

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail - Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES
HUMAINES SOCIALES ET ÉDUCATIVES

Unité de Recherche et de Formation Doctorale
en Sciences de l'Éducation et Ingénierie
Éducatives



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace – Work - Fatherland

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

POST GRADUATE SCHOOL FOR THE
SOCIAL AND EDUCATIONAL
SCIENCES

Doctoral Research Unit for Sciences of
Education and Educational Ingeniering

MODÉLISATION DU CONCEPT D'IMAGE EN OPTIQUE GÉOMETRIQUE PAR LES APPRENANTS DE LA CLASSE DE PREMIÈRE SCIENTIFIQUE À TRAVERS LA DÉMARCHE D'INVESTIGATION COMME MODE DE TRANSPOSITION DIDACTIQUE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ ET SOUTENU LE 12 AVRIL 2022, EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER EN DIDACTIQUE DES DISCIPLINES
SPÉCIALITÉ : DIDACTIQUE DE LA PHYSIQUE

PAR

DJIENDEU YAPI NEIL ERIKA

TITULAIRE D'UNE LICENCE ET D'UN DIPES II EN PHYSIQUE

MATRICULE : 17S3970



JURY

Qualité	Noms/Prénoms	Université
<u>Président</u>	MBAZE MEVA 'A Luc, Pr	YAOUNDE 1
<u>Rapporteur</u>	AYINA BOUNI, MC	YAOUNDE 1-ENS
<u>Membre</u>	NJINGTI NFOR, CC	YAOUNDE 1-ENS

À mes parents

REMERCIEMENTS

Je glorifie le DIEU TOUT PUISSANT à qui revient toute la gloire de ce travail. J'en profite pour exprimer ma gratitude à ceux qui, directement ou indirectement, m'ont, d'une manière générale, aidés à sa réalisation, et de façon particulière :

Mon directeur de mémoire, le Pr AYINA BOUNI, pour avoir accepté de le diriger et pour tous les précieux conseils et orientations qu'il a bien voulu donner dans ce cadre;

Tous les enseignants du département de didactique des disciplines pour leurs accompagnements durant ce cycle;

Tous les enseignants du Département de PCT du Lycée Bilingue de Mimboman à Yaoundé, particulièrement: M. NGOUPEYOU et M. EVINA, qui m'ont permis d'observer leur pratique enseignante depuis l'année 2018 et permis d'expérimenter dans leur salle de classe;

Tous mes apprenants des classes de PC₁ et PC₂ du Lycée Bilingue de Mimbomam pour leur disponibilité dans la réalisation de notre expérimentation;

Tous nos camarades de promotion qui à travers discussions, échanges et critiques ont permis d'améliorer mon travail. Il s'agit particulièrement de DOUANLA Meli, TIDO David et KUATE Alphonsine;

Mes frères et sœurs qui nous ont toujours accompagnés pour que ce travail aboutisse;

Et enfin, à TIOKEP Nana Sagesse pour ses encouragements et son soutien inconditionnel tout au long de la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
TABLE DES MATIÈRES	III
RÉSUMÉ	VI
ABSTRACT	VII
LISTE DES ABRÉVIATION	VIII
LISTE DES FIGURES	IX
LISTES DES TABLEAUX	X
LISTE DES GRAPHIQUES	XI
LISTE DES ANNEXES	XII
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PREMIÈRE PARTIE: PARTIE THÉORIQUE	7
CHAPITRE 1: ÉTUDE HISTORIQUE ET ÉPISTÉMOLOGIQUE DU CONCEPT D'IMAGE OPTIQUE	8
1.1. ASPECTS HISTORIQUES DU DEVELOPPEMENT DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE, ET EN PARTICULIER DU CONCEPT « IMAGE »	8
1.2. DIFFERENTS CONCEPTS PHYSIQUES QUI DONNENT SENS AU CONCEPT IMAGE	13
CHAPITRE 2: CADRE THÉORIQUE	16
2.1. LE SOCIOCONSTRUCTIVISME	16
2.2. THEORIE DES SITUATIONS DIDACTIQUES	19
CHAPITRE 3: REVUE DE LA LITTÉRATURE	22
3.1. DEFINITION DES CONCEPTS	22
3.1.1. Optique.....	22
3.1.2. Optique géométrique.....	22
3.1.3. Modèle	23
3.1.4. Modélisation	24
3.1.5. Transposition didactique	27

3.1.6. Investigation.....	29
3.1.7. Démarche d’investigation	30
3.1.7.1. L’utilisation de la démarche d’investigation	31
3.1.7.2. Etapes de la démarche d’investigation	32
3.2. TRAVAUX ANTERIEURS MENES SUR LE CONCEPT D’IMAGE OPTIQUE	35
3.2.1. Travaux de Fawaz (1985): Image, optique et vision. Etude exploratoire sur les difficultés des élèves de première au Liban.	35
3.2.2. Travaux de Kaminski et Mistrioti (2000): Optique au collège: le rôle de la lumière dans la formation d’image par une lentille convergente.	38
3.2.3. Travaux de Clark (2011): Technology in the classroom: student understanding of image formation by converging and diverging lenses and mirrors-ray tracing v. computer simulation.....	42
3.2.4. Ouazzani et al (2016): Difficultés conceptuelles relatives à la construction d’une image virtuelle et impact d’un atelier java d’optique géométrique (AJOG) sur les productions des élèves.	44
DEUXIÈME PARTIE: PARTIE EXPÉRIMENTALE (CADRE MÉTHODOLOGIQUE ET EMPIRIQUE DE L’ÉTUDE ET EXPÉRIMENTATION).....	48
CHAPITRE 4: MÉTHODOLOGIE DE L’ÉTUDE.....	49
4.1. LE TYPE DE RECHERCHE.....	49
4.2. SITE DE L’ETUDE.....	50
4.3. DEFINITION DE LA POPULATION	50
4.3.1. Population cible	50
4.3.2. Population accessible	51
4.4. DEFINITION DE L’ECHANTILLON ET TECHNIQUE D’ECHANTILLONNAGE DE L’ETUDE...	51
4.5. METHODE ET INSTRUMENT DE COLLECTE DES DONNEES	53
4.6. ANALYSE A PRIORI DES DISPOSITIFS D’EXPERIMENTATION	54
4.6.1. Le pré-test	54
4.6.2. Post-test.....	59
4.7. VALIDATION DE L’INSTRUMENT DE COLLECTE DES DONNEES	65
4.8. METHODE D’ANALYSE DES DONNEES	65
CHAPITRE 5 : EXPÉRIMENTATION	67
5.1. LE PRE-TEST	67

5.2.	L'EXPERIMENTATION (TEST).....	67
5.3.	LE POST-TEST	79
CHAPITRE 6: RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....		80
6.1.	PRESENTATION DES RESULTATS.....	80
6.1.1.	Présentation des résultats au pré-test	80
6.1.1.1.	Statistiques du pré-test de la PC ₁	80
6.1.1.2.	Statistiques du pré-test de la PC ₂	81
6.1.1.3.	Analyse comparative des résultats des scores des apprenants dans les deux classes au pré-test	82
6.1.2.	Analyse approfondie des résultats au pré-test.....	84
6.1.3.	Présentation des résultats au post-test.....	86
6.1.3.1.	Statistiques du post-test au groupe témoin (GT)	86
6.1.3.2.	Statistiques du post-test au groupe expérimental (GE)	88
6.1.3.3.	Analyse comparative des résultats des scores des apprenants dans les deux groupes au post-test	89
6.2.	VERIFICATIONS DES HYPOTHESES DE L'ETUDE	91
6.2.1.	Vérification de l'hypothèse secondaire 1 (HS ₁).....	91
6.2.2.	Vérification de l'hypothèse secondaire 2 (HS ₂).....	95
CONCLUSION GÉNÉRALE		99
BIBLIOGRAPHIE		101
ANNEXE		XII

RÉSUMÉ

Notre étude porte sur la modélisation du concept d'image en optique géométrique par les apprenants de la classe de première scientifique. Plusieurs travaux en didactique des sciences physiques présentent les difficultés que pose le concept d'image optique dans son enseignement et son apprentissage, ces difficultés et constats faits sur le terrain, nous pousse à formuler le problème de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince par les apprenants de première scientifique. Ainsi, dans le but d'améliorer la compréhension par les apprenants du concept d'image optique, une méthode d'enseignement qui prend en compte l'aptitude des apprenants à concevoir et à conduire une démarche scientifique; à formuler des explications scientifiques utilisant l'expérimentation pour prouver leurs hypothèses, semble être la méthode d'enseignement appropriée. Nous avons donc opté pour la démarche d'investigation afin d'aborder ce concept. C'est ainsi que se dégage notre hypothèse principale qui est celle selon laquelle *une séquence d'enseignement-apprentissage par la démarche d'investigation améliore la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique*. Nous nous sommes servis des différentes spécificités de la démarche d'investigation pour émettre deux hypothèses secondaires. Afin de vérifier nos hypothèses, nous avons mené une recherche quasi-expérimentale sur les apprenants des classes de PC₁ et PC₂ du Lycée Bilingue de Mimboman suivant une technique d'échantillonnage par choix raisonné. Notre échantillon total est constitué de quatre-vingt-neuf (89) apprenants: quarante-quatre (44) ont constitué notre GE qui a suivi le cours sur la caractérisation de l'image d'un objet donnée par une lentille mince par DI; quarante-cinq (45) autres ont formé le GT, ayant suivi le même cours par la démarche d'enseignement classique. Les résultats obtenus aux différents tests ont subi une analyse quantitative. Du post-test dont les résultats nous ont permis de vérifier nos hypothèses, il en ressort que: pour la première hypothèse spécifique, la moyenne des scores des répondants par modalité des réponses du GT passe de 47,9% au pré-test à 54,44% au post-test; au GE, elle passe de 45,7% au pré-test à 85% au post-test, pour ce qui est de la seconde hypothèse spécifique, la moyenne du GT passe de 42,22% au pré-test à 42,96% au post-test tandis que dans le GE, elle passe de 52,05% au pré-test à 70,57% au post-test. De ces résultats, on conclut qu'une séquence d'enseignement-apprentissage par la DI améliore la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

Mots clés : modélisation, image, démarche d'investigation, transposition didactique.

ABSTRACT

Our study focuses on the modeling of the concept of image in geometric optics by première (1^{ère}) science class learners. Several works in didactics of physical sciences present the difficulties posed by the concept of optical image in its teaching and learning process, these difficulties and observations made on the field, helped us to formulate the problem of the construction of the image of an object through a thin lens by learners of première (1^{ère}) science. Thus, in order to improve learner's understanding of the concept of optical image, a teaching method that takes into account the ability of learners to design and conduct a scientific process; to formulate scientific explanations using experimentation to prove their hypotheses, seems to be the appropriate teaching method. We therefore opted for the investigative approach to tackle this concept. This is how our main research hypothesis emerged, that is *a teaching-learning sequence through the investigative approach improves the understanding of the construction of the image of an object through a thin lens in a première science class*. We used different specificities of the investigative approach to put forward two secondary research hypotheses. In order to verify our hypotheses, we conducted a quasi-experimental research on the learners of the PC₁ and PC₂ classes of GBHS Mimboman using a reasoned choice sampling technique. Our total sample consisted of eighty-nine (89) learners: forty-four (44) constituted our experimental group (EG) who took the course on the characterization of the image of an object given by a thin lens by DI; forty-five (45) others formed the control group (CG), having followed the same course through the classical teaching approach. The results obtained in the various tests underwent a quantitative analysis. From the post-test, the results obtained allowed us to verify our research hypotheses, it appears that: for the first specific hypothesis, the average scores of the respondents according to response modalities for the CG goes from 47.9% in the pre-test to 54, 44% at post-test; and in the EG it goes from 45.7% at the pre-test to 85% at the post-test, for the second specific research hypothesis, the average for the CG goes from 42.22% at the pre-test to 42.96 % at the post-test while in the EG, it goes from 52.05% at the pre-test to 70.57% at the post-test. From these results, we concluded that a teaching-learning sequence through the investigative approach improves the understanding of the construction of the image of an object through a thin lens in première (1^{ère}) science.

Key words: modelling, image, investigative approach, didactic transposition.

LISTE DES ABRÉVIATION

AJOG	:	Atelier Java d'Optique géométrique
DI	:	Démarche d'Investigation
CG	:	Control Group
EG	:	Experimental Group
GE	:	Groupe expérimental
GT	:	Groupe témoin
H1	:	Hypothèse alternative
H0	:	Hypothèse nulle
HS	:	Hypothèse spécifique
MINESEC	:	Ministère des Enseignements Secondaires
OS	:	Objectif spécifique
PC	:	Première C
QS	:	Question spécifique

LISTE DES FIGURES

Figure 1: structure de l'apprentissage selon Vygotsky (Maurine Tardif)	16
Figure 2: structure de l'apprentissage selon Vygotski (Ayina B., 2013)	17
Figure 3: Triangle didactique (Kuzniak, 2004)	19
Figure 4: Triangle didactique (Kuzniak, 2004)	20
Figure 5: Situation didactique de base (Kuzniak, 2004)	20
Figure 6: Elaboration d'un modèle en physique (Achouri, 2005, p.23).....	25
Figure 7: Processus de modélisation chez l'élève (Achouri, 2005, p. 24)	26
Figure 8: schéma de la démarche d'investigation (Ansermot, 2011).....	34
Figure 9: proposition du groupe 2	77
Figure 10: proposition du groupe 3	78
Figure 11: proposition du groupe 4	78

LISTES DES TABEAUX

Table 1: répartition de la population accessible	51
Table 2: répartition des effectifs de l'expérience	52
Table 3: Analyse a priori du pré-test	55
Table 4: Analyse a priori du post-test.....	60
Table 5: dispositif d'enseignement.....	69
Table 6: Principales Caractéristiques du pré-test en PC ₁	80
Table 7: Principales Caractéristiques du pré-test en PC ₂	81
Table 8: Test d'égalité des espérances: deux observations de variances égales	84
Table 9: distribution des apprenants du post-test selon leur genre et par groupe.....	86
Table 10: Principales Caractéristiques du post-test Groupe Témoin (GT)	87
Table 11: Principales Caractéristiques du post-test au Groupe Expérimentale (GE).....	88
Table 12: résultats du prétest par item des deux classes.....	89
Table 13: résultats du post-test par item des deux groupes	90
Table 14: Test d'égalité des espérances: deux observations de variances égales	91
Table 15: Test d'égalité des espérances des distributions des scores du Groupe Témoin et du Groupe Expérimental pour l'hypothèse secondaire 1	93
Table 16: Test d'égalité des espérances des distributions des scores du Groupe Témoin et du Groupe Expérimental pour l'hypothèse secondaire 2	96
Table 17: Test d'égalité des variances (F-Test)	xxix
Table 18: Test d'égalité des variances (F-Test) des deux groupes	xxx
Table 19: Statistiques de groupe associé au test de l'hypothèse 1 de l'étude	xxxii
Table 20: Statistiques de groupe associé au test de l'hypothèse 2 de l'étude	xxxiii

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1: Pourcentage des apprenants bien noté par question en PC ₁ (en % du total de la classe)	81
Graphique 2: Pourcentage des apprenants bien noté par question en PC ₂ (en % du total de la classe)	82
Graphique 3: évolution des pourcentages des apprenants du pré-test bien noté par question en PC ₁ et PC ₂ (en % du total de la classe)	82
Graphique 4: Pourcentage des élèves du Groupe Témoin (GT) bien noté par question au post-test, (en % du total de la classe)	87
Graphique 5: Pourcentage des élèves du Groupe Expérimental (GE) bien noté par question au post-test (en % du total de la classe)	88
Graphique 6: évolution des pourcentages des élèves du Groupe Témoin et du Groupe Expérimental bien noté par question au post-test (en % du total de la classe).....	90

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1: extrait du programme de physique de première scientifique.....	xiii
ANNEXE 2: questionnaire du pré-test	xv
ANNEXE 3: fiche d'activité.....	xix
ANNEXE 4: questionnaire du post-test.....	xxv
ANNEXE 5: Test d'égalité des variances (F-Test)	xxix
ANNEXE 6: Test d'égalité des variances (F-Test) des deux groupes	xxx
ANNEXE 7: Statistiques de groupe associé au test de l'hypothèse 1 de l'étude	xxxi
ANNEXE 8: Statistiques de groupe associé au test de l'hypothèse 2 de l'étude	xxxii

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La formation scientifique est considérée comme l'un des enjeux majeurs de la société de demain, au regard de l'importance manifeste de la science et de la technologie dans nos vie (De Boer, 1991). C'est ainsi que les pays développés et en voie de développement valorisent les disciplines (physique, chimie) dans l'enseignement général et/ou technique pour le développement de la culture scientifique et technologique. C'est dans cet optique que le ministère des enseignements secondaires au Cameroun s'est engagé dans une réforme curriculaire depuis plus d'une décennie. Réforme qui s'est traduite par la mise en œuvre en 2014 de nouveaux programmes d'études du premier cycle selon l'Approche Par les Compétences (APC) avec entrée par les situations de vie, et qui a évolué progressivement jusqu'à atteindre la classe de terminale depuis l'année scolaire 2020/2021.

