 2011, Nantes, France. AIMS.
- Ali, O., Benzidia, B., Hajar, A. A., Mohammed, A. (2021). Identification des difficultés des apprenants du secondaire collégial marocain dans l'apprentissage des concepts de transformation chimique – transformation physique. *European Journal of Education Studies*, 8.
- Al-Kunifed, A. Good, R., Wandersee, J. (1993). *Investigation of high school chemistry students concepts of chemical symbol, formula and equation: students prescientific conceptions*. ERIC Document, ED376020.
- Ambomo, N. A. (2022). *Conceptions des apprenants sur la conduction électrique dans une pile électrochimique : comparaison de deux séquences d'enseignement/apprentissage sur la conceptualisation du phénomène par les*

- apprenants de classe de Première scientifique* [Thèse de doctorat non publiée].
Université de Yaoundé 1.
- Ambomo, N., Ayina Bouni & Owono Owono, L.C. (2021). Conceptions et représentations :
Quelle épistémologie pour l'enseignement des sciences expérimentales ? *Revue
internationale des sciences de l'éducation*.
- Amade-Escot, C. & Venturini, P. (2008). Analyse de situations didactiques : Perspectives
comparatives. *Presse université de Mirail*. [www.persee: fr/issue/dsedu-1296-2104-2008.num-20-1](http://www.persee.fr/issue/dsedu-1296-2104-2008.num-20-1) ;
- Andersson, B. (1990). *Conceptions des élèves sur la matière et ses transformations (12-16
ans)*, *Études dans l'enseignement des sciences*. 18, 53–85.
- Anderson, J. R. (2004). *Cognitive psychology and its implications* (6th ed.). New York, NY:
Worth Publishers.
- Ansah, O. F., Amoako, K. S., Baah, A. K., Boachie, S., & Kwarteng, C. (2018). Using
Constructivist Approach to Enhance Understanding of Mole Concept among
Second Year Students in Chemistry at Adobewura Senior High School in
Ashanti Region, Ghana. *International Journal of Scientific Research and
Management*.
- Asiana, B. & Kasompo, D. (2019). Effect Of Concept Mapping On Learner Achievement On
Mole Concept ; *International Journal of Advanced Research and Publications*
ISSN: 2456-9992.
- Asamoah, R. (2016). *Brightest and best elective chemistry for senior high school*. (Eighth
edition p. 176). Kumasi.
- Astolfi, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. ESF éditeur.
- Astolfi, J.-P. (1998). *Les malentendus scolaires*. Paris: ESF.
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la
didactique des sciences* (2e éd.). De Boeck Université.
- Astolfi, J. C. & Peterfaivi, B. (1993). Obstacle et construction de situations didactiques en
sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141.
- Astolfi, J. P., Darot, E., Ginsburger, Velleogel, Y. & Toussaint, J.(2008). *Les mots clés de la
didactique : repères, définitions*, Bibliographies. Bruxelles : De Boek Université.

- Audigier, F. (1998). Savoirs enseignés -savoirs savants. Autour de la problématique du colloque. *Dans troisième rencontre et sociales. Actes du colloque paris INRP*,1988 pp.45-52.
- Awono Ateba, J. & Ayina Bouni. (2021). Structuration des contenus dans les programmes de chimie du second cycle secondaire camerounais de 1960 à 2013. Quel impact sur les pratiques enseignantes ? *Revue internationale des sciences de l'éducation*,1 ;
- Ayina Bouni & Soudani, M. (2007). *Analyse des simulations de la conduction électrique dans les piles électrochimiques : avantages, inconvénients et impact sur ce phénomène par les élèves* [mémoire non publiée, Université Claude Bernard Lyon I].
- Ayina Bouni, J.-P. (2013). *Les concepts élémentaires de la chimie entre la chimie du chimiste et la chimie de l'élève : proposition de séquences d'enseignement inspirées d'une analyse sémio-épistémologique de l'histoire de la chimie*. [Thèse de doctorat non publiée]. Université Claude Bernard Lyon 1.
- Ayina Bouni, Mouliom Ndam, Potvin, P., Ntede Nga. (2021). Enseignement-Apprentissage du concept de concentration en chimie : Quel impact pour une remédiation impliquant le contrôle inhibiteur ? *RISEY*,1, 104-140.
- Ayoberd, S. & Yaayin, b. (2018). The Effectiveness of Problem-Based Learning Approach to mole Concept among Students of Tamale College of Education: *Journal of Education and Practice* www.iiste.orgISSN 2222-1735 (Paper) ISSN 2222-288X (Online)Vol.9, No.12.
- Ayrinhac, M. & Bru, A. (2019). Les conceptions initiales des élèves en sciences. *Education* 2019. *Dumas-02570848*.
- Azcona, R., Furio, C. & Guissassola, F. (2000). Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education* · December 1284 DOI: 10.1080/095006900750036262.
- Babić-Kekez, S., Hrin, T., Milenković, D. & Segedinac, M. (2013). Application of systemic Approach in Initial Teaching of Chemistry: Learning the Mole concept. *Croatian Journal of Education*,16; *Sp.Ed.No.3/2014* 175-209. Preliminary communication. Paper submitted: 11th October 2012. Paper accepted: 3rd October 2013.

- Bachelard, G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique* PUF, Paris.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. J. VRIN.
- Bachelard, G., (2012). *Sciences imaginaire, représentation : Le bachelardisme aujourd'hui* .
www.persee.fr/issue/cgbac_1292-2765_2012_n_12
- Bachelard, G. (1943). *L'air et les songes. Essai sur l'imagination du mouvement*. Paris : Librairie José Carti.
- Badara Sy. (2001), *Rôle de l'environnement social dans l'apprentissage de la physique. Exemple du changement conceptuel en classe de seconde*. Mémoire inédit : Département de science physique, Ecole Normale Supérieure de Dakar (Sénégal), 2001.
- Bany, M.A. & Johnson, L.V. (1970). *Dynamique des groupes et éducation. Le groupe classe*. Revue française de pédagogie\1970\13\PP.53-55.
- Barlet, R. (1999). L'espace épistémologique et didactique de la chimie. Laboratoire Interdisciplinaire de Didactique des Sciences Expérimentales Bâtiment Chimie. *Recherche BP 53 - 38041 Grenoble Cedex 9*.
- Barlet, R. & Plouin, D. (1994). L'équation-bilan en chimie. Un concept intégrateur source des difficultés persistantes. *Aster*, n°18, 27-55. <https://doi.org/10.4267/2042/8597> ;
- Bechard, J.P. (2012). *Mieux comprendre l'apprentissage expérientiel*. https://www.hec.ca/daip/compte_rendu_evènement/journées-pédagogie/présentation_JPB.pdf.
- Bearden, J. A. (1965). *Selection of $w_{ka\alpha_1}$ as the x-ray wavelength standard*. Phys. Rev. B,137,445-461.
- Becker, P. (2001). History and progress in the accurate determination of the Avogadro constant. *Rep. Prog. Phys.*64, 1945–2008. (doi :10.1088/0034-4885/64/12/206).
- Bélangier, M. (2008). *Du changement conceptuel à la complexification conceptuelle dans l'apprentissage des sciences*. [Thèse de Doctorat PhD en Sciences de l'éducation option didactique]: Université du Montréal.
- Bélangier, M. & Verreault, J.-S. (2000). Les conceptions des élèves à propos de la mole. *Recueil de textes Didactique des sciences*, 17.

- Ben, A. & Boilevin, J. (2016). Impact de la démarche d'investigation par simulation des ondes mécaniques sur le raisonnement des élèves. *l'ARDiST*, LENS.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S., Silberstein, J. (1987). Visualisation par les élèves d'une réaction chimique. *Education en chimie*, 24(4), 117-120, 109.
- Benzidia, B., Alioua, H. A., Ouasri, A., Abid, M. (2021). *Identification des difficultés des apprenants du secondaire collégial marocain dans l'apprentissage des concepts de transformation chimique – transformation physique*. *European Journal of Education studies*, 8(3), pp. 246-265. <https://doi:10.46827/ejes.v8i11.3991>.
- Boilevin, J.-M., Brandt-Pomares, P., Givry, D. & Pedegrosa, A. (2012). *L'enseignement des sciences et de la technologie fondée sur l'investigation – Étude d'un dispositif collaboratif entre enseignants de collège et chercheurs en didactique*. Dans B. Calmettes(Ed). *Didactique des sciences et démarche d'investigation*. Paris : L'Harmattan.
- Boilevin, J.-M., & Morge, L. (2020). Enseigner les sciences par investigation. Grenoble: *Presses Universitaires de Grenoble*.
- Bouchut F., cuisiniez F. & Tronchet J. (2020), *La boîte à outil des formateurs, outil 25. La méthode par découverte*. 4^{ème} édition Duodi.
- Bronckart, J.P. & Giger, I.P. (1998). *La transposition didactique histoire et perspectives d'une problématique fondatrice*. *Pratique N97-98* PP. 35-58.
- Brousseau, G. (1983). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *RDM.vol 4.2* p.164-198.
- Brousseau, G. (1988). Le contrat didactique: Le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 309–336.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques. La pensée sauvage*. Grenoble. L'enseignement des sciences. Springer Science+Business Media. DOI 10.1007/978-1-4020-8872-8.
- Brown, D. A. (1982). Reading diagnosis and remediation. *Englewood cliffs.Nj : prentice. Hall*,385 pp.22-95 *Psychology in the schools*, 21. *Reviews of the littérature*.
- Bruner, J. S. (1959). *The process of Education*. Havard univer. Press.
- Buès, C. (2000). Histoire du concept de mole (1869-1969) à la croisée des disciplines physique et chimie. *Actualité chimique*, 39-42.
- Bureau International des poids et Mesures. (2018). Resolution 1 of the 26th CGPM on the revision of the International System of Units (SI). <http://www.bipm.org/en/committees/cg/cp/gm/26-2018/resolution-1>.