Ainsi, l'arrêté n°09/20/MINESEC du 24 janvier 2020 portant définition des programmes d'études de physique pour les classes de 1^{ère}E, C, D et TI (qui rentre dans le cadre de notre travail) et met l'accent sur les compétences. Dans ces programmes, l'enseignement de la physique vise à donner aux apprenants la possibilité de:

développer leur culture scientifique et leurs compétences dans un environnement où ils seront de plus en plus amenés à faire des choix dans les situations où ils seront engagés ou qui engagent leur environnement; se familiariser avec la méthode scientifique d'une façon accessible et simple, à travers le travail en groupe et l'expérimentation (MINESEC, 2020, p 6).

Pour atteindre ces compétences, ce programme privilégie essentiellement la démarche expérimentale (MINESEC, 2020).

La physique, Considérée comme une science qui traite l'univers matériel (Ansermot, 2011), joue un rôle déterminant dans le développement des représentations du monde expérimentalement vérifiables, l'amélioration du niveau de vie des sociétés et la compréhension des phénomènes naturels. Elle regorge une multiplicité de concepts, parmi lesquels le concept d'image en optique géométrique. L'enseignement de la physique en générale et du concept d'image optique en particulier doit fournir aux apprenants des meilleurs conditions de modélisation pour faciliter leur processus d'acquisition. Ce concept leur permettra d'interpréter et de prévoir des phénomènes ou de résoudre des problèmes dans un champ opératoire large.

Le concept d'image apparaît dans plusieurs systèmes optiques à l'instar des lentilles, miroirs plans, miroirs concaves et convexes. Dans le cadre de notre étude, nous allons nous

intéresser au système optique lentille car, c'est ce système qui est étudié en classe de première scientifique (MINESEC, 2020). Le concept d'image constitue un élément essentiel en optique géométrique qui mérite de s'y attarder car intervient et occupe une place centrale dans la quasi-totalité des savoirs présentés dans ledit module comme le montre l'extrait du programme officiel de physique en première scientifique (Annexe 1). A titre d'exemple dans l'enseignement des lentilles minces, la compétence visée est de choisir une lentille mince en fonction de ses caractéristiques et de prévoir les caractéristiques d'un objet lumineux donné par cette lentille mince. Comme exemple de savoir-faire attendu, les apprenants doivent construire les images d'un objet donné par une lentille; construire l'image d'un objet à travers un système de deux lentilles. Comme exemple de savoir-être, les apprenants doivent avoir un esprit critique, avoir un sens de responsabilité, être curieux, développer une habilité d'observation et d'interprétation, savoir que lors de la vision d'une image à travers une lentille, la lumière issue de l'objet pénètre dans l'œil après un parcours non rectiligne et que le cerveau interprète comme venant en ligne droite. De cette analyse faite d'un savoir (lentilles minces), nous notons que le concept d'image optique est indispensable dans la transposition de ces savoirs. Donc porter un regard particulier sur ce concept permettra aux apprenants de mieux appréhender les différents savoirs développer dans ce module d'optique.

De par notre expérience d'enseignant de physiques et de chimie dans les lycées et collèges au Cameroun, nous nous sommes rendu compte que les apprenants de la classe de première scientifique éprouvent des difficultés en ce qui concerne la compréhension du concept d'image optique. Etant rendu sur le terrain pour le compte de notre stage d'observation pratique, nous avons fait les constats selon lesquels durant la leçon portant sur les lentilles minces par exemple, le professeur utilise très peu ou alors pas du tout des techniques de questionnements qui peuvent pousser les apprenants à expliciter leurs conduites ou leurs raisonnements; les apprenants organisent très peu leurs conduites et sont habitués pour la plupart à appliquer des formules de manière routinière sans trop savoir pourquoi ils le font ou quand ils le font. Au terme de ladite leçon, les apprenants étaient quasiment incapables de réaliser la construction d'un faisceau provenant d'un objet ponctuel ou étendu à l'infini traversant une lentille mince convergente; quasiment incapables d'utiliser le nombre de rayon lumineux nécessaire dans la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince; quasiment incapables de réaliser la construction de l'image d'un objet à travers un système de lentilles (nous avons pu recueillir ces informations après l'analyse des copies des différentes évaluations).

A cause des difficultés que son enseignement et son apprentissage présentent pour plusieurs apprenants, le concept d'image optique a fait l'objet de plusieurs travaux de recherches en didactiques des sciences physiques (Goldberg et McDermott, 1984, 1987; Fawaz, 1985; Kaminski et Mistrioti, 2000; Viennot, 2000; Achouri, 2005; Clark, 2011; Ouazzani et al, 2016) dans différents pays (Etats Unis, Liban, France). Ces travaux ont mis en œuvre différentes méthodologies et ont permis de déceler des conceptions alternatives et de difficultés d'apprentissage rencontrés chez des apprenants de différents niveaux scolaires.

Goldberg et McDermott (1984) ont mené une étude sur la « *formation des images virtuelles par le miroir plan et celle des images réelles par les lentilles minces convergentes* » aux Etats-Unis auprès de 30 étudiants du premier cycle universitaire en vue de recenser les conceptions des apprenants sur le concept d'image, et se sont servis des entretiens individuels pour atteindre leur but. A la lumière des analyses de leurs résultats, ces auteurs ont pu identifier une conception erronée dite fondamentale qui est celle de la conception d'« *image voyageuse* »¹. Cette conception a également été identifiée par Fawaz (1985), puis par Kaminski et Mistrioti (2000).

Fawaz (1985), dans ses travaux menés au Liban auprès de vingt-cinq (25) à cent-dix (110) élèves (16-17ans) de la classe de première, vise en général à explorer certaines difficultés de l'optique géométrique. Il s'est servi des questionnaires écrits illustrés par des schémas pour atteindre son but. Il montre que les réponses des élèves renferment des difficultés d'ordre conceptuel. Les principales difficultés conceptuelles mise en évidence par cette étude sont: difficulté conceptuelle associée au nombre minimum de rayons partant d'un point de l'objet; difficulté conceptuelle liée au tracé du rayon de construction ; difficulté conceptuelle résidant dans le désir de mettre un « *pied* » à l'objet et à l'image sur l'axe optique; difficulté conceptuelle relative à la correspondance objet-image (ponctuelle et globale); difficulté de saisir le statut même du schéma optique. Beaucoup de ces difficultés ont été qualifiées de « *commune* » non seulement parce qu'elles étaient très répandues, mais aussi parce qu'elles semblaient liées d'avantage au sens commun qu'à l'enseignement préalablement reçu (Khalid, 2006). Comme présenté, le caractère omniprésent et problématique des conceptions des élèves, souvent

¹ Elle se formule de la façon suivante: « *un objet lumineux produit des rayons parallèles qui voyagent à travers l'espace; lorsque l'image ponctuelle traverse un système optique, il la modifie en orientation ou en taille, on lui fournit une surface sur laquelle elle pourra être vue. Le rôle de la lentille est d'inverser l'image ou de modifier sa taille; le rôle de l'écran est de réfléchir ou de capturer les rayons de sorte que l'image puisse être vue. Une image ne peut être vue dans l'espace indépendamment d'une surface* ».

erronées est source d'obstacles épistémologiques importants et persistants (Ansermot, 2011). Le plus souvent les problèmes de compréhension sont dus à certains scénarios pédagogiques au cours desquels la transposition des savoirs savants en savoirs enseignés ou à enseigner s'impose d'une manière qui limite le processus de construction de ce savoir chez les élèves (Astolfi, 1989).

Ouazzani et al (2016) quant à eux mènent une étude sur les difficultés conceptuelles relatives à la construction d'une image virtuelle auprès de 124 élèves de la 1^{ère} année du baccalauréat (2^e année du lycée). Ceci dans le but d'identifier ces difficultés d'une part et d'évaluer l'impact de l'utilisation d'un Atelier Java d'Optique Géométrique (AJOG) d'autre part. Pour ce faire, les auteurs élaborent des tests mettant en jeu des exercices clairement conçus en référence à la construction de l'image virtuelle. Face aux difficultés identifiées que sont: la difficulté conceptuelle associée au tracé du prolongement du rayon de construction; la difficulté conceptuelle relative au minimum de rayons partant du même point objet; la difficulté conceptuelle de la correspondance objet-image (ponctuelle et globale), les auteurs utilisent un Atelier Java d'Optique Géométrique (AJOG) pour résoudre ces difficultés. Il ressort que:

Malgré le caractère interactif qui caractérise l'AJOG pour la construction de l'image virtuelle, l'élève se heurte toujours à la difficulté conceptuelle de la correspondance objet-image (ponctuelle et globale), et également à la difficulté conceptuelle relative au nombre minimum de rayons partant du même point de l'objet. (Ouazzani et al., 2016, p. 208).

Une difficulté majeure relevée par Ouazzani et al (2016) est l'élaboration de scénarios pédagogiques adéquats, permettant de tirer le maximum de profit de l'usage de l'AJOG.

Fort de ces constats, il apparaît un écart entre les procédures d'enseignement et les acquis des apprenants. En effet, au regard de toutes ces explicitations problématiques au sujet de la compréhension des apprenants sur le concept d'image optique en classe de première scientifique, ce qui nous intéresse et mérite d'être mis en lumière est le problème de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince par ces derniers.

Dans le but d'améliorer la compréhension par les apprenants du concept d'image optique, nous nous sommes proposés d'effectuer une étude visant à mettre en œuvre une méthode d'enseignement appropriée pour aborder ce concept avec les apprenants de la classe de première scientifique. Comme méthode prenant en compte l'aptitude des apprenants à

concevoir et à conduire une démarche scientifique pour résoudre un problème, à formuler des explications scientifiques utilisant l'expérimentation pour prouver leurs hypothèses, à communiquer leurs résultats et à les exploiter et permettant aux apprenants de faire davantage preuve d'esprit d'initiative, d'esprit critique, de curiosité et de créativité, nous pensons que la démarche d'investigation semble être la méthode appropriée pour aborder ce concept. Suite à cette réflexion, est né notre question principale: Quel serait l'impact d'une séquence d'enseignement-apprentissage par la démarche d'investigation sur la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique ? D'une manière générale celle-ci sera explorée à travers deux axes qui représenteront deux questions spécifiques.

QS1: dans quelle mesure l'entraînement à l'émission des hypothèses améliore-t-elle la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique ?

QS2: dans quelle mesure les activités de modélisation améliorent-elles la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique ?

En vue de mettre en place une expérimentation qui nous fournira les éléments nécessaires pour répondre à cette question, notre objectif général a été formulé comme suit: montrer qu'une séquence d'enseignement-apprentissage par la démarche d'investigation améliore la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique. Cet objectif général va être subdivisé en deux objectifs spécifiques.

OS1: vérifier que l'entraînement à l'émission des hypothèses facilite la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

OS2: vérifier que les activités de modélisation facilitent la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

En guise de réponse provisoire à notre question principale, nous avons émis l'hypothèse suivante: une séquence d'enseignement-apprentissage par la démarche d'investigation améliore la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique. De cette hypothèse émane deux hypothèses spécifiques.

HS1: l'entraînement à l'émission des hypothèses facilite la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

HS2: les activités de modélisation facilitent la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

La recherche que nous présentons sous forme de mémoire est subdivisée en six chapitres:

- ❖ La partie théorique qui comporte les chapitres suivants:
 - le premier chapitre porte sur l'étude historique et épistémologique du concept ou nous présenterons l'évolution du concept dans le temps;
 - le second chapitre porte sur le cadre théorique dans lequel nous présentons les différentes théories qui soutiennent notre étude à savoir le socioconstructivisme et la théorie des situations didactique;
 - le chapitre trois porte sur la revue de littérature ou nous présenterons de manière critique les travaux en relation avec notre étude.
- ❖ La partie expérimentale qui comporte les chapitres suivants:
 - le chapitre quatre intitulé méthodologie de la recherche dans lequel nous présenterons le sujet de l'expérimentation, le matériel, le protocole expérimental, les outils de collecte des données, outils d'analyse des données, le lieu, le moment et la durée de l'expérimentation;
 - le chapitre cinq intitulé expérimentation dans lequel nous décrirons le déroulement effectif des activités menées, ou des activités auxquelles sont soumis les sujets;
 - le chapitre six intitulé résultats et discussions dans lequel nous présenterons les différents résultats obtenus, puis l'analyse de ces résultats suivant la grille d'analyse construite a priori

**Première partie: Partie
théorique**

CHAPITRE 1: ÉTUDE HISTORIQUE ET ÉPISTÉMOLOGIQUE DU CONCEPT D'IMAGE OPTIQUE

Ce chapitre aborde l'étude historique et épistémologique de l'optique géométrique et en particulier du concept image. Nous présenterons un aperçu historique de la naissance du concept « image », puis une étude épistémologique qui illustre les principales notions qui le fondent.

1.1. Aspects historiques du développement de l'optique géométrique, et en particulier du concept « image »

L'image est le nœud de problèmes philosophiques majeur concernant la distinction de la réalité et de l'apparence, la relation de l'homme au monde qui l'entoure, ou le statut de l'imaginaire et de ses productions.

L'image et l'optique du rayon visuel

L'histoire de l'optique commence avec les Grecs: le mot optique vient du grec « Opticos » c'est-à-dire relatif à l'œil humain. Ce sont eux qui ont fondé l'optique comme science géométrisée et la plupart des mots que nous y utilisons viennent d'eux. Mais toutefois le terme image a une origine latine; « *imago* » renvoie à la notion d'imitation (racine im-), et par elle de ressemblance: il peut s'agir d'un portrait, comme ces portraits d'ancêtres qu'on exposait dans les demeures patriciennes sur l'autel consacré au culte familial, ou même de l'ombre d'un mort; mais plus généralement d'une représentation d'une chose ou personne (Lecourt, 2006). Ces étymologies sont significatives, elles rappellent que l'image est apparence, et porte en elle l'énigme de la ressemblance, le pouvoir de l'évocation, et le piège de l'illusion. Depuis l'Antiquité, avec Euclide, le concept de rayon lumineux et de propagation rectiligne est présent, mais le problème est dans l'interprétation de la « vision ». D'après (Ronchi, 1966 ; Baudet, 2015) il y'a eu plusieurs interprétations:

Tout d'abord nous avons les Pythagoriciens, et après eux Euclide qui estimaient que les yeux projettent un flux de rayons en ligne droite qui permet la perception de l'objet par une sorte de contact à l'instar du touché (l'œil était considéré comme source d'émission de la lumière). Ce fut la conception des « *rayons visuels* » (Ronchi, 1966). Pour justifier ces points

de vu, ils se basaient généralement d'une explication philosophique sur des faits de la vie quotidienne, mais ce qui conduisait à produire des faux modèles et rendre impossible l'interprétation de certains phénomènes (les déformations de la perspectives, la réflexion, la réfraction des rayons visuels...). Le rayon visuel étant normalement rectiligne, on devait donc voir l'image dans le prolongement de la direction initiale du rayon visuel; mais on savait par ailleurs que dans les miroirs plans on le voit dans le prolongement de la perpendiculaire abaissée de l'objet au miroir. On concluait qu'elle se trouvait à l'intersection. Cette construction archétypale de l'image, valable pour les miroirs plans, fut abusivement étendu à toutes les variétés de miroirs convexes et concaves, ainsi qu'aux réfractions. Or pour certaines incidences sur les miroirs sphériques convexes, et plus encore sur les concaves, cette intersection au lieu de se situer derrière le miroir (cas d'une image virtuelle) se situe devant lui (cas d'une image réelle), et même parfois derrière l'œil.

L'optique du rayon visuel, bien que géométrique, ne remettait donc nullement en cause les caractères traditionnels de l'image. Le but de l'optique n'était pas d'accroître la puissance de la vue, mais de la préserver de l'erreur en étudiant à quelles conditions elle est véridique ou trompeuse. Ce faisant, l'optique s'insérait dans un des plus constants débats philosophiques de l'Antiquité, celui de savoir si et jusqu'où l'homme peut se fier à ses sens, et aux objets de ses sens. L'image ne présentait aucun caractère de vérité ou d'accès à la vérité. L'image optique pouvait au mieux, comme l'image peinte, faire saisir l'apparence d'une apparence.

Ensuite une autre école, celle des atomistes, contemporains des pythagoriciens, avait émis une autre hypothèse, que l'on peut considérer comme la première idée sur les images. C'est la théorie des « *idoles* », selon laquelle de chaque objet partent dans toutes les directions des écorces infiniment petites. Celles-ci conservent l'ordre qu'elles avaient sur l'objet, traversent la pupille pour reconstituer la forme initiale de l'objet dans l'œil. Cette forme est transmise à la psyché qui s'arrange pour la localiser convenablement.

L'image et l'optique du rayon lumineux

Au moyen âge, les conquêtes et invasions se multiplient partout en Europe, et une grande partie du savoir grec accumulé pendant l'antiquité se perd. C'est ainsi que la civilisation arabo-musulmane prend le relais du travail engagé par les grecs. C'est à la fin du X^{ème} siècle que ces théories grecques, celles des « *rayons visuels* » et celle des « *idoles* », reçoivent un coup mortel avec l'apparition, en orient, d'un savant arabe Ibn Al Haytham. L'on commence à concevoir le rayon lumineux comme indépendant de l'œil humain. C'est Ibn Al Haytham (965-1039) qui

explique la « vision » comme la réception par l'œil des rayons lumineux. Et en élaborant son « traité d'optique » il donne à l'optique un nouvel aspect mathématique à la fois démonstratif et expérimental. Il va dès lors orienter de façon décisive la voie de l'optique en imaginant, pour la première fois, une correspondance point à point entre objet et image. Après avoir étudié la structure anatomique de l'œil et dégagé l'importance de chaque membrane, il est convaincu de la nécessité d'un agent extérieur pour compléter le phénomène de la vision. Il suppose alors que la lumière part de tout point de l'objet dans toutes les directions et tombe sur la pupille de l'œil sous forme d'un cône ayant son sommet au point considéré et sa base sur la pupille. Il défend également l'idée que l'image se forme sur le cristallin ce qui ne lui donnera pas la possibilité d'expliquer le processus de la vision (Ronchi, 1966). Pour justifier la limite de cette conception de formation de l'image sur le cristallin, Simon (1999) affirme que:

si l'organe sensoriel est le cristallin, nous devrions sentir les objets en nous, à l'intérieur de l'œil. Or il n'en est rien. La vision ne réduit donc pas la sensation pure... nous concluons que l'objet est hors de nous parce que, quand nous fermons les yeux, nous cessons de voir (Achouri, 2005, p. 12).

L'optique progresse, l'on assiste à un intérêt accru pour la connaissance de l'œil en tant qu'organe de vision. C'est dans cette optique qu'en 1604, Kelper établit sa théorie:

les corps matériels comme constitués d'une infinité de points parmi lesquels ceux de la surface émettent des rayons rectilignes qui s'étendent à l'infini tant qu'ils ne rencontrent pas d'obstacles. Chaque point émet une étoile (signifie un point) de rayons dans toutes les directions; si en face se trouve un œil, un cône des rayons y pénètre, ce cône a pour sommet l'étoile et pour base la pupille. Ces rayons se réfractent ensuite soit à travers la cornée soit à travers les milieux internes de l'œil et viennent former un nouveau cône qui a encore pour base la pupille mais pour sommet un point de rétine (Ronchi, 1966, p. 33).

Dans son livre « *Les paralipomènes à Vitellion* », il distingue l'image vue directement et l'image projetée sur l'écran, et leur donne des noms différents. De plus il renouvelle la théorie de la vision et assimile définitivement l'œil à un dispositif optique conduisant à la formation d'une image réelle sur la rétine, qui pour assurer une bonne vision doit être parfaite nette (Huygens, 1992). Toute vision, même dans un miroir ou à travers un dioptré, exige désormais une image rétinienne réelle. De plus pour les miroirs sphériques comme pour les dioptrés, il faut considérer le trajet de faisceaux de rayons et non de rayons isolés, et que la netteté de l'image

réelle obtenue dépend de la bonne convergence du faisceau réfléchi ou réfracté (Lecourt, 2006). L'image cesse d'être en tant que telle un mirage ou une fiction. La limite de la théorie de Kepler est qu'elle n'explique pas l'aspect physique de la lumière.

Déjà l'étude de la perspective avait obligé à penser l'image comme la transformation réglée point par point d'un objet. Au-delà de l'acceptation géométrique d'image, d'un point, l'image finira de nos jours par être l'élément d'un ensemble qui correspond, et correspond seul, à un élément d'un premier ensemble. Ainsi, l'une des voies d'évolution ouvertes au XVII^{ème} siècle au concept d'image (non sans discussion) est celle de représenter fidèlement ce dont elle est l'objet. Le télescope, puis le microscope relèvent un champ de visibilité inaccessible à l'œil nu et pourtant fiable, parce que justifiable par la théorie. L'image dessinée, fixée par la gravure et diffusée par l'imprimerie, joue un rôle scientifique croissant. L'âge classique est celui de l'observation et des voyages, où l'on cherche à voir pour reproduire méthodiquement ce qu'on voit. Le XIX^{ème} siècle saura renforcer cet acquis par les applications scientifiques de la photographie et du cinéma. La visualisation par l'image ou le graphe s'impose comme l'auxiliaire de la conceptualisation et du calcul. Durant le même siècle, une optique physiologique et une psychologie de la perception expérimentales donnent leurs bases théoriques aux techniques donnant l'impression du mouvement. L'image commence à acquérir une présence forte, qui s'impose parfois comme alternative au quotidien.

L'image à l'âge de l'électronique

Concernant la production d'images, la grande innovation du XX^{ème} siècle a été d'abandonner le modèle de la vision naturelle, qui se matérialise encore dans une caméra de cinéma. Le champ de l'optique a dépassé le spectre de la lumière visible pour s'étendre à l'ensemble des rayonnements électromagnétiques. Par ailleurs, par analogie avec la propagation de rayons lumineux dans des milieux diversement réfringents, s'est développée une optique électronique² étudiant la trajectoire dans un vide poussée d'électrons libres accélérés, et les moyens de les guider comme à travers des lentilles ou des prismes. On a inventé des procédés d'investigation visuelle à partir des phénomènes naturels qui n'ont plus d'équivalent optique, tels que la résonance magnétique nucléaire ou l'effet tunnel. De plus, avec l'invention de la radio et de la télévision, l'image sonore, puis visuelle a pu se transmettre à une vitesse de l'ordre de celle de la lumière. Enfin l'usage de l'ordinateur a conduit à synthétiser visuellement des

² Encore appelé optique ionique, elle correspond à la production d'image à l'aide de faisceaux d'électrons ou d'ions réfractés, ceci grâce à un champ électrique ou magnétique (lentilles électromagnétiques).

données numérisées, à créer des formes qui soient non plus inspirées du sensible mais conçues selon un programme et à visualiser des informations de tous ordres. L'image se confirme dès lors plus que jamais comme un moyen de connaissance: tout gain dans la visualisation du très loain (en Astronomie), du très petit (dans les sciences de la matière) ou du très enfoui (dans celles de la vie) est un acquis décisif. De plus l'image s'affirme, et c'est nouveau comme un irremplaçable moyen d'intervention, de contrôle et de production: de la microchirurgie à la télésurveillance des processus industriels.

Evolution de l'optique du XVIIème siècle à nos jours

En 1621, Snell a établi les lois de la réfraction et suites à ses travaux, Descartes a publié ses lois qui seront plus tard la base de l'optique géométrique. Les travaux de Snell et Descartes ont permis à Fermat d'énoncer son principe concernant le déplacement de la lumière en 1657.

Au XVIIème siècle la question de la nature de la lumière se pose tellement, si bien que deux théories qui s'opposent verront le jour: la théorie ondulatoire et la théorie corpusculaire.

- La première était développée par Huygens suite aux travaux d'Hooke en 1665. Elle a pour idée principale : « la lumière n'est donc qu'un mouvement ou, plus exactement une tendance au mouvement. » (Huygens, 1992, p. 20). Cette théorie fut complétée par plusieurs autres chercheurs à l'instar de Young qui explique les interférences puis par Fresnel et Arago (1818) pour montrer que la lumière ne pouvait pas être une vibration longitudinale comme le son, mais qu'elle était transversale de vitesse de propagation $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.
- La deuxième développée par Newton en 1690. Il considère que la lumière est formée d'un flot de corpuscules lancés à grande vitesse à partir de l'objet lumineux dans un milieu « éther » et qui vient frapper l'œil.

La controverse sur la nature de la lumière s'est éteinte avec les travaux de Maxwell (1876) qui interprète la lumière comme une onde électromagnétique. Louis de Broglie (1924), quant à lui, dépasse la controverse entre les deux natures d'une façon en établissant une correspondance entre une onde et un corpuscule : c'est la dualité onde corpuscule. L'optique quantique ³voit le jour. Néanmoins, cette conciliation ne résolut pas plusieurs problèmes à

³ Les théories d'Einstein sur la nature corpusculaire de la lumière donneront naissance au photon et à l'optique quantique. Elle permet de concilier l'aspect ondulatoire (phénomènes d'interférences, de diffraction...) et corpusculaire (effet photoélectrique, émission spontanée...) de la lumière.

l'instar des échanges entre les rayonnements et la matière. C'est dans la seconde moitié du XXème siècle que ces problèmes sont résolus avec Tomonog, Schwinger et Feynman.

En 1957, le fibroscope (endoscope flexible médical) est inventé par Basil Hirschowitz aux Etats-Unis.

En 1966, Georges Hockman grâce à la fibre optique ; travaille sur la transmission des informations sur une grande distance: c'est la toute première transmission des données par fibre optique, elle est assez rudimentaire car il y'a des pertes de phases pendant la transmission.

En 1977, le premier système de télécommunication optique est installé au centre-ville de Chicago.

En 1998, grâce aux travaux de Philip Russel, les cristaux photoniques Bidimensionnels sont utilisés sous la forme de fibres optique à cristaux photonique.

En 1999, le savant Cuhe a appliqué l'holographie numérique à la microscopie.

Dans les années 2000, l'imagerie numérique se développe, les feuilles polaroid sont utilisées dans des écrans à cristaux liquides, des microscopes optiques.

1.2. Différents concepts physiques qui donnent sens au concept image

Notre réflexion épistémologique couvre les trois concepts de base tels que : rayon lumineux, faisceau de lumière et image. L'optique géométrique est une branche de l'optique qui traite le problème de trajet de la lumière et pour cela elle se fonde sur le concept de rayon lumineux. Cette approche simple permet entre autres des constructions géométriques d'images. L'optique géométrique peut être présenté comme une approximation de l'optique ondulatoire.

Le premier concept étant le rayon lumineux, et d'après Pérez (1996), « on appelle rayon lumineux la droite que l'on peut imaginer en réduisant les dimensions du trou, tout en négligeant la diffraction. Le rayon lumineux s'identifie alors à la normale à la surface d'onde. » Par ailleurs:

le rayon lumineux est une abstraction géométrique. C'est une ligne entre deux points de l'espace qui représente le chemin emprunté par la lumière pour aller d'un point à un autre (par exemple, dans un milieu homogène ce chemin est une ligne droite) (Léna et Bianchard, 1990, p. 43).

Cette notion des rayons lumineux est fondamentale pour l'optique géométrique:

le rayon lumineux est le trajet suivi par la lumière, c'est aussi la courbe suivant laquelle l'énergie transportée par l'onde lumineuse se propage... Cette notion de rayon lumineux est suffisante pour construire des images dans des systèmes optiques (Manoubi, 1999, p. 5).

Le deuxième concept important est celui de faisceau de lumière. Le problème fondamental qui se pose alors est celui de l'articulation entre les notions des rayons de lumière et de faisceau de lumière. Le faisceau est l'ensemble des rayons qui passent à travers une surface donnée.

L'optique géométrique a utilisé plusieurs autres principes surtout pour le domaine de la formation des images comme le principe de Fermat qui couvre les lois de la réfraction, et la construction de Huygens. Le principe de Fermat est l'un des principes les plus importants car il présente la trajectoire empruntée par la lumière lorsqu'elle se propage dans un milieu donné. La lumière ne se propage pas toujours en ligne droite car cette propagation dépend des propriétés optiques du milieu ainsi que de phénomènes de diffusion. Son principe s'énonce ainsi : « *le trajet emprunté par le rayon lumineux entre deux points A et B comme le temps de parcours de la lumière entre ces deux points est stationnaire.* » (Léna et Bianchard, 1990).

Le troisième concept important est un concept complexe, celui d'image. Ce concept est en relation directe avec les précédents et il reste à être précisé car le thème image recouvre dans la science et la technologie moderne une grande variété de significations (Simon, 1999a, pp 491 et 494). Donc l'image est une information reçue par l'œil grâce à la lumière.