- Bureau International des poids et Mesures. (2019). Le système international d'unités. 9e édition, BIPM, 2019, <http://doi.org/10.59161/AUEZ1291>.
- Bulletin Administratif du Ministère de l'Instruction Publique (1898). Circulaire relative à l'enseignement scientifique et agricole dans les écoles normales, n°1312.
- Bulletin Administratif du Ministère de l'Instruction Publique (1898). Circulaire relative à l'enseignement scientifique et agricole dans les écoles normales, n°1312.
- Calmettes, B. (2008). Analyse d'un dispositif de formation à l'enseignant en sciences par démarche d'investigation. *Didackalia*, 33, 109-136.
- Calmettes, B. (2009). Démarche d'investigation en physique. *Spirale - Revue de Recherches en Éducation*.
- Calmette, B. (2009). Milieu didactique et démarche d'investigation [Conférence]. *Actes du premier Colloque International de l'ARCD « Où va la didactique comparée ? »*. Genève : ARCD. Bernard.
- Canac, S. (2017). *Le langage symbolique de la chimie en tant que méta-niveau entre registre empirique et registre des modèles : Une problématique de l'enseignement-apprentissage de la chimie* (Thèse de doctorat, Université Paris Diderot – Paris 7, Laboratoire de Didactique André Revuz).
- Canac, S. (2020). Registre symbolique de la chimie : Difficultés d'apprentissage. *Cultures sciences.chimie.ens.fr*.
- Canac, S. & Kermen, I. (2016). Exploring the mastery of French students in using basic notions of the language of chemistry. *Chemistry Education Research and Praticce*, 17(3), 452-473. <http://dx.doi.org/10.1039/C6RP00023A>.
- Cariou, J. Y. (2013). Démarche d'investigation : en veut-on vraiment ? Regard décalé et proposition d'un cadre didactique. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies* n°7,2013, p. 137-166.
- Carmen, J. P., & Giunta, C. J. (2000). The mole concept : A conceptual analysis. *Journal of Chemical Education*, 77(4) 505-507. <https://doi.org/10.1021/ed077p505>.
- Case, M. & Fraser, M. (1999). Activities to Enhance understanding of the mole and its use in ChE. *Chemical Engineering Education*.
- Chalmers, A. F. (1997). *Qu'est-ce que la science ?* (L. Découverte, Éd.). Sciences et Société.
- Chakour, M. (2021). Contribution à l'amélioration d'acquisition de concepts en l'électricité chez les lycéens marocains. *DOI* : 10131/RG22.195036160.

- Charron, Raby, (2016). *Apprentissage expérientiel. Synthèse sur le socioconstructivisme* (2^e éd.). Dans C. Raby & S. Viola (dirs.), *Modèles d'enseignement et théories d'apprentissage* (100-123). Les éditions CEC.
- Chastrette, M. & Cros, D. (1985). Enquête sur la maîtrise de la notion de mole et son évolution entre 16 et 20 ans. *L'actualité chimique*, 69-76,1985.
- Cheikh, F. & Thouin, M. (2017). Les difficultés d'enseignement et d'apprentissage en sciences et technologiques au secondaire : Quelques pistes pour les surmonter.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, France: La Pensée sauvage. (Réédition augmentée : 1991).
- Chevallard, Y. & Joshua, M. A. (1991). *La transposition didactique du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La pensée sauvage. IREM d'Aix Marseille
- Chevriers, J., Fortin G., Leblanc R. & T'héberge M. (2000). Problématique de la nature du style d'apprentissage. *Education et francophonie*,28(1),3-19.
- Chong, S. H. (2016). Wither the Concepts of Mole and Concentration: Conceptual Confusion in Applying $M1V1 = M2V2$. *Universal Journal of Educational Research* 4 (5): 1158-1162, 2016 DOI: 10.13189/ujer.2016.040527
- Chong, S. H., Goolamally, N. & Leong, K. E. (2019). Post-secondary Science Students' Understanding on Mole Concept and Solution Concentration. *Universal Journal of Educational Research* 7(4) : 986- DOI : 10.13189/ujer.2019.070410.
- Christian, K. & Talanquer (2012) : Mode de raisonnement dans les groupes d'étudiants auto-initiés en chimie. *Education, recherche, pratique*, 286-295.
- Cina, A. (2011). Le modelé allostérique facteur de changement conceptuel apprendre en science (*le cite*).
- Clement, P. (1991). Sur la persistance d'une conception : La tuyauterie continue digestion-excrétion. *Aster*, 13, 133-135.
- Clerc, A. & Martin, D. (2011). L'étude collective d'une leçon, une démarche de formation pour développer et évaluer la construction des compétences professionnelles des futurs enseignants : *Revue internationale de Pédagogie de l'enseignement supérieur* : Vania.
- Clers, J. B., Mider, P. & produit, G. (2006). La transposition didactique.
- Cochran, W.G. (1977). *Sampling Techniques*. 3rd Edition, John Wiley & Sons.
- Cormier, C. (2011). *Apprendre: Processus cognitifs et stratégies*. Québec: *Presses de l'Université du Québec*.

- Cormier, C. (2013). *Les conceptions en géométrie moléculaire d'étudiants de sciences de la nature. Modes de raisonnement et diagnostic de conceptions alternatives fréquentes en chimie* [Conférence]. Communication présentée à NARST Annual International Conference, San Juan, Puerto Rico.
- Cormier, C. (2014). *Étude des conceptions alternatives et des processus de raisonnement des étudiants de chimie du niveau collégial sur la molécule, la polarité et les phénomènes macroscopiques* [Thèse de doctorat, Université de Montréal].
- Coquidé, M., Fortin, C. & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*.
- Cossette, N. (1999). Les conceptions des élèves de quatrième secondaire en sciences physiques 416 et 436. *Université du Québec en abitibi-témiscamingue comme exigence partielle de la maîtrise en éducation* (M.ED.).
- Creswell, J. W. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Cross, D. & Grangeat, M. (2014). Démarches d'investigation : analyse des relations entre contrat et milieu didactiques. *Recherche en didactique des sciences et des technologies*, 82-155.
- Dalton, J. (1808). *A new system of chemical philosophy* (Vol. 1). Manchester : R. Bickerstaff
- Dandjinou, R. G., Ahodegnon, Z., Dognon, M., Kouakou, I. & Yayi, E. (2019). Les difficultés Conceptuelles des élèves de terminale à propos de la concentration molaire. *Revue. Acares.net*.
- Deboué, F., Fadanka, E., Kouam, P., Mbiamy, G., Ndongo, B., Ngafi, G., Nono, E., Petko, F., Samain, T., & Tchokote, S. (2014). *Physique-Chimie-Technologie en 4^{ème} et 3^{ème}*. Collection Dewatek. Edition TINCYD.
- Déhon, J. (2018). *L'équation chimique, un sujet d'étude pour diagnostiquer les difficultés d'apprentissage de la langue symbolique des chimistes dans l'enseignement secondaire belge. Développement d'une séquence de leçons en s'appuyant sur un modèle des niveaux de signification* [Thèse de doctorat, Université de Namur]. researchportal.unamur.be.
- Dehon, J., Snauwaert, P. (2011). (2011). Vers une nouvelle approche de l'apprentissage de l'équation de réaction. *FUDP Namur*.
- Dehon, J., Snauwaert, P. (2015). L'équation de réaction : une équation à plusieurs inconnues. Étude de productions d'élèves de 16-17 ans (grade 11) en Belgique francophone. *RDST*, 12, pp. 209-235. <https://doi.org/10.4000/rdst.1174>.