Ce concept « *image* » nous met en face d'autres sous-concepts : le point-source ou le point-objet, le point image, l'image réelle, l'image virtuelle (Provost, 1980, pp. 24-20). La construction de l'image (par points) se fait en décomposant l'objet de départ en points; l'objet lumineux (spatialement étendu) est donc la superposition des points sources. Ces derniers sont des points géométriques d'où émanent des rayons lumineux. En présence d'un système optique (S) (miroir, lentille, objectif photo, radiotélescope, etc.); tous les rayons issus d'un point source convergent en un autre point appelé image géométrique réelle de la source à travers S. si ces mêmes rayons divergent en paraissant parvenir d'un autre point géométrique on dit que ce dernier point est l'image géométrique virtuelle de la source. Ainsi, l'image soit réelle, soit virtuelle, peut jouer pour un observateur situé après S le rôle d'un objet réel ou virtuel. Tous

ces sous-concepts forment le domaine de formation des images et l'idée principale à retenir ici que:

« Les rayons lumineux issus de chaque point de l'objet subissent dans l'instrument une succession de réfractions ou de réflexions et interagissent avec un détecteur (œil, film photographique, barrette CCD, etc...). Lorsque les rayons issus d'un point objet A émergent de l'instrument en convergent vers un point B, on dit que B est l'image conjuguée de A » (Pérez, 1996, p. 20).

CHAPITRE 2: CADRE THÉORIQUE

Selon Robert (1986 :1064), une théorie est un « ensemble organisé d'idées, de concepts abstraits prenant pour objet un domaine particulier qu'il décrit et explique » (Robert, 1986). Il s'agit d'une construction intellectuelle abstraite permettant d'expliquer un certain nombre de phénomènes du réel et dont la véracité est généralement démontrée par des dispositifs expérimentaux, et l'observation empirique du réel. Dans le cadre de notre recherche, les théories inhérentes à notre sujet portent sur le socioconstructivisme et les situations didactiques.

2.1. Le socioconstructivisme

Vygotsky (1934), fondateur de la psychologie soviétique censuré durant toute la période Stalinienne. Il ne sera découvert qu'à partir de 1985 sur le plan éducatif pour son idée de « *Zone Proximale de Développement* » qui représente l'écart entre ce que l'individu peut réaliser sur le plan intellectuel pendant son parcours et ce qu'il peut faire grâce à la médiation d'autrui. En d'autres termes, « c'est la distance entre le niveau du développement actuel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout les problèmes et le niveau de développement potentiel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout les problèmes lorsqu'il est assisté d'un adulte ou collabore avec d'autres enfants ». Cette philosophie de l'apprentissage peut être schématisée comme suit:

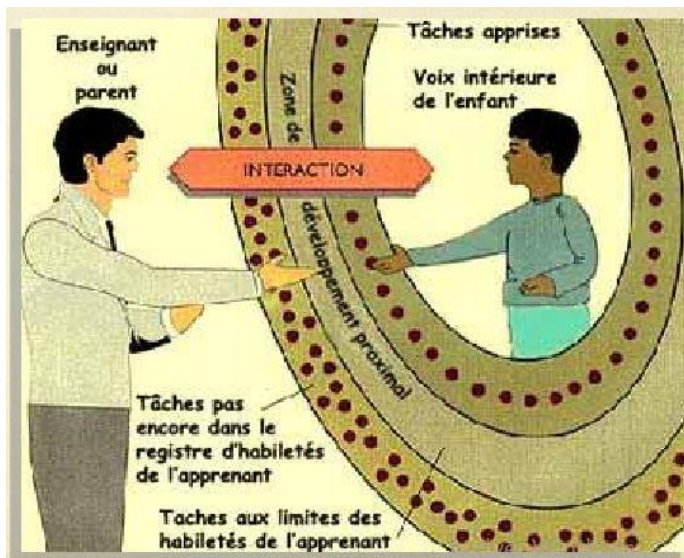


Figure 1: structure de l'apprentissage selon Vygotsky (Maurine Tardif)

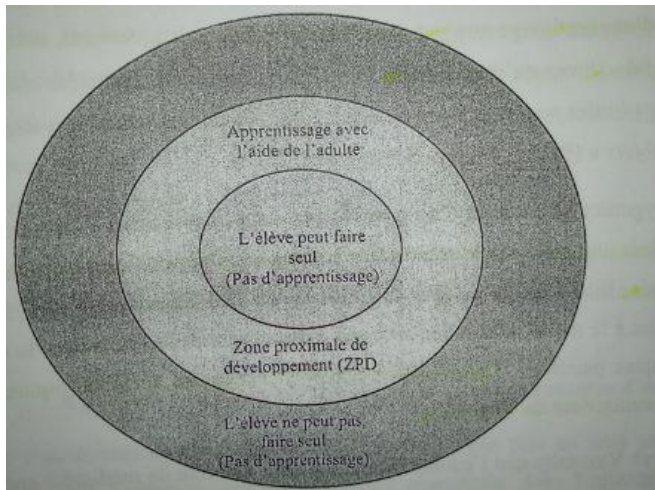


Figure 2: structure de l'apprentissage selon Vygotski (Ayina, 2013)

Dans cette théorie, « le savoir n'est pas le produit de découvertes, mais le résultat d'une démarche de construction intellectuelle, d'un effet d'objectivation » (Fourez, 1992, cité dans Jonnaert & Masciotra, 2004, P.71). « Le socioconstructivisme se caractérise par l'idée que, si tout apprentissage fait effectivement intervenir l'activité cognitive de celui qui apprend, il ne s'effectue pas dans un vide social » (Doise & Mugny, 1981, cité dans Jonnaert & Masciotra, 2004, P.71). Ce qui nous permet de mettre l'accent sur le caractère contextualisé des apprentissages et sur le rôle central des interactions sociales, en particulier le rôle médiateur que peut exercer un sujet plus compétent auprès d'un sujet moins compétent, dans le processus d'acquisition de connaissances nouvelles.

L'apprentissage n'est pas seulement ce que l'enseignant transmet (Magistrocentrisme) mais aussi l'interaction entre enseignant-élèves et élèves-élèves. Ce type de démarche permet d'obtenir une classe active, c'est d'ailleurs à partir de cela que le savoir se construit et ceci dans un cadre social. Ici, on tient compte à la fois de ce que tout le monde pense et apporte à travers les interactions. Vygotski (1934), considère l'apprentissage comme le résultat des activités sociocognitives liées aux échanges didactiques entre enseignant-élèves et élèves-élèves. Pour lui, l'enfant doit pouvoir travailler en collaboration avec les autres; ce qui lui permettra d'être plus indépendant dans l'avenir

La notion de conflit sociocognitif proposée par Doise, Mugny (cité dans Bächtold, 2012) a inspiré les didacticiens des sciences dans la mouvance constructiviste et se voit mis en œuvre en particulier de la DI: la phase de discussion collective conduisant à l'identification du problème à investiguer ou la phase de travail en petits groupes visant à déterminer les

hypothèses à explorer sont considérées comme des occasions pour les élèves de faire l'épreuve de conflits sociocognitifs.

Le conflit sociocognitif présente un intérêt, non seulement parce qu'il peut être le moteur d'un changement de conception (à l'instar d'un conflit cognitif personnel), mais également parce qu'il peut conduire à une coopération entre les élèves. Ces derniers peuvent chercher à dépasser ensemble leurs oppositions, en coordonnant leurs actions et leurs idées, ce qui peut se révéler plus fructueux par la construction de nouvelles connaissances qu'une investigation menée individuellement.

Faut également noter que toute interaction sociale n'est pas nécessairement bénéfique car on peut être dans le cas où un enfant cède à l'autre et se soumette à son point de vue.

Le canevas de la DI révèle un modèle d'apprentissage de type socioconstructiviste (Mathé, De Hosson & Métheut, 2012: cité dans Prieur M. et al., 2013, p. 6) dans lequel on peut trouver en filigrane une référence au cadre rationaliste de Bachelard. En effet, le 1^{er} moment intitulé « choix d'une situation-problème » demande de « déterminer les objectifs à atteindre, identifier les conceptions ou les représentations des élèves, ainsi que les difficultés persistantes (analyse d'obstacles cognitifs et d'erreur), élaborer un scénario d'enseignement en fonction de l'analyse de ces différents éléments ». Le 3^e moment intitulé « formulation d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles » propose de s'appuyer sur la « formulation écrite ou orale d'hypothèses par les élèves (ou en groupe) ». Le 4^e moment intitulé « investigation ou résolution du problème conduite par les élèves » propose de s'appuyer sur les « moments de débats interne au groupe d'élèves ». Le 5^e moment intitulé « l'échange argumenté autour des propositions élaborées » propose de s'appuyer sur la « confrontation des propositions, débat autour de leur validité, recherche d'arguments ». Ces modalités de mise en œuvre de la DI attribuent aux apprenants une responsabilité dans la construction de connaissances scientifiques, en rupture avec leurs conceptions initiales, en privilégiant les interactions sociales. L'enseignant conserve sa part de responsabilité dans l'élaboration de la situation et dans la structuration de ces connaissances.

Pendant les activités d'apprentissage, les apprenants sont appelés à échanger sur des activités à travers des questions donc la solution exige la mise en œuvre des savoirs visés dans le but de les amener eux même à résoudre la situation problème. L'enseignant quant à lui construit un cadre d'enseignement adéquat pour favoriser l'apprentissage. Ce travail est soutenu par la théorie des situations didactiques de Guy Brousseau.

2.2. Théorie des situations didactiques

La théorie des situations didactiques développe un cadre pour l'étude des situations d'enseignement de la physique. Deux éléments importants de cette théorie: les notions des situations didactiques et adidactiques et la notion de contrat didactique sont présentés par Brousseau. Vu notre thème de recherche qui se penche sur la démarche d'investigation comme mode de transposition didactique, nous allons uniquement dans cette théorie développer les notions de situation didactique et adidactique.

Situations didactiques et adidactiques

Une situation est l'ensemble des circonstances dans lesquelles une personne se trouve, et des relations qui l'unissent à son milieu. Une situation didactique est une situation où se manifeste directement ou indirectement une volonté d'enseigner (Kuzniak, 2004). La situation adidactique est une situation idéale de référence dans laquelle ce que l'élève fait a un caractère de nécessité par rapport au savoir et non pour des raisons didactiques. En d'autres termes, une situation adidactique est une situation construite de façon à ce que le résultat souhaité ne puisse être obtenu que par la mise en œuvre des connaissances visées mais que l'élève ne soit pas conscient de l'intention d'enseigner du professeur.

Pour illustrer sa conception de la situation didactique de base dans sa théorie, Brousseau se propose de l'insérer dans le cadre classique du fameux triangle didactique. Ce triangle modélise le jeu de l'enseignement entre trois pôles: un savoir scolaire, un système éducatif souvent représenté dans la classe par un enseignant et enfin un étudiant.

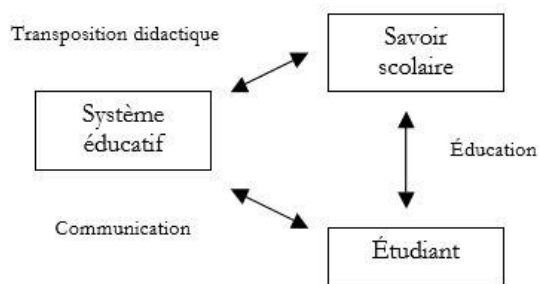


Figure 3: Triangle didactique (Kuzniak, 2004)

Cette façon de voir se place plutôt du côté de l'institution éducative dans son rôle d'instance de transmission ou de communication d'un savoir.

Si l'on se place plutôt du côté de l'apprenant en situation d'apprentissage, un autre triangle se met en place qui fait intervenir le milieu et les connaissances du sujet. Brousseau propose cette organisation du travail de l'élève dans une situation d'apprentissage spontané.

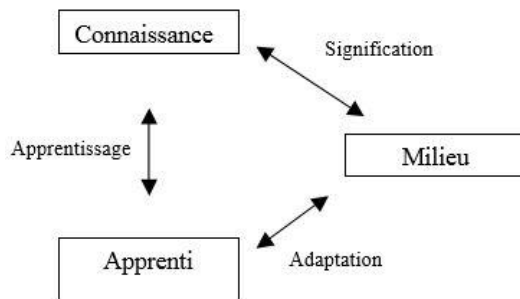


Figure 4: Triangle didactique (Kuzniak, 2004)

Brousseau réorganise ces deux regards sur le système éducatif en privilégiant l'action de l'élève, le professeur a pour tâche essentielle d'établir les conditions les plus favorables à la mise en action de l'élève.

Voici comment se schématise alors la situation didactique de base :

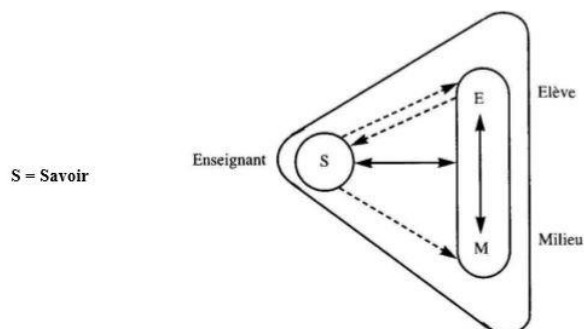


Figure 5: Situation didactique de base (Kuzniak, 2004)

La situation didactique englobe tout l'environnement de l'élève et notamment l'enseignant. La partie adidactique de la situation (désignée sous le nom de situation adidactique) est la partie que le professeur délègue (*dévolue*) à l'élève. Ce dernier peut alors interagir avec un milieu presque non didactique, où il peut et doit ignorer les intentions didactiques du professeur. Cette situation adidactique intervient dans la DI au 4^e moment c'est-à-dire le moment de l'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves, au 5^e moment c'est-à-dire l'échange argumenté autour des propositions élaborées et au 6^e moment c'est-à-dire l'acquisition et structuration des connaissances.

Au sein d'une institution (ou situation) didactique qui doit en permettre l'existence, un jeu (ou situation) adidactique suppose l'articulation de deux processus: la dévolution et

l'institutionnalisation. Le professeur abdique de son intention d'enseigner, engageant l'élève dans une série de jeux dont l'enjeu est une connaissance partagée (un savoir): c'est le processus de *dévolution* et, dans le même temps, le professeur oriente les activités de l'élève pour qu'il parcoure les étapes de la production d'un savoir reconnu dans la culture de la société: c'est le processus *d'institutionnalisation*. Un jeu adidactique est donc doublement sous contrat: le dispositif du jeu concerne des acteurs qui occupent des positions différentes (intention d'enseigner pour le professeur, intention d'apprendre pour l'apprenant) et dont l'interaction vise à la mise en place d'un milieu pour le jeu; la suite des jeux dans (avec et contre) le milieu désigne un enjeu qui n'appartient pas aux jeux mêmes ni à leur milieu: du savoir au sens d'une réponse donnée dans une institution particulière à une catégorie de questions identifiée comme telle au sein de l'institution.

Les variations du milieu d'un jeu adidactique, impulsées par le professeur grâce au contrat, engagent d'ordinaire trois dialectiques: *action*, *formulation*, *validation*, dont la nécessité tient aux propriétés épistémologiques des savoirs mathématiques ou, plus généralement, scientifiques: une dialectique où les actions sont validées ou invalidées par des rétroactions d'un milieu « matériel » ou par les interactions entre élèves à propos du même milieu; une dialectique dans laquelle un modèle d'action se formule collectivement comme stratégie potentiellement gagnante du jeu proposé; une dialectique où il s'agit de valider cette stratégie, comme susceptible en principe et en pratique de faire gagner au jeu à coup sûr.