- Delahaie, J. (2019). Place de la démarche d'investigation dans le développement de l'autonomie des élèves de CE2. *Education*. 2017. dumas-02084796.
- Déniel, A. (2018). La démarche d'investigation en cours de mathématiques a-t-elle une influence sur la motivation des élèves ? *Université de Nantes*.
- Deslattes. R., Hennis, A., Bowman, h., Schoonover R., Carroll, C., Barnes, I., Moore, L., Schields, W. (1974). Determination of the Avocado constant. *Physical Review Letters*, 33, 463 <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.33.463>.
- Develay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, n°8 p.3 15 : DOI :10.4267/2042/9152.
- De Vecchi, G., Giordan, A. & Martinand, J.L. (1989). *L'enseignement scientifique. Comment faire pour que ça marche ?* Nice, Editions.
- Diers, W. (1981). Teaching the particle concept of matter. *Science Education*, 65(4), 387-395. <https://doi.org/10.1002/sce.3730650406>
- Dimarcq, M. (2009). Les recherches sur la pratique de la démarche d'investigation. Master recherche didactique des sciences et des techniques.
- DiSessa, A. (1993). *Toward and epistemology of physics*. *Cognition and Instruction*, 10(2/3), 105-225.
- Driver, R. & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Ducamp, C. & Rabier, M. (2007). *Didactique des sciences physiques et chimiques*. Paris : Hachette Education.
- Ducamp, C., Navapro, N., Cross, D., Pelissier, L. & Rabier A. (2022). L'enseignement de la notion de la quantité de matière dans le secondaire "Reflète physique" n°62 revue de la SFP.
- Duclos, G. (2006). La démarche d'investigation.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), pp. 671-688. <https://doi:10.1080/09500690305016>.
- Dumon, A., & Laugier, A. (2004). L'équation de réaction : Un nœud d'obstacle difficilement franchissable. *Chemistry Education ; research and practice*. vol.5.No.1, pp.51-68
- Eastes, R. E. (2003). *Processus d'apprentissage, savoirs complexes et traitement de l'information : Un modèle théorique à l'usage des praticiens, entre sciences*

- cognitives, didactique et philosophie des sciences*. Université Panthéon – Sorbonne-Paris I, 2013. Français <NNT : 2013PA010593>. <tel.00904561 >
- Einstein, A. (1906). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17, 891–921.
- Eurydice (2006). L'enseignement d'une matière intégrée à une langue étrangère à l'école en Europe. *Bruxelles. Commission Européenne*.
- Eurydice. (2011). *L'enseignement des sciences en Europe : Politiques nationales, pratiques et recherche*. Agence exécutive : Éducation, Audiovisuel et Culture (EACEA P9 Eurydice). Consulté en ligne : <http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice>
- Faizal, w. w. M., Helmi, E., Azilawaty, N., Nurulamirah & Nurshuhada N. (n. d.). students' alternative conceptions regarding the mole concept: [https://www.academia.edu/9549697/ A literature review](https://www.academia.edu/9549697/A_literature_review).
- Fang, S. C., Hart, C. & Clarke, D. (2016). Identifying the critical components for a conceptual Understanding of the mole in secondary science classrooms, *Journal of Research in science teaching*, 53(2) 181-214.
- Ferguson, R. & Bodner, G. (2008) : Making sense of the arrowpushing formalism among chemistry majors enrolled in organic chemistry, *Chem. Educ. Res.Prac.* 102-113
- Fugelsang, J. A., & Dunbar, K. (2005). Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 43(8), 1204–1213.
- Fumaroli, M. & Gautier, M. (2018). *Étude didactique de l'enseignement de la quantité de matière en seconde générale et technologique*. Education. 2018. ffdumas-01973214 ff.
- Furió, C., Azcona, R., Guisasola, J. & Ratcliffe, M. (2000). Difficulties in teaching the concepts of « amount of substance » and « mole ». *International Journal of Science Education*, 22(12).
- Furió-Mas, C., Azcona, R. & Guisasola Aranzábal, J. (2002). The learning and teaching of the concepts « amount of substance » and « mole » : *A review of the literature. Chemistry Education : Research and Practice*, 3(3), 277- 292.
- Furió-Más, C., & Padilla, M. J. (2007). Connecting the macroscopic and microscopic worlds in science learning. *International Journal of Science Education*, 29(1), 1–23.
- Gandit, M. & Grangeat, M. (2016). Démarche d'investigation et évaluation formative en classe de sciences, mathématiques et technologie : l'aire du Parc (ressource enseignant). *Projet européen ASSIST-ME et LéA EvaCoDICE*.

- Gandillet, E. & Le-Marechal, J.-F. (2003). Conceptions et chimie des solutions ioniques. Acte de colloque aux 3èmes Rencontres scientifiques de l'ARDiST, 157-164.
- Gaudreau, L. (2011). Guide pratique pour créer et évaluer une recherche scientifique en éducation, *Guérin* : Québec.
- General Conference of Weights and Measures (1971). 14th Session, resolution 3. *Metrologia*8, 36. Bureau International des Poids et Mesures. *The International System of units, 8th edn. France : Bureau International des Poids et Mesures.*
- Gilbert, J. K., De Jon O., Justi, R., Treagust, D. & Van Driel, J. (2002) : Chemical education : Towards research-based practice, *Dordrecht : Kluwer*
- Gilbert, J.K. & Treagust, D. (2009). Représentations multiples dans l'enseignement de la chimie. *Modèles et Modélisation en science Education*. DOI 10.1007/978-1-4020-8872-8.
- Gilbert, K.K., Smith, M. P., Sobczyk, S. James, C.R. & Brismee, J.M. (2015). Effets of lower limb neurodynamic mobilization on intraneural fluid dispersion of the fourth lumbar nerve root : Cadaveric investigation, *PMID* : 26955255 ; *PMCID*. DOI : 10,1179/2042618615y.0000000009.
- Giordan, A.(1990). Un environnement pédagogique pour apprendre : Le modèle Giordan allostérique. *Bulletin d'information des professeurs d'initiation aux sciences physiques*. N°93. pp. 21-29.
- Giordan, A. (1994). Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage .IN A ---Giordan .4. Girault et P. Clément (ED). *Conception et connaissances (PP.219-315) BEME Peter Lang.*
- Giordan, A. (1995). Les conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage... ! *Sciences humaines*. 12,48-50.
- Giordan, A. (1996). Nouveaux modèles pour sensibiliser et apprendre : Conséquences sur les musées des sciences et des technologiques. *Musées et Médias, éditeur, Genève.*
- Giordan, A. & de Vecchi, G. (1987). Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. *Delachaux et Niestlé.*
- Giordan, A. & De Vecchi, G. (2002). *L'enseignement scientifique : Comment faire pour que ça marche ?* Delagrave Edition, 2002.
- Giordan, A. & Pellaud, F. (2002). Apprendre par la complexité. Paris: *Delagrave.*

- Giordan, A. & Pellaud, F. (2004). Une étude de conception en liaison avec les savoirs complexes : Le cas du développement durable. *Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation. LDES. Didaskalia- n 24.*
- Guérin, L. (2012). La démarche d'investigation à travers un Parcours d'Étude et de Recherche. L'exemple des puissances en classe de 4^{ème}. *PER.*
- Gunstone, R. & White, R. (1981). Understanding of gravity. *Science Education* 291-299
DOI :10. 1002/sce.3730650308.
- Guggenheim, E. (1961). The mole and related quantities. *Chem. Ed.*38, 86–87.
(doi:10.1021/ed038p86).
- Gyamfi, E. (2014). Assessing the Effect of teenage pregnancy on Achieving universal Basic Education in Ghana: A case study of upper denkyira west district. *Journal Of education and practice.*
- Halloun, S. A. (2019). *Impact d'une formation collaborative donnée à des enseignants de chimie du secondaire sur l'enseignement et l'apprentissage du concept de mole.* [Thèse de Doctorat, Université de Montréal]
https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/23554/Abou_Halloun_Simone_2019_these.pdf.
- Heintz, C. (2007). Les fondements psychiques et sociaux de la cognition distribuée. *Editions de la maison des sciences de l'homme.* Paris www.editions-msh.fr/
- Hervieu, F. (2019) *guide du jeune enseignant.* Edition sciences humaines.
- Ibrahima, C. (2007). Approche méthodologique pour la construction de l'unité de quantité de matière à partir d'une situation-problème : expérience de la fastef au Sénégal. *Revue publiée par la faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation (ex ENS) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.*
- International Union of Pure and Applied Chemists. (1960). *Manual of physic chemical symbols and terminology.* Chem. Soc. 82, 5517–5522. (doi :10.1021/ja01506a001).
- International Union of Pure and Applied Chemists. (1970). *Manual of symbols and terminology for physicochemical quantities and units.* Oxford: Butterworths. Vol.21 (1).
- International Union of Pure and Applied Chemists (1997). *Compendium of chemical terminology.* (2e éd.).

- International Bureau of Weights and Measures (2018). *Comptes Rendus des séances de la vingt-sixième Conférence Générale des Poids et Mesures*. Resolution 1, Annexe 3, BIPM (2019). <https://www.bipm.org/en/cgpm-2018/>
- IPAM (1993). *Guide pratique du maitre*, IDICEF, Vanves.
- Jenifer, M. C. & Duncan, M. F. (1999). An investigation into chemical engineering student's understanding of the mole and the use of concrete activities to promote conceptual change. *International Journal of Science Education*. Vol.21 : 12, 1237-1249.
- Johson, L. V. & Bany, M. A. (1974). *Conduite et animation de la classe*. Bordas, Paris
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377–379.
- Johsua, S. & Dupin, J-J. (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Puf, Paris.
- Justi R. & Gilbert J. (1996). The role of analogy models in the understanding of the nature of models in chemistry In Aubusson. *Metaphor and analogy in science education Science and technology education library* p.119-130.
- Kallaba, L. (2016). L'influence de la démarche d'investigation en sciences sur la motivation des élèves. *Sciences de l'Homme et Société*. dumas-01253788.
- Kappenol, W. H., Corish, J., Garcia,- Martinez, J., Meija, J. & Reedijk, J. (2016). How to name new chemical element(IUPAC Recommendations 2016, pure and Applied Chemistry, 88(4), 401-405. <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0802>.
- Kassenti,T. & Savoie Zaje, L. (2006). *Recherche en éducation : Etapes et approches*. Université de Sherbrooke, faculté des sciences de l'éducation : Edition du CRP.
- Kennedy, A. B., Ansah o. f., Amoako S. K. & Boachie, S. (2020). Using constructivist Approach to Enhance understanding of mole concept among second year students in chimistry at Adobewura senior High School in Ashanti Region, Ghana. *International Journal of scientific Ressearch and Management(IJSRM)*8(8) :16611-1617 DOI :10.18535/IJSRM/V8I08.e103.
- Kovac, J. (2002). Theoretical and practical reasoning in chemistry, *Found. Chem.*, 163-171.
- Kraft, A., Strickland, J., & Bhattacharyya, G. (2010). Teaching the mole concept. *Journal of Chemical Education*, 87(7), 709–713.
- La Carbona A. L. (2016). La démarche d'investigation en sciences à l'école élémentaire analyse comparative des finalités de l'enseignement des sciences et de la place accordée à la démarche d'investigation dans les programmes de 2002 à ceux de 2015. *Education*. 2016. dumas-01380251.

- Lafortune, L. & Deaudelin, C. (2001). *Accompagnement socioconstructiviste. Pour s'approprier une réforme en éducation*. Presses de l'Université du Québec.
- Lamidi, B., Oyelekan O. & Olerundare, A. (2015). Effects of Mastery Learning Instructional Strategy on Senior School Students' Achievement in the Mole Concept. *Electronic Journal of Science Education* Vol. 19, No. 5 (2015).
- Langevin, p. (1908). *Sur la théorie du mouvement brownien*, C. R. Acad. Sci(Paris) 146, 530-533(1908).
- Larre, F. & Plassard, J. M (2003). Rémunération des enseignants et théorie de l'agence. – *XXIII^{es} journées à Grenoble*.
- Larkin, D. (2012). *Idées fausses sur les « idées fausses » : Les points de vue des professeurs de sciences du secondaire en formation initiale sur la valeur et le rôle des idées des élèves*. *Education scientifique* (5).
- Laugier, A. (2004). Mettre en œuvre la démarche d'investigation : la matérialité de l'air au cycle 3. *IUFM d'Aquitaine*. Grand N n° 74, 77-98.
- Laugier, A. & Dumon, A. (2001). D'Aristote à Mendéléév ; 2000 ans de symbolisme pour représenter la matière et ses transformations. *L'Actualité Chimique, mars*, pp. 38-50.
- Laugier, A. & Dumon, A. (2003). Obstacle épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : Quelles convergences ? *Didakalia*. 69-97.
- Lawson, A. E. (1985). A review of reseach on formal reasoning and science teaching. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220702>. *Journal of research in science teaching* , 22, 569-617.
- Lawson, A. E. & Thompson, C.D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *journal of research in science teaching*, 25,733-746 <http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660250904>.
- Leake, D. B. (1996). CBR in context :The present and future. In D. Leake, *Case-based reasoning : Experience, lessons and future directions*. *Menlo Park : AAAI Press/MIT Press*, 1-3
- Léa, M. (2023). *Didactique des sciences et apprentissages conceptuels*. Bruxelles: De Boeck Supérieur.

- Leblanc, C. (2019). *Les obstacles identifiés par les enseignants des sciences dans l'accompagnement et l'encadrement des étudiants présentant des difficultés d'apprentissage*. Numéro 18-2019.
- Lecompte, J. (1998). *L'eau*. Paris (coll. « Que sais-je ») ISBN2-13049110-3
- Lecourt, D., & Bourgeois, T. (2006). Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences (4e éd., coll. Quadrige). Paris : Presses Universitaire de France. ISBN 978-2-13-054499-9.
- Lefrançois, R. (1991). *Dictionnaire de la recherche scientifique*. Lennoxville : Éditions Némésis.
- Legendre, M-F. (1994). Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de la question. *Revue des sciences de l'éducation*, 20(4). DOI : 10.7202/031761ar
- Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation*, (3^e éd.). Guérin.
- Legendre, M. -F. (2008). Un regard socioconstructiviste sur la participation des savoirs à la construction du lien social. *Education et francophonie*, 36(2),63-79 <https://doi.org/7202/02948>.
- Lena, P. (2015). La pédagogie d'investigation et l'enquête. PISA 2015.
- Lochhead, J. (1988). Toward a scientific practice of Mathematics Education. *NFC- TEI- 8751491*(Berkely, CA, pp.14-17 1988).
- Lorimer, J. (2010). What is a Mole? Old Concepts and New. Post Scriptum: On behalf of the Bureau, the IUPAC Executive Committee at its 2 October 2009 meeting reviewed and endorsed the ICTNS recommendations to support the redefinition of the mole as proposed by the CCU. *Chemistry International January-February 2010*.
- Lucile, J., François, N., Matthieu, T. & Patrick, E. (2019). Le nouveau Système international d'unités. *Reflets de la physique*.
- Macaire, F., Raymond P. (1974). *Notre beau métier*. Les classiques africains, Issy les Moulineaux.
- Mamou ni, M. I. (2016). *Obstacle didactique CRMEF*. Rabat.
- Malcolm, S., Mavhunga, E. & Rollnick, M. (2018). Lessons learnt from a learning study on teaching the mole concept. *Saarmste Botswana 2018. Science Long Papers*.

- Marjan, A. (2018). *Approche socio constructiviste pour l'enseignement -apprentissage du lexique spécialisé : Apport du corpus dans la conception d'activités lexicales*. Université de Montréal.
- Marais, P. & Jordaan, F. (2000). Are we taking symbolic language for granted? *Journal of Chemical Education*. 77(10), 1355–1357. <http://dx.doi.org/10.1021/ed077p1355>.
- Marion, P. (2016). *Pédagogie scientifique et pensée critique*. Bruxelles: De Boeck.
- Marion, F. & Maurine, G. (2018). *Étude didactique de l'enseignement de la quantité de matière en seconde générale et technologique*. Education. 2018. dumas-01973214.
- Martinand, J.L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Peter Lang, Berne.
- 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 de Doctorat, Université du Québec]. <https://archipel.uqam.ca/4876/1/D2287>.
- Mathé, S., Méheut, M. & DE Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation en collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, (32), 41-76.
- Matthieu, P. J. (2018). La transposition de la démarche scientifique au secondaire et le numérique : Quelles difficultés. *Université Claude Bernard Lyon 1*.
- Maurines, L., Gallezot, M., Ramage, M.J. & Beaufils, D. (2013). La nature des sciences dans les programmes de seconde de physique-chimie et de sciences de la vie et de la terre. *Recherche en didactique des sciences et des technologies (RDST)*. <https://doi.org/10.4000/rdst.674>.
- Maury, S. (2008). *Aider les élèves en difficultés, la boîte à outils des enseignants*. Edition d'organisation.
- Mbock, P. D. (2014). L'approche par les compétences dans l'enseignement de l'informatique au Cameroun. *Epinet n 162*. http://www.epi.asso-fr/revue/articles/a1140_2e.htm
- Meirieu, P. (2019). Guide méthodologique pour l'élaboration d'une situation-problème. *Cahiers Pédagogiques N. [file:///Volumes/2017_2018/stage_1/Le_stage/les_pratiques/Situation_problème/2-Exemples_de_situations_problèmes-2](#)*. Pptx
- McGlashan, M. L. (1971). *Physico-chemical quantities and units*, 3rd edn. London, UK : Royal Institute of Chemistry.
- Michel, J-F. (2005). *Les 7 Profils d'apprentissage* (2^e éd.). 2. EYROLLES.