CHAPITRE 3: REVUE DE LA LITTÉRATURE

Ce chapitre clarifie les concepts clés de notre étude, présente de manière critique les travaux antérieurs en relation avec ladite étude et cela nous permettra de nous positionner par rapport aux résultats de ces travaux.

3.1. Définition des concepts

Pour étayer la compréhension du travail de recherche, il est impératif de définir un certain nombre de concepts que nous trouvons nécessaires de manière opérationnelle; d'abord pour mieux saisir leur portée, ensuite pour ne retenir que les sens qui vont dans l'orientation que nous avons données à notre étude.

3.1.1. Optique

L'optique est la branche de la physique qui traite de la lumière, de son comportement et de ses propriétés. Elle s'étend du rayonnement électromagnétique à la vision en passant par les systèmes utilisant ou émettant la lumière. Du fait de ses propriétés ondulatoires, le domaine de la lumière couvre d'un bout, le lointain ultraviolet, en passant par les longueurs d'ondes visibles, jusqu'au lointain infrarouge. La plupart des phénomènes optiques peuvent être expliqués en utilisant la description électromagnétique classique. Cependant, cette description, bien que complète, est souvent difficile à expliquer en pratique : on utilise plus souvent des modèles simplifiés. Le plus commun d'entre eux est l'optique géométrique qui propose une analyse de la propagation de la lumière, basée sur des principes simples : la propagation rectiligne et le retour inverse de la lumière.

3.1.2. Optique géométrique

L'optique géométrique est la branche de l'optique qui s'appuie notamment sur le modèle de rayon lumineux. Cette approche simple permet entre autres des constructions géométriques d'images. Elle constitue l'outil le plus flexible et le plus efficace pour traiter les systèmes dioptriques et catadioptriques. Elle permet ainsi d'expliquer la formation des images.

3.1.3. Modèle

Le terme modèle étymologiquement qui vient du latin *modulus* désignait à l'origine « la mesure arbitraire servant à établir les rapports de proportions entre les parties d'un ouvrage d'architecture ». Au Moyen âge ce modulus devient *moule* en français, *mould* en anglais et *model* en allemand, et à la Renaissance l'italien *modello* donne le français *modèle*, l'anglais *model* et l'allemand *modell* (Armatte, 2005).

On retrouve dans les définitions des dictionnaires contemporains 5 classes de signification et d'usage: le modèle comme *réfèrent* ou prototype à reproduire (le modèle du peintre), le modèle comme *maquette* d'un dispositif réel (chez le fondeur, l'architecte), le modèle comme *type idéal* dégagé d'une population homogène (un modèle de sainteté, de candeur, de beauté...), le modèle comme *icône* ou *dispositif mécanique* représentant une idée abstraite (le modèle hydraulique de la circulation monétaire chez Irving Fisher par exemple), le *formalisme* logico-mathématique qui représente un système (Armatte, 2005).

Le modèle varie suivant le domaine d'étude: « *Dans sa définition la plus large, la notion de modèle recouvre toute représentation d'un système réel, qu'elle soit mentale ou physique, exprimée sous forme verbale, graphique ou mathématique.* » (Walliser, 1977, p. 116, citer dans Achouri, 2005).

En physique, un modèle peut désigner deux choses : une représentation externe comme le modèle planétaire de l'atome ou un élément théorique comme le modèle de l'optique géométrique. Un modèle peut ne pas représenter l'ensemble des propriétés du réel mais seulement certaines de ces propriétés comme le cas du modèle de l'optique géométrique qui ne peut pas expliquer la couleur, la diffusion, la propagation et ce qui est expliqué par le modèle de l'optique ondulatoire. Le modèle réduit le temps de travail nécessaire pour résoudre certains problèmes.

Pour présenter convenablement un système ou une réalité donnée, un modèle doit accomplir plusieurs fonctions. Walliser (1977) classe ces fonctions suivant le type de modèle. Il en distingue quatre sortes:

- un modèle cognitif fournit une représentation d'un système existant (modèle explicatif);
- un modèle prévisionnel sert à prévoir le futur d'une situation connue à l'instant donné;
- un modèle décisionnel donne des informations à un décideur pour éclairer une décision;
- un modèle normatif a pour but de représenter d'une manière idéale un système à créer (modèle prescriptif).

Il résume ces fonctions en termes d'objet visé par le modèle:

Tout modèle a pour objet de simuler le comportement d'un système en fonction de certains objectifs et compte tenu de certains moyens. Il peut ainsi servir de support tant à la connaissance de l'objet par le sujet qu'à l'action du sujet sur l'objet. En fait, il met en jeu trois types de rôles sociaux : les constructeurs du modèle, les utilisateurs du modèle et les acteurs éventuels du système décrit. (Walliser, 1977, p. 170, citer dans Achouri, 2005).

Nous pouvons donc retenir que le modèle est un processus d'abstraction qui, ne retenant que certains paramètres, contribue à représenter une réalité toujours complexe de façon plus simple. Aussi c'est une représentation structurée comprenant des éléments symboliques caractéristiques, essentiels d'une idée, d'un objet.

3.1.4. Modélisation

Prendre en compte les processus de modélisation permet d'analyser à la fois le savoir enseigné en physique et le comportement relatif au savoir des élèves en classe de physique (Tiberghien, 1994; Tiberghien et Magalakaki, 1995; Tiberghien, 1997, Walliser, 1977, cité dans Achouri, 2005). Le processus de modélisation s'inscrit dans deux perspectives: l'une liée au fonctionnement de la physique et l'autre liée aux hypothèses de modélisation chez l'élève.

Nous allons examiner trois questions principales.

❖ Comment modéliser une réalité expérimentale ?

Les sciences physiques ont besoin pour interpréter le monde, de modéliser certaines réalités. Le processus de modélisation met en œuvre trois pôles: la théorie; le modèle et la réalité empirique. Dans la démarche de modélisation, ces pôles sont en interaction (Achouri, 2005). L'enseignant articule l'étude du phénomène dans son champ expérimental et le modèle comme structure théorique cohérente pour expliquer ce phénomène et applique ce modèle avec le champ expérimental à valider.

Dans le domaine particulier de l'enseignement des sciences physiques, Tiberghien (1994) estime que la modélisation est un processus central du fonctionnement de savoir savant en physique. Elle a défendu l'idée que la modélisation chez le physicien se fait en faisant interagir trois principaux acteurs : la théorie du spécialiste, le champ empirique et le modèle construit. L'objectif est de décrire non pas les choses réelles mais les connaissances que les

physiciens ont sur le monde matériel. Buty (2000) formule ce même point de vue sous forme de schéma récapitulatif :

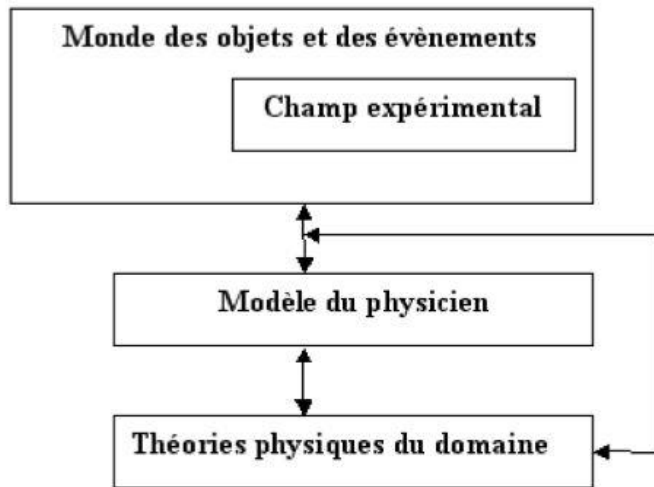


Figure 6: Elaboration d'un modèle en physique (Achouri, 2005, p.23)

❖ Comment l'élève modélise-t-il une réalité expérimentale ?

Quand l'élève construit son modèle, il ne fait pas référence à une théorie physique, mais il fait appel à une « théorie » du monde matériel qui dépend de son point de vue personnel constitué par son histoire; cela implique l'utilisation d'un contexte social différent du contexte scientifique qui n'est pas explicité, du point de vue d'un physicien elle n'a pas toutes les caractéristiques d'une théorie, mais du point de vue de l'élève elle fonctionne comme telle.

L'élève en classe ou dans la vie quotidienne est face à plusieurs tâches d'ordre physique. Pour atteindre des buts de réalisation des situations rencontrées, il construit son modèle propre. Cette construction est le fruit de plusieurs sources de connaissances: “*ses connaissances antérieures, le dispositif matériel, le discours et les consignes de l'enseignant s'ils existent...*” (Buty, 2000, p. 19, cité dans Achouri, 2005).

Ce modèle établi par l'élève peut fonctionner (à la limite) pour la situation, mais il ne sera pas pertinent au même point que celui du physicien. Donc, la modélisation de l'élève suit le même schéma général que celle du physicien, mais c'est au niveau des théories utilisées qu'on trouve les différences ainsi qu'au niveau des processus de modélisation.

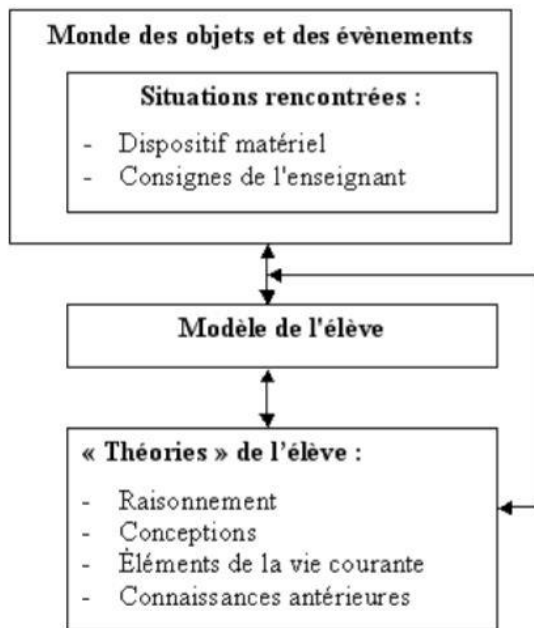


Figure 7: Processus de modélisation chez l'élève (Achouri, 2005, p. 24)

Ce schéma montre que le modèle de l'élève est créé selon sa « théorie » propre préexistante. Cette « théorie » est basée sur:

- un système explicatif: c'est-à-dire que l'élève raisonne de la même façon pour plusieurs situations rencontrées, l'exemple le plus fréquent est le raisonnement causal (Tiberghien, 1994) ou certains raisonnements par analogie avec d'autres modèles rencontrés hors de la classe;
- certaines théories physiques restant d'un apprentissage antérieur par exemple l'imitation d'un modèle donné par l'enseignant pour une autre situation proche de celle rencontrée par l'élève.

La modélisation chez l'élève repose sur son raisonnement propre c'est-à-dire son fonctionnement cognitif. Il peut faire intervenir des analogies modélisées dans sa connaissance ou encore imite le modèle déjà vécu qu'il a rencontré avec un membre de sa famille, son professeur ou un pair. De ce fait il sera confronté à deux mondes totalement différents, mais qui sont toujours en interaction : situation expérimentale et son explication théorique.

Le sujet apprenant est face à plusieurs situations de construction de la compréhension où il doit faire appel chaque fois à son propre modèle convenable à la situation physique rencontrée. Il a une double décomposition du savoir: les situations scolaires enseignées et les situations de vie quotidienne.

❖ **Comment le discours de modélisation tenu par l'enseignant agit-il sur la construction de la compréhension chez l'élève ?**

L'étude didactique des savoirs s'appuie sur des hypothèses d'apprentissages. Nous faisons l'hypothèse, qu'une pratique de l'enseignant qui habitue les élèves à des activités conscientes de modélisation favorise chez eux la construction du sens des concepts. L'enseignant fait une liaison entre deux mondes différents qui sont le monde des objets/événement et le monde de la théorie/modèle, donc si l'élève arrive à comprendre cette mise en relation, il peut à son tour articuler les deux mondes et construire du sens pour les concepts qui lui sont présentés.

Dans un enseignement basé sur la modélisation trois moments peuvent être présents et distingués: intégrer un nouveau modèle, donner une signification pour aider les élèves à comprendre le nouveau modèle et appliquer cette nouvelle théorie/modèle avec l'élève dans l'interprétation des expériences (Tiberghien & Megalakaki, 1995, p. 370, cité dans Achouri, 2005, p. 25).

3.1.5. Transposition didactique

Ce concept est composé de deux mots qui sont: la transposition et la didactique. Il revient alors de définir d'une part chacun d'eux de façon distincte et d'autre part le concept proprement dit.

Transposition

Transposition dérive du verbe « transposer » qui signifie changer l'ordre de quelque chose. Selon le dictionnaire « Toupictionnaire »: le dictionnaire politique, étymologiquement le verbe transposer est issu du latin « *transponere* » qui veut dire transférer, transporter, faire passer. Pour ce qui est des synonymes du verbe transposer nous avons : permuter, changer, transformer, inverser etc. Par conséquent la transposition est l'action de transformer ou de changer. Autrement dit c'est le résultat d'une action de transformation subie par quelque chose.

Didactique

Dans le *dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation*, l'adjectif « didactique » caractérise depuis longtemps des œuvres littéraires à visée l'instruction (Champy, 2005). Du point de vue fondamental commun apparaît cependant: l'enseignement et apprentissage en pleine prise en compte de la spécificité des contenus.

Cette notion a déjà été étudiée et définie par un bon nombre de chercheurs et chacun a essayé de donner un sens à ce terme dans ces travaux.

Pour Comenius (cité dans Belinga, 2013), le terme « didactique » désigne l'étude des processus d'enseignement et apprentissage du point de vue des contenus. Il montre que la didactique s'intéresse aux principes, aux normes qui régissent un enseignement ainsi qu'à la nature de la connaissance scientifique à enseigner, les méthodes, les processus et les techniques d'enseignement.

Cuq (cité dans Belinga, 2013), dans son Dictionnaire de didactique du français langue étrangère et seconde, montre que la didactique vient du mot grec *didaktitos* ou de *didaskein* qui signifie enseigner. Pour lui, ce concept désigne enseigner, instruire et il note que d'après Comenius « *c'est un ensemble des théories d'enseignement et d'apprentissage* ». En science de l'éducation on parle de la didactique des disciplines en générale et la didactique d'une discipline en particulier qui renvoie à une discipline scolaire comme la physique.

Après analyse des différentes définitions de plusieurs auteurs, nous pouvons dire que la didactique est la science qui étudie le savoir spécifique à une discipline et le processus d'apprentissage de ce savoir par les apprenants.

Transposition didactique

Le concept de transposition didactique a été mis en avant par le sociologue Michel Verret (1975). Pour lui, la transposition didactique est « *la transmission d'un savoir acquis. Transmission de ceux qui savent à ceux qui ne savent. De ceux qui ont appris à ceux qui apprennent* » (cité dans Bertone et al., 2013). Il fait remarquer que le savoir ne peut être transmis tel qu'il est produit au sein des communautés savantes. On ne peut pas enseigner sans transformer le savoir, le concept de transposition didactique permet donc de rendre compte de la transmission scolaires des savoirs savants. Le concept de transposition didactique va connaître une grande évolution avec les travaux de Chevallard une décennie après son prédécesseur Verret.