- Micro-Robert (1996). Dictionnaire de référence pour l'apprentissage du français. Edition 1996.
- Millerand, S. (2006). La démarche d'investigation pour enseigner les sciences physiques : l'impact et les difficultés. *IUFM de bourgogne*.
- Milton, M. J. T. (2009). Chemistry International. International Union of Pure and Applied Chemists (IUPAC). 1970 Manual of symbols and terminology for physicochemical quantities and units. *Pure Appl. Chem.*21, 91–108. (doi:10.1351/pac197021010091).
- Milton M. J. T. (2011). A new definition for the mole based on the Avogadro constant: a journey from physics to chemistry. *National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex*.
- Mills, M., Milton, M.J.J. (2009). Amount of substance and the proposed redefinition of the mole. *I.O.P. Metrologia*. 40(3) : 332. DOI : 10, 1088/0026-1394/46/3/022
- Ministère de L'économie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire. (2009). « *Cameroun Vision 2035* » [http://www.minepat.gov.cm/index.php/fr/modules-menu/doc/download/106-vision 2035 du-cameroun](http://www.minepat.gov.cm/index.php/fr/modules-menu/doc/download/106-vision%202035-du-cameroun).
- Ministère des enseignements secondaires. (2014). *Définition des programmes d'études des classes de quatrième et troisième*.
- Ministère des enseignements secondaires. (2010). *Rapport d'analyse des données de la Carte scolaire du MINESEC*. R.C.N RC/D1a/2002/A/02858.
- Ministère de l'éducation National (1999). *Guide du directeur de l'école primaire Camerounaise*. CEPER, Yaoundé.
- Molvinger, K. (2019). La mise en œuvre d'une démarche d'investigation à l'école élémentaire *Spirale - Revue de Recherches en Éducation, Association pour la Recherche en Education (ARED)*, 2017. hal-02359519.
- Morin, M. (2016). L'importance de prendre en compte les conceptions initiales pour Construire un concept scientifique. *Education 2016*. Dumas-01386711
- Morge, L. & Boilevin, J.-M. (2007). Séquences d'investigation en physique-chimie, *Collège, Lycée. CRDP d'Auvergne*.
- Moss, K. & Pabari, A. (2010). The mole misunderstood. *New Directions in the Teaching of Physical Sciences*, (6), ISSN.77- 86

- Mulford, D. R. & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first semester general chemistry. *Journal of chemical Education* 739-744. Doi :10.1021/edo79.
- Munyati, O., Mweshi, E. & Nachiyunde, K.(2019). Teacher's mole concept pedagogical content knowledge : Developing the model for the mole concept content Representations Framework. *Chem. Educ. Res.Pract*10(8).51-65
- Mymaxicours physique chimie 5^{eme},4^{eme},3^{eme} : histoire du modèle de l'atome www.maxicours.com.
- Mweshi, E., Munyati, O. & Nachiyunde, K.(2019). Teachers' Mole Concept Pedagogical Content Knowledge: Developing the Model for the mole Concept Content Representations Framework. *Journal of Education and Practice*. ISSN 2222-1735 (Paper) ISSN 2222-288X (Online) DOI: 10.7176/JEP Vol.10, No.8, 2019
- Naana Kumi-Manu, R. (2021). Concept Cartoon comme technique d'enseignement pour Changement conceptuel : un junior ghanéen Expérience au lycée. Science and Education publishing. [https://DOI : 10.12691/education-9-9-5](https://doi.org/10.12691/education-9-9-5).
- Nathan. (2019). *Physique-chimie Sirius 2^{de}*. Lycéen Nathan. Fr.
- Nelson, P. (1991). The elusive mole. *Educ Chem* 28:103–104.
- Nenciovici, L. (2018). *Comparaison de l'activité cérébrale et du temps de réaction de novices en électricité avant et après avoir surmonté une conception alternative fréquente concernant les circuits électriques simples*. Mémoire. Montréal (Québec, Canada). Université du Québec à Montréal. Maitrisés-en éducation.
- Ngono, N. B. (2010). *Didactique de l'enseignement de la SVT au Cameroun*. Dans chapitre 3. <http://stephane.alexiover-blog.com>.
- Nguessan, S.K. (2016). Les futurs enseignants de physique-chimie et le concept d'atome. Quelques difficultés et obstacles identifiés lors de leur formation professionnelle. *International Journal of contemporary applied sciences* ,3(2). P. P214-253.
- Nicoll, G. (2001). *A report of undergraduates' bonding misconceptions*. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707-730.
- Nussbaum, J. & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11(3),183-200. <https://doi.org/10.1007/bf00414279>.
- Omwirhiren, E. M. (2015). Analysis of Students' Error in Learning of Mole Concept among Selected Senior Secondary School Chemistry Students in Zaria, Nigeria. *IOSR*

Journal of Research & Method in Education (IOSR-JRME) e-ISSN: 2320–7388, p-ISSN: 2320–737X Volume 5, Issue 5 Ver. I (Sep. - Oct. 2015), PP 01-07 www.iosrjournals.org.

- Organisation de coopération et de développement économiques. (2006). *Compétences en sciences, lecture et mathématiques. Le cadre d'évaluation de PISA 2006*. <http://www.pisa.oecd.org/dataoecd/60/59/38378898.pdf>.
- Organisation de coopération et de développement économiques. (2012). *Cadre d'évaluation de l'enquête PISA 2009 : Les compétences clés en compréhension de l'écrit, en mathématiques et en sciences*, PISA. Paris : Editions OCDE. Consulté en ligne : <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/49539189.pdf>
- Organisation de coopération et de développement économiques. (2018). « *Qu'est-ce que l'enquête PISA ?* », dans PISA 2015 Results (Volume III) : Students' Well-Being, Éditions OCDE, Paris.DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264288850-4-fr>
- Organisation de coopération et de développement économiques. (2019). *Résultats du PISA 2018* (Volume III) : La place de l'école dans la vie des élèves
- Oriol, T., Mury, G., & Mizrachi, F. (1968). *La connaissance*, Didier Paris. *European Journal of alternative Education Studies* ,5(1),71-94.
- Ouasri, A. (2006). *Analyse des difficultés des élèves marocains de 15-16 ans en résolution des problèmes de mécanique (mouvement et repos, interactions mécaniques et forces, poids et masses)*. Centre régional des métiers de l'éducation et de la formation. Rabat. Maroc.
- Ouasri, A., & Ravanis, K. (2016). Les obstacles épistémologiques dans l'enseignement des sciences. *Didaskalia*, 48, 47–65.
- Ouertatani, L. (2009). *L'enseignement-apprentissage des acides et des bases en Tunisie : une étude transversale du lycée à la première année d'université* [Thèse de doctorat, Université Victor Segalen Bordeaux 2].
- Ostwald, W. (1900). *Grundlinien der Anorganischen Chemie* (Leipzig: W. Engelmann).
- Othman, J., Treagust, D. F. & Chandrasegaran, A. L. (2008). An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1531-1550.

- Padilla, M. J. (1991). *Science process skills*. In S. M. Glynn, R. H. & Yeany, B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 105-127). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Padilla, M. J., Okey, J. R., & Dillashaw, F. G. (1993). The relationship between science process skills and formal thinking abilities. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 825-840. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300804>.
- Padilla, K. & Furio-MasC-(2007). The importance of history and philosophy of science in correcting distorted views of amount of substance and mole concepts in chemistry teaching. *Science et Education* 17(4) :403-424. DOI : 10.1007/s11191-007-9098-2.
- Padilla, M. J., & Furió, C. (2008). Science process skills and conceptual understanding. *Science Education International*, 19(3), 231–245.
- Pallas, S. (2004). Pourquoi et comment transformer les conceptions Initiales des élèves en Géologie au cycle 3. *IUFM de Bourgogne*.
- Pallandre, J.-P. (2010). *Modélisation et apprentissage scientifique*. Lyon: ENS Éditions.
- Partington, J. (1961). *A history of chemistry*, vol III. Martino Publishing, New York.
- Pautal, E. (2015). La construction conjointe d'aspects du « vivant » à l'école ; une compréhension éclairée par les rapports aux savoirs. *UMR EFTS Toulouse 2 Jean Jaurès et ESPE Académie de Limoges, France*.
- Pérez, F. (2006). Enseignement des sciences fondé sur l'investigation. http://www.iencolombes1.ac-versailles.fr/IMG/pdf/Conference_demarche_investigation.pdf
- Perkins, P. I. (1995). Elementary to middle School ; planning for transition. *Clearing house*, 68, 171-173.
- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir des pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des Sciences de l'Éducation* 24, 3 (487-514).
- Perrin, J. (1909). *Mouvement Brownien et grandeurs Moléculaires*. Radium(Paris), 1909,6(12). Pp.353-360.
- Perron, S. (2019). *Etude de l'articulation des démarches d'investigation scientifique avec les autres savoirs composant la structure disciplinaire : cas d'enseignants de sciences de la vie et de la Terre exerçant en collège français*. Education. Université de Bretagne occidentale – Brest ; Université de Sherbrooke (Québec, Canada), 2018. Français. NNT : 2018BRES0063.

- Peterson, R. F., Treagust, D. F. & Garnett, P. (1989). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), 301-314.
- Planck, M. (1900). Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum. *Annalen der Physik*, 4, 553–563.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211- 227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>.
- Potvin, P., Sauriol, É. & Riopel, M. (2015). Experimental Evidence of the Superiority of the Prevalence Model of Conceptual Change Over the Classical Models and Repetition. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(8), pp. 1082-1108. [https://doi : 10.1002/tea.21235](https://doi.org/10.1002/tea.21235).
- Potvin, P. (2018). *Faire apprendre les sciences et la technologie à l'école : épistémologie, didactique, sciences cognitives et neurosciences au service de l'enseignement*. PUL.
- Potvin, P. (2019). *Apprendre les sciences par la recherche*. Québec: Presses de l'Université Laval.
- Reverdy, C. (2018). Les recherches en didactique pour l'éducation scientifique et technologique. *Dossier de veille de l'IFE*, 122, 1-140.
- Rhoneck, C. V. (1984). Semantic structures describing the electric circuit before and after instruction. Recherche en didactique de la physique : *les actes du premier atelier international*. La Londe, (1983), 303-312. Paris, CNRS.
- Richter, J. B. (1789). *Stöchiometrie*. Breslau: Hirschberg.
- Robardet, G. (1989). Utiliser des situations-problèmes pour enseigner les sciences physiques. Collectif recherche-formation en didactique des sciences physiques. *IFM université Joseph Fourier Grenoble*, 23, 61-70.
- Ruellan, A. (1988). La recherche scientifique, facteur de développement. *Le Monde diplomatique*. <http://www.monde-diplomatique.fr/1988/08/RUELLAN/41095>.
- Sagaut, P. (2009). *Introduction à la pensée scientifique moderne*. Institut Jean Le Rond d'Alembert. Université Pierre et Marie Curie-Paris 6.

- Sanchez, P. & Taborada, C. (2020). Learning Mole Concept with PALS: An Intervention for Working Students in a Night School. *KIMIKA Volume 31, Number 1*, pp. 11-19 (2020) © 2020 Kapisanang Kimika ng Pilipinas All rights reserved. Printed in the Philippines. ISSN 0115-2130 (Print); 2508-0911.
- Sauriol. (2016). Comparaison expérimentale de l'effet de trois séquences d'enseignement différentes sur l'efficacité du changement conceptuel en sciences au primaire.
- Schmidt, H.G. (2012). Une brève histoire de l'apprentissage par problèmes. DOI 10.1007/978-981-4021-75-3-2, springer science business. Media Singapore.
- Schmidt-Rohr, K. (2020) . Analysis of Two Definitions of the Mole That Are in Simultaneous use, and Their Surprising Consequences. *J. Chem.Educ.*2020, 97, 597–602
- Secours, C. & Anouk N. (2020). *Définition de la chimie* : N 126211
www.monde.ccdmd.qc.ca
- Slimi, J. (2020). *Effets d'une formation en démarche d'investigation sur les pratiques enseignantes : cas des enseignants tunisiens de physique*. Education. Université de Bretagne occidentale - Brest; Université virtuelle de Tunis, 2019. Français. NNT : 2019BRES0073. tel-02614098.
- Sorella, H. (2020). Apprendre par l'expérience. Quand la théorie émerge de la pratique. *Pédagogie collégiale*, 33(2), 25-29.
- Stephen, A. M., Marissa, R. & Madian, E. (2014). *Conceptualisation de la mole pour un enseignement efficace de la stichométrie*. L'Harmattan.
- Steve, B. & Mario, R. (2005) : *Les trois phases du processus d'apprentissage théories et pratiques de l'antiquité à nos jours*, 2 édition 317-329
- Stille, U. (1955). *Messen und Rechnen in der Physik*. Braunschweig: Vieweg
- Taber, K.S. (2001). The mismatch between assumed prior knowledge and the learner's conceptions: a typology of learning impediments. *Educational Studies*, 27, 159-171.
- Taber, K.S. (2013). *Modélisation des apprenants et apprentissage en sciences de l'éducation*. Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Takeshi, M., & Carl, W. (2009). Un dispositif japonais pour le travail en équipe d'enseignants : étude collective d'une leçon. *Education didactique*. Vol 3. N° 1
- Talanquer, V. (2006). Commonsense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 811-816.

- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplets". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195 Chemistry: Chem. Educ. Res. Pract.,2012. WWW.rsc.org/cep.
- Talanquer, V., Christian, K. (2012). *Mode of reasoning in –self-initiated study groups in chemistry*.
- Tardif, J. (1997). Pour un enseignement stratégique : l'apport de la psychologie cognitive. Dans, G. Fortier & C. Pré fontaine (dirs.). Théories et pratiques dans l'enseignement. Logique.
- Tedonkeng, M.& Ayina Bouni J.-P.(2023). Construction du concept de mole par la Démarche d'investigation : Quelle pertinence ? *RISEY*, 3 , 226-253.
- Thouin, M. (2014). *Réaliser une recherche en didactique* : Editions Multi Mondes.
- Tiberghien, A. & Weil-Barais, A. (1987). Les modèles spontanés dans la pensée commune et enfantine. Dans, A. Giordan & J.L. Martinand, (éds.). *Modèles et simulation* [Conférence]. *9es Journées Internationales sur l'Education Scientifique*, Université Paris 7.
- Tiberghien, A. (1998). Perception et mémoire des visages. *Intellectica*. pp.89-111.
- Tinas, J-L. (2013). *Apprentissage d'un concept scientifique : Statut de l'hypothèse dans la démarche d'investigation en sciences physiques* [Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 2].
- Treagust, D.F.& Duit, R. (2008). *Conceptual change* : A discussion of theoretical, Methodological and practical challenges for science Education, 297-328 <http://dx.doi.org/10.1007/s11422-008-9090-4>.
- Treagust, D.F., Chittleborough, G., Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and Symbolic representation in chemical explanations. *International journal of science Education*, 25,1353-1368. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070306>.
- Treagust, D.F. & Chandrasegaran, A.L. (2009). The Efficacy of an Alternative Instructional Programme Designed to Enhance Secondary Students' Competence in the Triplet Relationship. *C Springer Science + Business Media B.V*.
- Tsafak, G. (1998). *Ethique et déontologie de l'éducation*. PUA, Yaoundé.
- Ünlü, y. (2006). The effect of explicit method of problem solving accompanied with analogies on understanding of mole concept. In partial fulfillment of the

requirements for the degree of Master of Science in secondary science and mathematics education.

Vera, L. (2024). *Méthodologie de la recherche en éducation*. Paris: L'Harmattan.

Verret, A. (1975). *Le temps des études*. Paris: Honoré Champion.

Viennot, L. (2008). Learning and conceptual understanding: Beyond simplistic ideas, what have we learned? *International Commission on Physics Education*. <http://web.phys.ksu.edu/ICPE/Publications/teach2/Viennot.pdf>

Voniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learn. Instr.* 45-69.

Vygotski, L. S. (1985). *Le problème de l'enseignement et du développement mental à l'âge scolaire*. Dans Sneuwly & L. Bronckart. *Vygotski aujourd'hui*. Delachaux & Niestlé.

Vygotski, L. S. (1997). *Pensée et langage* [1934]. La Dispute.

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., Novak, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in sciences. In D. L. Gabel(EDS), *Handbook of reseach on science teaching and learning (777-210)*. New York : Simon and Schuster and prentice international.