Pour Chevallard (1985) la transposition didactique se définit ainsi:

un contenu de savoir ayant été désigné comme savoir à enseigner subit dès lors un ensemble de transformations adaptatives qui vont le rendre apte à prendre place parmi les objets d'enseignement. Le 'travail' qui d'un objet de savoir à enseigner

fait un objet d'enseignement est appelé la transposition didactique. (Jean-Benoit Clerc, 2006, p. 1).

Il rend compte de toutes les transformations subies par un savoir et les phases que ce savoir doit parcourir pour être transformé d'abord en savoir enseignable (sélection, programmation) puis un objet enseigné (présentation, explication, évaluation) et enfin à un objet d'apprentissage.

Develay (1992), illustre la chaîne de transformations qui d'un *savoir savant et/ou pratiques sociales*, conduit un concepteur de programmes à convenir d'un *savoir à enseigner*, l'enseignant à son tour transformant ce *savoir à enseigner* en un *savoir enseigné*, qui deviendra au niveau de l'élève le *savoir appris*. Cette chaîne de transformations est qualifiée de transposition didactique (Jean-Benoit Clerc, 2006).

En outre, Colin (2006) donne un sens définitionnel à ce concept de transposition didactique. Pour lui, les enseignants sont confrontés à deux problèmes essentiels dans leur pratique enseignante: la gestion du curriculum et la gestion de la classe. L'un des points les plus importants est la construction scientifique du savoir scolaire. En effet, les savoirs scientifiques subissent des multiples transformations afin de se constituer en tant que savoir scolaire. Il désigne donc la transposition didactique l'ensemble des transformations que subit un savoir scientifique afin de parvenir en savoir scolaire. Il précise que ces transformations sont de deux types : externe et interne. Celui-ci montre également que ces différentes mutations des savoirs sont complexes et parfois influencées.

Presque tous les auteurs et chercheurs en science de l'éducation valident la définition selon laquelle la transposition didactique consiste à transformer les savoirs savants en savoir à enseigner et en savoir enseigné. Et a deux grandes phases qui sont la transposition externe (une opération qui consiste à faciliter le passage des savoirs savants en savoirs à enseigner) et la transposition interne (processus par lequel les savoirs à enseigner sont transformés en savoir enseigné).

3.1.6. Investigation

Le centre national de ressource textuelle et lexicale définit le terme investigation comme une recherche minutieuse, systématique poursuivie, sur quelque chose. Investiguer c'est donc faire des recherches dans un domaine précis, sur un concept précis.

Dans le cadre de notre étude, il s'agit d'emmener les élèves à faire eux-mêmes les recherches pour construire leur savoir sur le concept d'image en optique géométrique.

3.1.7. Démarche d'investigation

La démarche d'investigation est une pratique d'enseignement mis sur pied aux USA au début des années 60 (Schwab, 1962, cité dans Boilevin et al, 2016) mais déjà présente dans les idées de Dewey (1938). Elle valorisait une démarche inductive pour les enseignements des sciences physiques et était calqué sur le modèle « *OHERIC* » (Observation, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation, Conclusion; modèle associé aux travaux de Claude Bernard). Cela était dû au contexte historique car le but visé était de procéder à l'élaboration des faits en vue de l'élaboration des lois.

C'est vers les années 90 et sous l'influences d'une perspective sociétale qu'on constate une évolution des finalités de l'enseignement des sciences. Pour cela, la DI ne se limite pas à une approche inductiviste et d'après Linn, David & Bell, (2004) (cité dans Coquidé, 2009) elle se définit comme:

un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critiques des expériences réalisées, de distinction entre les alternatives possibles, de planification des recherches, de recherches d'hypothèses, de recherches d'informations, de constructions de modèles, de débat avec ses pairs et de formulation d'arguments cohérents » (Coquidé, 2009, p. 52).

Pour Rojat (2013), la DI est une démarche qui s'appuie sur le questionnement des élèves sur le monde réel. Elle peut être présentée par une succession d'étapes pouvant être réalisées de manière variée, mais ne présente pas un déroulement figé.

D'après l'article de Grégory Anguenot sur la démarche d'investigation publié dans la revue « Technologie » en janvier-février 2012, celui-ci nous définit cette démarche comme étant un outil d'apprentissage qui a pour but de motiver les élèves à apprendre par eux-mêmes et ainsi les rendre plus curieux et plus désireux de comprendre ce qu'il se passe autour d'eux (Kallaba, 2015).

Dans cette recherche, nous allons choisir la démarche d'investigation au sens de Morge et Boilevin (2007) car nous pensons que la définition qu'ils fournissent est plus pragmatique. Alors:

Une séquence d'enseignement serait une séquence d'investigation si l'élève effectue un ou des apprentissages au cours de la séquence, en réalisant des tâches qui ne sont pas uniquement des tâches d'ordre expérimental, et en participant à la validation des productions des autres élèves, autrement dit en participant au choix argumenté entre plusieurs méthodes, plusieurs hypothèses, plusieurs protocoles expérimentaux, plusieurs explications, plusieurs modèles (Monge et Boilevin, 2007)

Cette nouvelle façon d'appréhender la DI apparait comme un nouveau sésame pour l'enseignement des sciences, en privilégiant la construction du savoir par l'élève et s'appuie également sur le questionnement des élèves (France: MEN, 2005: cité dans Coquidé, 2009). Avec cette approche, les élèves font davantage preuve d'esprit d'initiative, d'esprit critique, de curiosité et de créativité et pour ce faire la DI a une double visée:

- faire évoluer l'image que les élèves se font des sciences, en montrant une science qui se construit en suivant des procédures, des façons de faire spécifiques.
- 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 (Cross, 2014, p. 2).

3.1.7.1. L'utilisation de la démarche d'investigation

L'utilisation de la démarche d'investigation renvoie à la mise en œuvre d'une séquence d'enseignement basée sur l'investigation. Il est question pour l'enseignant d'une part, d'avoir une problématique de départ pertinent et d'autre part de poser les bonnes questions tout au long du processus. En effet, il faut que les élèves réussissent à s'approprier la problématique pour être capables de mener un travail de recherche qui les amènera à se questionner et à trouver des éléments de réponses grâce aux différentes activités de recherche. Pour que les élèves acquièrent les compétences nécessaires à cette méthode de travail, ils ont besoin d'être accompagnés. Ainsi le rôle de l'enseignant est donc primordial pour guider les élèves notamment dans les différentes activités de recherche. Il peut aider à la conception de celles-ci ou encore, dans la phase d'interprétation, il peut aider les élèves à donner du sens à leur résultat et à les analyser afin de valider ou non leurs hypothèses de départ. Dans cette mesure, l'utilisation de la DI ne consiste pas à se figer de manière exhaustive un déroulement imposé par un canevas mais à construire un environnement favorable à l'investigation des apprenants.

Le canevas de la DI subit donc dans la réalité bien des variations en fonction des circonstances, chaque séquence d'enseignement ayant son histoire liée au sujet à la classe au hasard.

3.1.7.2. Etapes de la démarche d'investigation

Les étapes de la DI diffèrent selon les auteurs et les pays. En France, le canevas d'une séquence d'investigation proposée s'organise autour de sept moments clés (*Bulletin officiel*, Hors-série n° 5 du 25 Août 2005, p. 6-7: cité dans Boilevin, 2013, p. 28). Notons que ces moments, que nous citons ci-dessous, peuvent être réalisés au cours d'une seule séance d'enseignement ou plusieurs:

1- Le choix d'une situation - problème par le professeur:

La conduite de cette étape peut être organisée selon la liste d'actions suivante:

- analyser les savoirs visés et déterminer les objectifs à atteindre ;
- repérer les acquis initiaux des élèves;
- identifier les conceptions ou les représentations des élèves, ainsi que les difficultés persistantes (analyse d'obstacles cognitifs et d'erreurs);
- élaborer un scénario d'enseignement en fonction de l'analyse de ces différents éléments.

2- L'appropriation du problème par les élèves:

La conduite de cette étape peut être organisée selon la liste d'actions suivante:

- travail guidé par l'enseignant qui, éventuellement, aide à reformuler les questions pour s'assurer de leur sens, à les recentrer sur le problème à résoudre qui doit être compris de tous;
- émergence d'éléments de solutions proposées par les élèves qui permettent de travailler sur leurs conceptions initiales, notamment par confrontation de leurs éventuelles divergences pour favoriser l'appropriation par la classe du problème à résoudre. Le guidage par le professeur ne doit pas amener à occulter ces conceptions initiales mais au contraire à faire naître le questionnement

3- La formulation d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles :

La conduite de cette étape peut être organisée selon la liste d'actions suivante :

- formulation orale ou écrite d'hypothèses par les élèves (ou les groupes);
- élaboration éventuelle d'expériences, destinées à tester ces hypothèses;
- communication à la classe des hypothèses et des éventuels protocoles expérimentaux proposés.

4- L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves:

La conduite de cette étape peut être organisée selon la liste d'actions suivante:

- moments de débat interne au groupe d'élèves;
- contrôle de l'isolement des paramètres et de leur variation, description et réalisation de l'expérience (schéma, description écrite) dans le cas des sciences expérimentales
- description et exploitation des méthodes et des résultats ; recherche d'éléments de justification et de preuve, confrontation avec les hypothèses formulées précédemment.

5- L'échange argumenté autour des propositions élaborées:

La conduite de cette étape peut être organisée selon la liste d'actions suivante:

- communication au sein de la classe des solutions élaborées, des réponses apportées, des résultats obtenus, des interrogations qui demeurent;
- confrontation des propositions, débat autour de leur validité, recherche d'arguments et élaboration collective de preuves.

6- L'acquisition et la structuration des connaissances:

La conduite de cette étape peut être organisée selon la liste d'actions suivante:

- mise en évidence, avec l'aide de l'enseignant, de nouveaux éléments de savoir (notion, technique, méthode) utilisés au cours de la résolution.
- confrontation avec le savoir établi (comme autre forme de recours à la recherche documentaire, recours au manuel), en respectant des niveaux de formulation accessibles aux élèves, donc inspirés des productions auxquelles les groupes sont parvenus;
- recherche des causes d'un éventuel désaccord, analyse critique des expériences faites et proposition d'expériences complémentaires;
- reformulation écrite par les élèves, avec l'aide du professeur, des connaissances nouvelles acquises en fin de séquence.

7- L'opérationnalisation des connaissances:

La conduite de cette étape peut être organisée selon la liste d'actions suivante:

- exercices permettant d'automatiser certaines procédures, de maîtriser les formes d'expression liées aux connaissances travaillées : formes langagières ou symboliques...
- nouveaux problèmes permettant la mise en œuvre des connaissances acquises dans de nouveaux contextes (réinvestissement);

- évaluation des connaissances et des compétences méthodologiques.

Selon le « *Guide méthodologique de Saltiel* » (Arsermot, 2011), la DI présentant ses différentes étapes peut être schématisée comme suit:

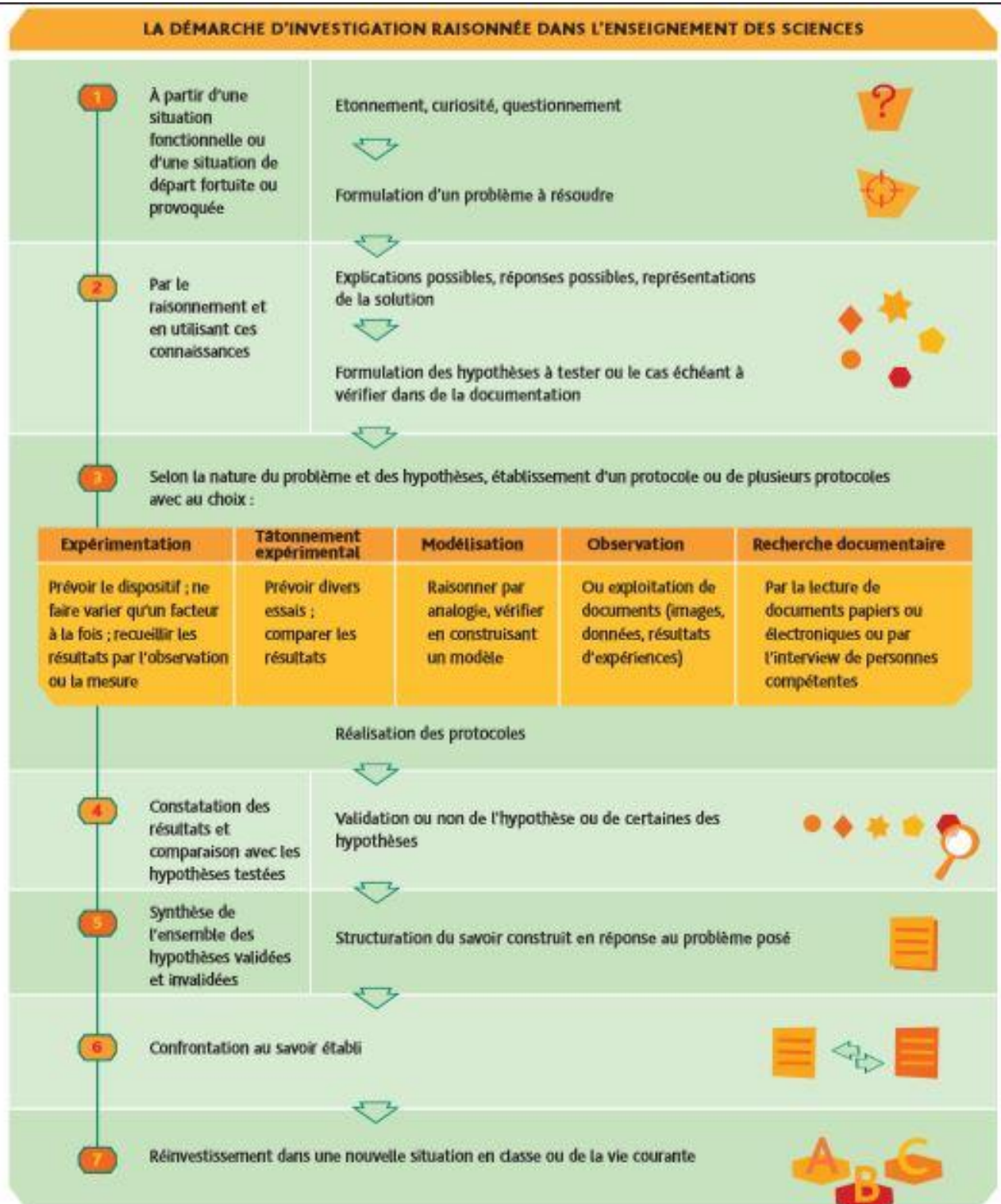


Figure 8: schéma de la démarche d'investigation (Ansermot, 2011)

Bien que la DI soit décrite au travers d'un canevas, il est à préciser que cette démarche n'est pas unique. Il ne s'agit pas nécessairement de mettre en œuvre les sept moments dans leur intégralité et dans l'ordre présenté (ces moments ne constituent pas un déroulement linéaire mais que les allers-retours sont possibles à chaque instant de la démarche). La DI est en effet centrée sur la pratique d'une démarche expérimentale de type « *hypothético-déductive* » et s'appuie sur l'idée de franchissement d'obstacles épistémologiques. C'est ainsi que dans le cadre de notre étude, nous déroulons une démarche d'investigation en six (06) étapes à savoir:

- 1) choix de la situation problème;
- 2) appropriation du problème par les élèves;
- 3) formulation d'hypothèses explicatives, protocoles possibles;
- 4) investigation ou résolution du problème par les élèves;
- 5) échange argumenté autour des propositions argumentées;
- 6) acquisition et structuration des connaissances.