Willam, B. (2017). *Construction d'outils didactiques pour remédier aux difficultés d'apprentissage du concept de concentration en chimie dans le secondaire supérieur: Appui sur les neurosciences cognitives*. Thèse de doctorat en didactique des sciences. Université de Namur. Namur, Belgique : Presses Universitaires de Namur.

Wikipedia . Histoire du concept de molécule. www.techno.science.net.

www.study-master.fr. *Equilibrer une équation chimique*.

Yaayin, B. & Ayoberd, S. A. (2018). The influence of problem- based learning approach on student's perceptions and attitudes toward the mole concept in Tamale college of education. *ADRRJ Journal (Multidisciplinary)* 27(8)18-33 DOI : <https://doi.org/10.55058/adrrij.v27i8.442>.

Zebun, A. (2023) : difficultés liées à l'enseignement des sciences physiques en laboratoire. Point de vue des enseignants : *Indian Institute of Science and Engineering, New Delhi, India*.

– ANNEXES

ANNEXE A: Questionnaire du pré-test et post-test

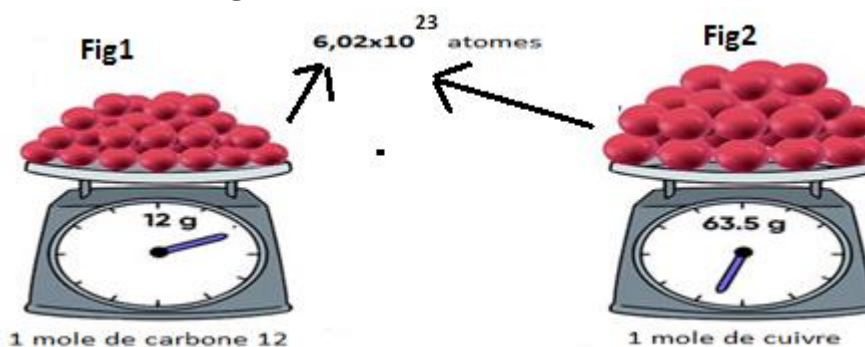
Identification de l'élève

Noms et prénoms

Age.....Etablissement.....Classe.....

Pour les questions 1 à 8, encerle la lettre correspondante à la bonne réponse. Chaque question a une seule bonne réponse

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (**Fig.1**) et la pesée d'une mole de cuivre (**Fig.2**).



Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1 ?

- a- La masse d'une mole de molécule de carbone 12
- b- Le nombre d'atomes de carbone 12
- c- La masse d'une mole d'atomes de carbone 12
- d- Je ne sais pas

Justification :

Question 2 : D'après les schémas de la question 1

Que représente la mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la Fig2 ?

- a- La masse d'une mole de molécule de cuivre
- b- Le nombre d'atomes de cuivre
- c- La masse d'une mole d'atomes de cuivre
- d- Je ne sais pas

Justification :

Question 3 : D'après les schémas de la question 1

Quel est le nombre d'atomes contenu respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre ?

- a- Une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63,5 atomes de cuivre

b- Une mole de carbone 12 contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de cuivre

c- Une mole de carbone 12 contient $7,22 \times 10^{24}$ atomes de carbone et une mole de cuivre contient $3,82 \times 10^{25}$ atomes de cuivre

d- Je ne sais pas

Justification :

Question 4 : D'après les schémas de la question 1 représentés par la pesée d'une mole de carbone 12 (**Fig.1**) et la pesée d'une mole de cuivre (**Fig.2**).

Dans quelle pesée y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

a- Pesée d'une mole de carbone 12

b- Pesée d'une mole de cuivre

c- Les deux pesées ont le même nombre d'atomes

d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification :

Question 5 : On dispose de deux paniers A et B. Le panier A contient 4 kg de citron, le panier B contient 5 kg d'orange.

Dans quel panier y a-t-il le plus grand nombre de fruits ?

a- Le panier A

b- Le panier B

c- Il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers

d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification :

Question 6 - On dispose de deux coupelles A et B. La coupelle A contient 1 g d'aluminium, la coupelle B contient 1 g d'or.

Dans quelle coupelle y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

a- La coupelle A

b- La coupelle B

c- Il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles

d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification :

Question 7 : les images 1 et 2 ci-dessous représentent les athlètes ayant deux javelots constitués respectivement des atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. Sachant que les masses en kg d'un atome de carbone et d'aluminium sont : un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg et un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg



Dans quel javelot trouve-t-on le plus grand nombre d'atome ?

- a-Javelot B
- b-Javelot C
- c-Javelot B et C ont le même nombre d'atome
- d-Il manque des informations pour répondre à la question

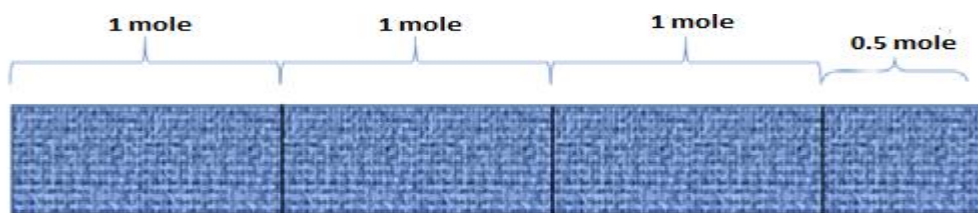
Justification :

Question 8 : Un élève affirme qu'un morceau d'aluminium pur (Al) de masse 10,8 g et un morceau d'or pur (Au) de masse 78,8 g contiennent le même nombre d'atomes. Les masses molaires atomiques de l'aluminium et de l'Or sont : $M_{Al} = 27 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_{Au} = 197 \text{ g.mol}^{-1}$. Selon vous : **Dans quel morceau trouve-t-on le plus grand nombre d'atomes ?**

- a- Les deux ont le même nombre d'atomes
- b- Le nombre d'atomes d'or (Au) est plus grand que le nombre d'atome d'aluminium (Al)
- c- Le nombre d'atomes d'aluminium (Al) est plus grand que le nombre d'atome d'or (Au)
- d- Je ne sais pas

Justification

Question 9- Le schéma ci-dessous illustre le découpage en mole d'une lame de fer à l'échelle microscopique.



Calculer le nombre d'atomes dans les différents découpages

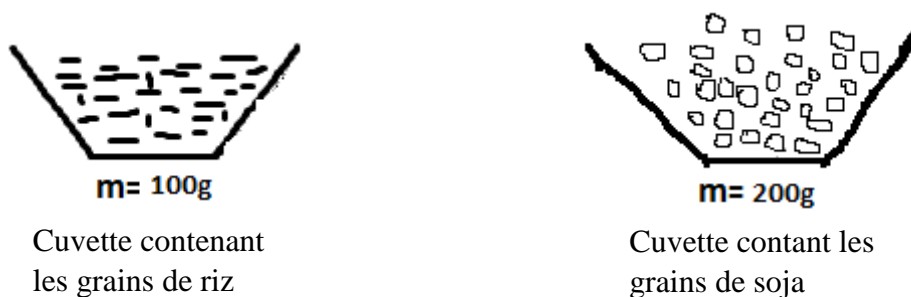
- a- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 1 mol?.....
- b- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 2 mol ?
- c- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 0,5 mol ?
- d- Quel est le nombre d'atomes de fer dans la lame ?.....

ANNEXE B : Activités

Activité 1

Après le cours de chimie basé sur la mole, deux de vos camarades ont entrepris un débat : le premier appelé Alain affirme que 100 g de grains de riz contiennent plus de grains de riz que 200 g de soja. Le deuxième appelé Donald affirme plutôt que 200 g de soja contiennent plus de grains de soja que 100 g de riz. Vous qui avez suivi le cours sur la mole, aidez ces deux camarades à se départager. La figure ci-dessous matérialise ces céréales.

Fig30 : Deux cuvettes contenant les grains de riz et les grains de soja



Dans quelle coupelle, le nombre de grain est-il le plus grand ?

Élaboration d'hypothèse

.....

.....

.....

Décrire le protocole expérimental pour tester l'hypothèse émise après identification du matériel.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Résultat de l'expérience

PESÉE 2

2.1-Que représente 18 g de H₂O.....

.....

2.2- Observer la deuxième pesée et établir le lien entre 18 g H₂O et 1 mol de H₂O.....

.....

.....