3.2. Travaux antérieurs menés sur le concept d'image optique

3.2.1. Travaux de Fawaz (1985): Image, optique et vision. Etude exploratoire sur les difficultés des élèves de première au Liban.

Cette étude vise en général à explorer certaines difficultés de l'optique géométrique de façon à favoriser chez les professeurs et les élèves une prise de conscience à leur propos et à contribuer à une réflexion sur les objectifs d'enseignement de cette matière en classe de première.

En classe de première au Liban (16-17 ans), la difficulté ne se centre plus sur le lien entre lumière et vision, au sens large, mais plutôt sur l'analyse détaillée de la vision en termes d'image optique. Du fait de cette difficulté et de son expérience dans l'enseignement de la classe de première, il centre son étude sur le mécanisme de formation des images, y compris dans le cas de la vision. En d'autres termes, il centre son travail sur les images formés par une lentille convergente de manière à situer le problème de vision par rapport aux connaissances des élèves dans le domaine de l'optique inerte.

L'auteur mène des phases exploratoires portant sur l'image optique: il part du principe de la correspondance point à point entre objet et image dans le cas d'une lentille mince

convergente. Puis il utilise des schémas dans le but d'analyser les productions et modes de lecture des élèves, en particulier dans le cas des faisceaux provenant d'un objet situé à l'infini. Et en fin sur la relation entre netteté et luminosité dans le cas d'image fournie par une lentille mince convergente sur un écran.

Méthodologie et résultats

En guise de méthodologie, l'auteur choisi de conduire cette étude exclusivement à l'aide de questionnaires écrits qui durent de 15 à 20 minutes maximum.

Pour collecter les difficultés qu'ont les élèves sur l'image donnée par une lentille mince convergente, l'auteur propose des questions regroupées par thème. Ces questions sont toutes présentées en fin d'année scolaire. L'effectif varie entre 25 et 110 élèves selon les questions.

Le premier thème est: couples objet-image dans une schématisation classique. Dans ce thème, l'idée est d'évaluer dans quelle mesure la nature de la correspondance objet-image est comprise par ces élèves qui résolvent raisonnablement bien les exercices classiques. Pour ce thème, il propose une série de trois questions.

La première question s'est tenue dans une classe d'effectif de 28 élèves et a pour idée générale de vérifier si la mention préalable d'une lentille influence ou non les réponses. Les résultats de cette question paraissent pour l'auteur tout à fait remarquables dans la mesure où il concerne des élèves capables de résoudre des exercices relativement élaborés de calcul de positions d'image. Mais le principe même de formation de l'image, en cause ici semble absent de leurs connaissances sinon de leurs préoccupations. Suivant la question posée 58% d'élèves n'ont pas donné la bonne réponse (il y'a une image) et 42% d'élèves donnent la bonne réponse (pas d'image). Parmi les 42% d'élèves, juste 14% d'élèves ont justifié en disant que c'est par ce qu'il « *y'a pas de système optique* ».

La deuxième question quant à elle s'est tenue dans une classe d'effectif de 95 élèves et vise à explorer le principe de la formation de l'image avec plus de détail dans le sens où on demande de citer précisément les couples objet-image suggérés par un schéma. Cette question a plusieurs volets. L'auteur ici mesure la perturbation introduite par la schématisation insuffisante par rapport aux habitudes scolaires, mais pourtant élémentaire à compléter. Il note une paralysie de l'étudiant devant le schéma comme si celui-ci devait recouvrir toute la réalité physique et que tout ce qui n'était pas sur le schéma n'existait pas. Pour cette question, 50%

environ d'élèves ne réussissent pas à fournir la réponse correcte. De cette question, Fawaz recense deux difficultés conceptuelles qui sont:

- difficulté conceptuelle relative au minimum de rayon partant d'un point de l'objet;
- difficulté conceptuelle résidant dans le désir de mettre un "*pied*" à l'objet et à l'image.

La troisième question s'est tenue dans une classe d'effectif de 58 élèves et vise à voir jusqu'où vont les automatismes de l'élève dans la traduction des points en objets ou images globaux. Pour ce faire, il propose une question où sur un objet étendu (bougie) sont dessinés deux points qui n'en sont pas les extrémités. Après collecte des données, il constate que les élèves se heurtent notamment à la difficulté du passage du ponctuel au global, du discontinu au continu. Suivant la question posée 66% d'élèves n'ont pas donné la bonne réponse et seulement 34% d'élèves donnent la bonne réponse (on voit l'image de la bougie et de AB).

Pour le premier thème, Fawaz conclut que le processus de formation de l'image avec correspondance point à point ne semble être maîtrisé que par une faible proportion des élèves soit 50%.

Le deuxième thème porte sur le cache circulaire et diaphragme. Cherchant à tester plus profondément la capacité de l'élève à comprendre le concept de formation des images en optique, l'auteur propose des questions qualitatives qui mettent en jeu un système dans lequel il a inséré sur le trajet des rayons des obstacles opaques empêchant l'arrivée sur l'écran d'une partie de la lumière qui tombe sur la lentille.

L'échantillon de la question relative à ce thème est de 58 élèves de la classe de première au Liban et 93 étudiants en DEUG à Paris VII. Après analyse des productions de l'échantillon, il conclut que moins d'un tiers (soit 32%) des élèves en première au Liban, 40% seulement des étudiants au DEUG à l'université Paris VII dominent la difficulté essentielle de ce questionnaire, qui est de ne pas accorder particulièrement d'importance à la réalisation physique des rayons de construction du schéma. Il conclut que pour les autres étudiants la notion même d'image n'est pas comprise, bien qu'ils sachent en majorité faire les constructions couramment demandées en situation scolaire.

Le troisième thème présente les difficultés liées à l'infini. L'auteur présente des questions liées aux objets ponctuels et étendus à l'infini. Pour ces questions, 3 classes ont été interrogées pour un effectif de 56 élèves. Comme résultat, il note que la moindre perturbation apportée à une question scolaire classique et élémentaire fait apparaître, avec parfois des

fréquences très élevées, des erreurs qui rattachent aux difficultés liées à l'association d'une image étendue à un objet ponctuel et une interprétation de l'expression "objet à l'infini non situé sur l'axe principal" en termes de distance entre l'axe principal et un pinceau lumineux parallèle à celui-ci. Également la correspondance point à point n'est pas située clairement par rapport à la correspondance globale objet-image.

Limite

Les travaux de Fawaz présentent une limite fondamentale qui n'est pas d'avoir établi une démarche didactique, des outils pédagogiques permettant de pallier aux difficultés conceptuelles relative à la construction/formation d'une image à travers une lentille mince convergente.

3.2.2. Travaux de Kaminski et Mistrioti (2000): Optique au collège: le rôle de la lumière dans la formation d'image par une lentille convergente.

L'étude présentée par Kaminski et Mistrioti porte sur les élèves de collège (classe de quatrième) ayant reçu un enseignement d'optique selon les programmes de 1985 et de 1992. Leur objectif est d'explorer les difficultés liées à l'optique géométrique tout en précisant les moyens (des tâches proposées aux élèves) permettant de connaître leurs représentations du concept d'image réelle donnée par une lentille convergente. Ensuite examiner si les programmes de 1992 modifient ou non ces représentations par rapport aux résultats de recherche sur la population ayant reçu un enseignement d'optique avant 1992.

Question de recherche

La question qu'ils se sont posés concerne la mise en œuvre des raisonnements des élèves du collège fondés sur les lois fondamentales de l'optique, dans des situations où ces lois s'expriment avec des mots et non des formules.

Méthodologie

Les échantillons d'élèves qui ont répondu aux différentes questions de cette étude sont :

- des élèves ayant reçu un enseignement d'optique selon les programmes de 1985 (la dernière année avant la réforme); leurs effectifs seront entre 24 et 106, selon les question ;

- des élèves ayant reçu un enseignement d'optique selon le programme de 1992 (la première année et la deuxième année après la réforme); leurs effectifs sont entre 93 et 196, selon les questions.

Ils choisissent de conduire cette étude à l'aide de questionnaire écrit. Pour explorer les difficultés et représentations qu'ont les élèves sur le concept d'image réelle donnée par une lentille convergente, ils l'abordent sous trois thèmes à savoir: l'image réelle, peut-elle être vue sans écran ? l'image réelle, peut-elle être vue sans la lentille ? la moitié de la lentille forme-t-elle une moitié de l'image ? de ces interrogations, les auteurs élaborent des questions qu'ils soumettent aux élèves afin de voir comment ceux-ci abordent ces questions.

Premier thème: l'image réelle, peut-elle être vue sans écran ? Pour ce thème, ils proposent une série de deux questions qui portent sur la nécessité (ou non) d'un écran pour voir une image réelle formée par une lentille.

La première question (*Marie...*) fait appel à une situation « extrascolaire ». Cette question est difficile a priori, parce qu'il s'agit de juger « correct » ou « incorrecte » une affirmation abstraite. Pour cette question l'effectif d'élèves est le suivant: $N_{1985}=24$, $N_{1992}=93$.

Énoncé de la question: Marie déclare: « une image réelle pour être vue doit absolument être recueillie sur un écran ou une pellicule photographique ». Cette affirmation vous paraît-elle correcte ou incorrecte ? expliquez votre réponse.

La seconde question (*Ecran retiré*), a pour point de départ une situation que les élèves ont pu rencontrer au cours d'une séance de travaux pratiques. Elle est donc, a priori plus facile. Pour cette question l'effectif d'élèves est le suivant: $N_{1985}=19$, $N_{1992}=75$.

Énoncé de la question : soit une bougie, une lentille sur un support et un écran sur lequel on observe l'image de la bougie donnée par la lentille. On retire l'écran. Choisissez votre réponse et expliquez-la.

Deuxième thème: l'image réelle, peut-elle être vue sans la lentille ?

La question de ce thème porte sur le rôle de la lentille convergente dans la formation d'image. En d'autres termes cette question vise à savoir dans quelle mesure la nécessité du système optique pour la formation d'une image est ressentie par les élèves du collège. Pour cette question l'effectif d'élèves est le suivant: $N_{1985}=32$, $N_{1992}=108$.

Énoncé de la question (lentille retiré) : soit une bougie, une lentille sur un support et un écran sur lequel on observe l'image d'une bougie donnée par la lentille. On retire la lentille de son support. Que voit-on sur l'écran ? expliquez votre réponse.

Cherchant à tester plus profondément la capacité des élèves à comprendre le principe de formation d'image par une lentille convergente, Kaminski et Mistrioni ont proposé une dernière question. Cette question met en jeu un système dans lequel un cache posé sur la lentille empêche une partie de la lumière (issue de l'objet), d'arriver sur l'écran. Pour cette question l'effectif d'élèves est le suivant: $N_{1985}=106$, $N_{1992}=196$.

Énoncé de la question (moitié de la lentille) : soit une lentille sur son support et un écran sur lequel on observe l'image de la bougie. On pose sur la moitié de la lentille un cache en carton noir. Que voit-on sur l'écran ? expliquez votre réponse.

Résultats

Pour le premier thème portant sur la nécessité (ou non) d'écran pour voir une image réelle formée par la lentille, les résultats des questions sont les suivants :

Pour la question (*Marie...*) on note que pour les élèves ayant suivi le programme de 1985, juste 50% des élèves ont répondu correctement. Ce résultat est également pareil pour les élèves ayant reçu un enseignement suivant le programme de 1992. On note que 50% d'élèves ne savent pas qu'une image réelle pour être vue n'a pas besoin absolument d'un écran ou une pellicule photographique. Pour cette question, ils notent qu'après analyse, il y'a quasiment pas eu d'évolution liée au changement de programme et que les élèves n'ont pas assimilé les règles de l'optique élémentaire concernant la vision, la propagation rectiligne et la correspondance objet-image.

Pour la question (*écran retiré*), du fait que le choix des élèves ne s'accordait avec les explications qui l'accompagnaient, les auteurs ont donc analysé que les explications données par les élèves. Les pourcentages ont été calculés par rapport au nombre de réponses justifiées. On note juste 16% de réponse juste (l'image est visible sans écran) pour les élèves ayant reçu des enseignements suivant le programme de 1985 et 56% pour ceux de 1992. Pour cette question, l'analyse montre qu'on observe une évolution des conceptions. Mais par rapport au pourcentage de mauvaise réponse (sans écran, pas d'image) on a: 84% d'élèves ayant reçu des enseignements suivant le programme de 1985 et 44% de ceux de 1992.

Pour le deuxième thème portant sur le rôle de la lentille convergente dans la formation d'image, à la question de lentille retirée, les résultats sont les suivants :

Tableau a : résultats du premier dépouillement des réponses à la question lentille retirée

Question (lentille retirée)	On ne voit pas d'image	On voit l'image (« on voit la bougie »)	Sans réponse
N₁₉₈₅=32	40%	50%	10%
N₁₉₉₂=108	51%	44%	5%

Ils ont trouvé de différences significatives entre les taux d'explications souhaitées données par les élèves (1985) et (1992). Ces taux demeurent faibles, mais on constate une amélioration pour les élèves (1992). En revanche, ils n'ont pas constaté de différences notables entre les prévisions de élèves (1985) et (1992) quant à l'existence d'« image » sur l'écran après que la lentille a été enlevée. Ils se rendent compte que la moitié des élèves interrogés ont une conception « d'image voyageuse » (cette image existerait indépendamment de la lentille et pourrait aller sur l'écran sans être inversée, (la lentille servant plutôt à inverser l'image qu'à former)). Également que le changement de programme n'a pas suffi pour produire d'effets visibles dans l'évolution de cette conception. Ce taux élevé de réponse incorrecte suppose d'après les auteurs que les élèves n'ont pas assimilé la correspondance objet-image.

Pour le troisième thème portant sur un cache posé sur une moitié de la lentille empêchant une partie de la lumière. À la question posée, les résultats sont les suivants:

Tableau b : pourcentages des réponses à la question moitié de la lentille

Réponse à la question moitié de la lentille	N₁₉₈₅=106	N₁₉₉₂=196
On voit l'image entière	11%	21%
On voit la moitié (une partie) de l'image	60%	42%
On voit une tache, une lueur, l'ombre du carton	5%	5%
On ne voit rien sur l'écran	-	17%
Pas de réponse	24%	15%

Les résultats sont les suivants : 60% d'élèves ayant reçu des enseignements suivant le programme de 1985 et 42% de ceux de 1992 répondent qu'on voit la moitié de l'image sur l'écran. Pour eux, une moitié de la lentille formerait ainsi une moitié d'image.

Limites

Le changement de programmes n'était pas en mesure de surmonter toutes les difficultés liées aux notions de base de l'optique élémentaire et en particulier sur le rôle de la lumière, de la lentille, de l'écran et de l'œil dans la formation et la vision d'une image réelle. Également les travaux de Kaminski et Mistrioti présentent une limite fondamentale qui n'est pas d'avoir établi une démarche didactique, des outils pédagogiques permettant de pallier aux difficultés conceptuelles relative à la formation d'une image réelle à travers une lentille mince convergente persistantes.

3.2.3. Travaux de Clark (2011): Technology in the classroom: student understanding of image formation by converging and diverging lenses and mirrors-ray tracing v. computer simulation.