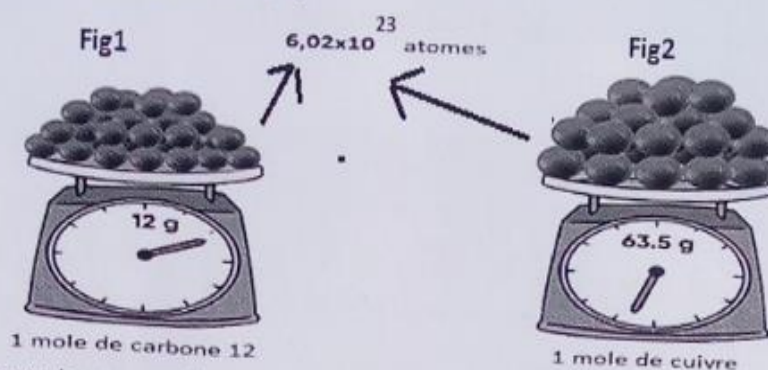
2.3- Définir la masse molaire moléculaire.....

.....

Annexe C : Autres exemples de réponses fausses proposées par les apprenants aux différentes questions

Question 1

Question 1 : le schéma ci-dessous représente la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).



Que représente la mesure d'une mole de carbone 12 indiquée par la balance de la Fig1.

- a-La masse d'une mole de molécule de carbone 12
- b-Le nombre d'atome de carbone 12
- c-La masse d'une mole d'atome de carbone 12
- d-Je ne sais pas

Justification :

la masse de la molécule de carbone ne change pas

Question 2

Question 2 : D'après les schémas de la question 1

Que représente la mesure d'une mole de cuivre indiquée par la balance de la Fig2

- a-La masse d'une mole de molécule de cuivre
- b-Le nombre d'atome de cuivre
- c-La masse d'une mole d'atome de cuivre
- d-Je ne sais pas

Justification :

*la masse du cuivre est égale à $6,02 \cdot 10^{23}$ g/mol
une valeur très grande comme la masse du cuivre*

Question 3

Question 3 : D'après les schémas de la question 1

Quel est le nombre d'atome contenu respectivement dans une mole de carbone 12 et dans une mole de cuivre.

- a- Une mole de carbone 12 contient 12 atomes de carbone et une mole de cuivre contient 63.5 atomes de cuivre
- b- Une mole de carbone 12 contient 6.022×10^{23} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 6.022×10^{23} atomes de cuivre
- c- Une mole de carbone 12 contient 7.22×10^{24} atomes de carbone et une mole de cuivre contient 3.82×10^{25} atomes de cuivre
- d- Je ne sais pas

Justification :

sur le plateau on compte 12 atomes de carbone et 63,5 atomes de cuivre leur masse = $6,02 \times 10^{23} \text{g}$

1

Question 4

Question 4 : D'après les schémas de la question 1 représentés par la pesée d'une mole de carbone 12 (Fig.1) et la pesée d'une mole de cuivre (Fig.2).

Dans quelle pesée y a-t-il le plus grand nombre d'atome ?

- a- pesée d'une mole de carbone 12
- b- pesée d'une mole de cuivre
- c- Les deux pesées ont le même nombre d'atome
- d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification :

C'est une évidence, dans la balance on se trouve le cuivre, il ya beaucoup d'atomes, ils sont plus nombreux

Question 5

Question 5 : On dispose de deux paniers. A et B . Le panier A contient 4kg de citron, le panier B contient 5kg d'orange.

Dans quel panier y a-t-il le plus grand nombre de fruits ?

- a- Le panier A
- b- Le panier B
- c- Il y a autant de fruits dans chacun des deux paniers
- d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification :

On veut le même poids de citron et le même poids de l'orange les deux autres sont fictifs

Question 6

Question 6 - On dispose de deux coupelles. A, B. La coupelle A contient 1g d'aluminium, La coupelle B contient 1g d'or

Dans quelle coupelle y a-t-il le plus grand nombre d'atomes ?

- a- la coupelle A
- b- la coupelle B
- c- Il y a autant d'atomes dans chacune des deux coupelles
- d- Il manque des informations pour répondre à la question

Justification :

parce que l'aluminium et l'or sont situés sur la même ligne du tableau de classification périodique

Question 7

Question 7: les images 1 et 2 ci-dessous représentent les athlètes ayant deux javelots constitués respectivement des atomes de carbone et d'aluminium ayant les mêmes masses. Sachant que les masses en kg d'un atome de carbone et d'aluminium sont : Un atome d'aluminium pèse $4,51 \times 10^{-26}$ kg et un atome de carbone pèse $1,993 \times 10^{-26}$ kg



Dans quel javelot trouve-t-on le plus grand nombre d'atome.

- a-Javelot B
- b-Javelot C
- c-Javelot B et C ont le même nombre d'atome
- d-Il manque des informations pour répondre à la question

Justification: On a fabriqué le javelot en 1986 dont c'est un ancien javelot il contient plus des atomes

Question 8

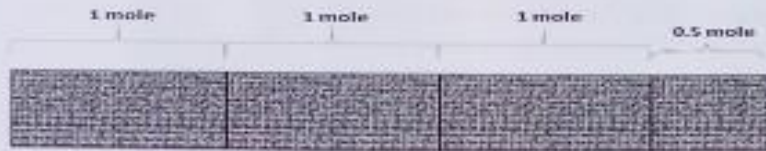
Question 8 : Un élève affirme qu'un morceau d'aluminium pur (Al) de masse 10,8 g et un morceau d'or pur (Au) de masse 78,8 g contiennent le même nombre d'atomes. Les masses molaires atomiques de l'aluminium et de l'Or sont : $M_{Al} = 27 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_{Au} = 197 \text{ g.mol}^{-1}$. Selon vous : Dans quel morceau trouve-t-on le plus grand nombre d'atome?

- a-Les deux ont le même nombre d'atome
- b-Le nombre d'atome d'Or(Au) est plus grand que le nombre d'atome d'aluminium(Al)
- c-Le nombre d'atome d'aluminium(Al) est plus grand que le nombre d'atome d'Or(Au)
- d- Je ne sais pas

Justification: Les données sont que $M_{Al} < M_{Au} = 108 < 78,8$ et en plus $M_{Au} > M_{Al} = 197 > 27$ donc c'est la b

Question 9

Question 9- Le schéma ci-dessous illustre le découpage en mole d'une lame de fer à l'échelle microscopique.

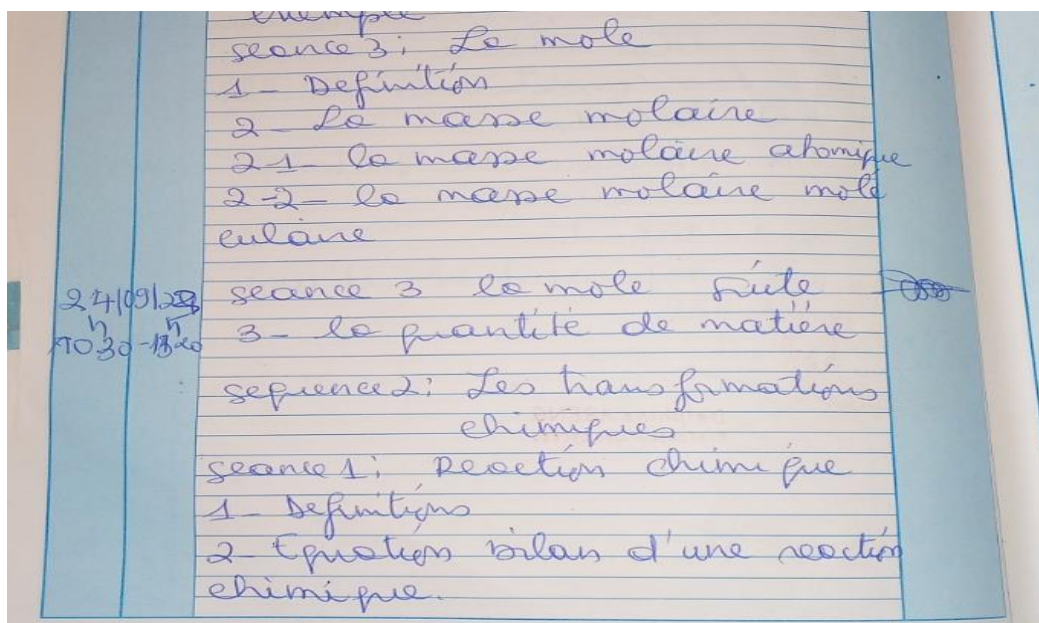


Calculer le nombre d'atomes dans les différents découpages

- a- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 1 mol ? $1 \times 1 = 1 \text{ mol atome}$
- b- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 2 mol ? $2 \times 2 = 4 \text{ mol atome}$
- c- Quel est le nombre d'atomes de fer dans 0,5 mol ? $0,5$
- d- Quel est le nombre d'atomes de fer dans la lame ? $3,5 \text{ atomes de mol}$

Annexe D : Extrait du cahier de texte de quelques enseignants sur la transposition de la mole

Enseignant 1



Enseignant 2