Cette étude examine l'enseignement et l'apprentissage de la formation d'image à travers les miroirs et lentilles convergentes et divergentes en utilisant le système optique géométrique en s'appuyant sur la construction de rayons lumineux. Il compare les résultats de l'apprentissage de deux groupes similaires d'élèves du lycée ayant reçu préalablement le même cours avec un même enseignant.

Méthodologie

Les participants de cette étude sont constitués de 37 élèves du lycée. Les élèves ont été divisés en deux groupes. Le groupe 1 est constitué de 17 élèves ayant 9 filles et 8 garçons, le groupe 2 est constitué de 20 élèves ayant 9 filles et 11 garçons. L'auteur fait passer plusieurs tests (pré-test, activités, post-test) qui visent à évaluer l'apprentissage de ces deux groupes l'un dont les activités administrées se font grâce aux simulations par ordinateur et l'autre grâce à la construction traditionnelle avec papier et crayon. Chaque groupe a reçu les mêmes cours sur la formation de l'image à travers des lentilles minces et prétest/posttest identique. Au groupe 2 a été donné des activités basées sur la formation de l'image à travers des lentilles minces convergente/divergente en utilisant la simulation par ordinateur. A l'autre groupe (groupe 1) a été donné quant à lui des activités basées sur la formation de l'image à travers des lentilles minces convergente/divergente en utilisant la construction traditionnelle avec papier et crayon.

L'activité de simulation a demandé aux élèves de placer des objets aux points spécifiques et d'observer le placement et les caractéristiques de l'image résultante à travers les

lentilles convergentes et divergentes. Ils ont été demandés si l'image était réelle ou virtuelle, droite ou inversée, plus grand ou plus petit que l'objet dans chaque cas. Les cas où : l'objet est situé à une distance de plus deux fois le foyer focal objet de la lentille convergente ; l'objet est situé à une distance exact de deux fois le foyer focal objet de la lentille convergente ; l'objet est situé à une distance entre deux fois le foyer et le foyer focal objet de la lentille convergente ; l'objet est situé sur le foyer focal objet et le centre optique de la lentille convergente ; l'objet est situé entre le foyer focal objet et le centre optique de la lentille convergent. Ces questions ont également été posées pour le cas de la lentille divergente. Pour les élèves utilisant le papier-crayon il leur a été demandé à l'aide des mêmes activités que le précédant non pas d'observer mais de tracer les rayons lumineux afin de former les images issues de ces activités.

Résultats

Le prétest et le post-test ont été noté de façon similaire en utilisant le même quota de point attribué aux différentes questions. Les résultats du prétest pour les activités de lentille mince montrent que les apprenants comprennent peu le concept du tracé du rayon. Après administration du prétest, le groupe 1 a obtenu un score de 7,27/26 et le groupe 2 un score de 9,05/26. En appliquant le T-test, il constate que les deux groupes ont une même performance statistique sur ce prétest. Pour ce qui est du post-test, le groupe 1 obtient un score de 16,82/26 tandis que le groupe 2 obtient un score de 10,06/26. En appliquant le T-test également sur ce post-test, le groupe 1 performe mieux que le groupe 2.

L'auteur conclut que le groupe d'élèves ayant utilisé le papier-crayon lors des activités surpassent de manière significative le groupe d'élèves ayant utilisé la simulation par ordinateur. D'après lui, ce résultat renforce la notion que les simulations sur ordinateur peuvent dans beaucoup de cas ne pas être la meilleure alternative.

À travers ces tests, l'auteur a pu ressortir quelques difficultés que présentent les élèves. Comme difficultés nous pouvons citer:

- difficulté liée au nombre de rayon minimum exigé pour localiser une image ;
- difficulté liée à la confusion de définitions d'images réelles et virtuelles.

Limites

Comme limite l'auteur mentionne que les élèves ne se concentrent pas sur les concepts mis en jeu lors des différentes activités proposées mais veulent juste et simplement finir la tâche demandée et poursuivre avec la prochaine tâche.

3.2.4. Ouazzani et al (2016): Difficultés conceptuelles relatives à la construction d'une image virtuelle et impact d'un atelier java d'optique géométrique (AJOG) sur les productions des élèves.

Cette recherche vise à surmonter les difficultés conceptuelles relatives à la construction d'une image virtuelle. Pour ce faire, les auteurs articulent cette recherche autour de deux axes. Le premier, porte sur l'identification des difficultés conceptuelles relatives à la construction d'une image virtuelle. La seconde concerne l'évaluation de l'impact de l'utilisation d'un atelier java d'optique géométrique (AJOG) sur les productions des élèves de la 1^{ère} année du baccalauréat (2^e année du lycée) filière sciences expérimentales âgés de 17 à 19 ans, ayant déjà reçu un enseignement traditionnel concernant l'optique géométrique.

Méthodologie

En guise de méthodologie les auteurs élaborent trois tests relatifs à la construction de l'image virtuelle dans le cadre des conditions de Gauss. Chaque test est constitué de deux types de sous-tests qui traitent la construction de l'image virtuelle, soit à travers un système optique formé d'une lentille mince convergente, soit à travers un système optique formé d'un miroir (plan ou sphérique concave).

Les sous-tests de la 1^{re} variante sont des exercices classiques de la construction de l'image virtuelle qu'on trouve dans les manuels scolaires ; Les sous-tests de la 2^e variante sont des exercices classiques de la construction de l'image virtuelle auxquels ils ont apporté des modifications pour les rendre moins stéréotypés et moins habituels que les exercices classiques étudiés en classe. Tous les tests visent en particulier l'étude du statut que l'élève attribue au prolongement du rayon de construction.

Dans cette recherche deux expérimentations ont été menées.

- **Première expérimentation**

Cette expérimentation a été menée vers la fin de l'année 2012/2013 avec deux groupes : un groupe témoin (GT) constitué de 62 élèves, et un groupe expérimental (GE) comportant également 62 élèves. Ces élèves sont âgés de 17 à 19 ans.

Les participants du GT devaient utiliser uniquement les outils classiques (papier, crayon, règle et rapporteur d'angle) pour répondre aux tests, alors que ceux du GE devaient construire

l'image virtuelle en utilisant uniquement l'AJOG. Les élèves du GE ont bénéficié d'une formation de 45 minutes concernant le fonctionnement de l'AJOG.

Cette expérimentation a pour objectif d'étudier l'influence de l'usage de l'AJOG sur la réussite des constructions et identifier les difficultés relatives à la construction d'une image virtuelle.

Lors de la phase de réalisation, les professeurs-investigateurs ont administré aux participants, sur papier, les tests 1 et 2 et ont lu les énoncés de ces tests à hautes voix. Il a été demandé aux participants de placer l'image virtuelle formée dans sa position, une fois tracés les rayons de construction et leurs prolongements. Le temps accordé aux participants est de 40 minutes (20 minutes pour chaque test), cependant l'élève du GE dispose d'un temps supplémentaire de 20 minutes pour la reproduction des schémas initialement fournis sur papier, sur l'écran d'accueil de l'AJOG. Chaque élève du GE a travaillé individuellement sur un ordinateur.

- **Deuxième expérimentation**

Cette expérimentation a également été réalisée vers la fin de l'année 2012/2013 avec un seul groupe constitué de 20 élèves de la 1^{ère} année du baccalauréat (2^e année du lycée), filière science expérimentales SE. Durant cette expérimentation, les élèves participants ont passé un pré-test (constitué par le test 1) en se servant uniquement de l'outil traditionnel, suivi immédiatement d'une formation concernant le mode de fonctionnement de l'AJOG, et enfin un post-test (constitué du test 3) en utilisant uniquement l'AJOG. C'est le même protocole expérimental qui a été suivi que celui de la première expérimentation.

Résultats

Pour la première expérimentation, ils constatent que le nombre des participants du GE qui sont capables de reproduire à l'aide de l'AJOG des constructions correctes est plus élevé que celui des participants qui ont produit des constructions correctes en utilisant la méthode traditionnelle de la construction. Les participants du GT ont beaucoup mieux répondu aux sous-tests de la 1^{re} variante qu'aux sous-tests de la 2^e variante. En effet, ces participants ont marqué 43 et 38 constructions correctes pour les sous-tests 1-1 et 2-1, contre 22 constructions correctes pour chacun des sous-tests 1-2 et 2-2. Pour les participants du GE, ils ont enregistré une légère réussite de la construction relative aux sous-tests de la 2^e variante, comparée à celle notée pour les sous-tests de la 1^{re} variante. En effet, les participants ont marqué respectivement : 44 et 41

constructions correctes pour les sous-tests de la 1^{re} variante 1-1 et 2-1, contre 50 et 45 constructions correctes pour les sous-tests de la deuxième variante 1-2 et 2-2. Les résultats montrent une influence significative et positive de l'usage de l'AJOG sur la réussite des sous-tests de la 2^e variante.

Après analyses des productions fausses des élèves relatives aux tests 1 et 2, les auteurs ont identifié des difficultés conceptuelles qui sont les suivantes:

- difficulté conceptuelle relative à la correspondance objet-image (ponctuelle et globale);
- difficulté conceptuelle liée au minimum de rayon partant d'un objet;
- difficulté conceptuelle liée au tracé du rayon de construction;
- difficulté conceptuelle associée au tracé du prolongement du rayon de construction;
- difficulté informatique associée à l'usage de l'AJOG.

Pour ce qui est de la deuxième expérimentation, pour chaque participant, ils ont attribué la valeur 0,5 pour la réussite d'un sous-test et la valeur 0 en cas d'échec. Pour le pré-test, les moyennes expérimentales relatives sont : 0,3 pour le sous-test 1-1 et 0,225 pour le sous-test 1-2. Et pour celui du post-test, les moyennes expérimentales relatives sont : 0,375 pour le sous-test 3-1 et 0,375 pour le sous-test 3-2.

Les auteurs concluent que l'utilisation de l'AJOG à travers les sous-tests de la 2^e variante, pour effectuer l'évaluation, entraîne un nombre plus élevé de constructions correctes que la méthode classique papier-crayon.

L'utilisation de l'AJOG constitue un outil permettant de surmonter les difficultés de tracer du rayon de construction et de son prolongement.

Limites

L'AJOG présente quelques limites telles que :

- La disparition du tracé du prolongement du rayon de construction lors de déplacements d'objets ;
- Les lettres sur les figures sont de nature à susciter une certaine confusion. À titre d'exemple : la lettre F que l'AJOG réserve pour l'objet lumineux, est habituellement réservée pour le foyer principal objet. Le foyer, à l'aide de l'AJOG, est indiqué tout simplement par un point gras sur l'axe optique principal ;
- On n'a pas la possibilité d'enregistrer les schémas produits. La seule méthode, pour garder une trace du travail réalisé, est de faire une copie de l'écran.

- La technique du tracé du rayon de construction et de son prolongement, en utilisant l'AJOG, peut être effectuée de manière algorithmique sans nécessairement que l'élève maîtrise cette technique.
- Malgré le caractère interactif qui caractérise l'AJOG pour la construction de l'image virtuelle, l'élève se heurte toujours à la difficulté conceptuelle de la correspondance objet-image (ponctuelle et globale), et également à la difficulté conceptuelle relative au nombre minimum de rayon partant du même point de l'objet.

Une difficulté majeure relevée par Ouazzani et al est l'élaboration de scénarios pédagogiques adéquats permettant de tirer le maximum de profit de l'usage de l'AJOG.

**Deuxième partie: Partie expérimentale
(Cadre méthodologique et empirique de
l'étude et expérimentation)**

CHAPITRE 4: MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

La réussite d'une étude scientifique, est fonction surtout de la démarche méthodologique, compte tenu des objectifs de l'étude. Ce chapitre s'attèle à expliquer l'approche méthodologique retenue dans le but de valider sur le plan empirique nos hypothèses de recherche. Ainsi il sera question dans ce chapitre de définir le type de recherche, de présenter le site de l'étude, la population de l'étude, l'échantillon et les techniques de l'échantillonnage, l'instrument de collecte des données et de la méthode de traitement des données.

4.1. Le type de recherche

Notre recherche se range dans le champ de la recherche empirique reposant sur des données quantitatives obtenues à partir d'une démarche quasi expérimentale. Une recherche quasi expérimentale consiste à identifier un groupe témoin qui doit être aussi proche que possible du groupe expérimental au niveau des caractéristiques initiales (préalables à l'intervention). Ce protocole de recherche comporte un pré-test, un test (séance expérimentale), un post test. Le groupe témoin et le groupe expérimental sont soumis à un pré-test et à un post test, seul le groupe expérimental est soumis au test. Le groupe témoin reçoit des enseignements de même contenus que le groupe expérimental mais dispensé selon les méthodes en vigueur et ce groupe témoin permet d'identifier les résultats qui seraient survenus si le programme (test) n'avait pas été mis en œuvre. Ce type de recherche permet de prouver que le test est bien à l'origine des différences de résultat entre le groupe expérimental et le groupe témoin.

Ce travail s'est focalisé sur le concept image en optique géométrique. Il est question pour nous de changer la méthode d'enseignement utilisée par les enseignants pour aborder ce concept, en remplaçant par un enseignement basé sur la DI et de mesurer les changements qui en découlent quant à la compréhension de ce concept par les élèves.

4.2. Site de l'étude

Le site de l'étude est le lieu, une localité où le chercheur entend mener ses enquêtes pour vérifier la véracité de ses hypothèses et de confirmer ou non le problème posé comme fondement de la recherche. Compte tenu du fait que nous souhaitons appliquer la démarche d'investigation lors d'un enseignement de la physique sur le concept image en optique géométrique, il était important pour nous de choisir un établissement scolaire qui nous servira de base pour mener notre expérimentation. Dans le cas qui nous concerne, nous entendons mener notre étude dans la ville de Yaoundé, au lycée bilingue de Mimboman, situé dans l'arrondissement de Yaoundé IV^e dans le département de Mfoundi plus précisément au lieu-dit Mimboman lycée. Il compte en moyenne 280 enseignants et un peu plus de 4000 élèves. Le choix de cet établissement comme lieu d'expérimentation s'explique par le fait que d'une part, nous avons effectué un stage académique dans cet établissement. D'autre part, nous avons retrouvé nos collègues qui nous ont facilité l'accès. Ceci nous a épargné les difficultés liées à la recherche d'enseignants qui voudraient bien consacrer un peu de temps à la recherche et d'établissements qui accepteraient volontiers l'expérimentation au sein de leurs classes. Par ailleurs, la raison la plus importante était la motivation des enseignants à participer et à faire participer leurs élèves à l'intervention didactique. Car certains enseignants étaient réticents à l'expérimentation.

4.3. Définition de la population

Selon Ronger (1979) la population est « *l'ensemble d'individus qui peuvent entrer dans le champ de l'enquête et parmi lesquels sera choisi l'échantillon* ». Notre population d'étude est constituée de l'ensemble des apprenants de la classe de première scientifique de l'enseignement secondaire général au Cameroun. C'est la population mère à partir de laquelle seront tirées la population cible et la population accessible.

4.3.1. Population cible

La population cible est la population sur laquelle porte notre étude. Elle est constituée de l'ensemble des individus sur lesquels les résultats peuvent être appliqués. Notre population cible est constituée de l'ensemble des apprenants de la classe de première scientifique de l'enseignement secondaire général de la ville de Yaoundé.

4.3.2. Population accessible

La population accessible est une partie de la population cible ⁴. Dans notre cas, pour des raisons d'accessibilité pratiques ainsi que des coûts économiques, la population accessible est restreinte à l'ensemble des élèves de la classe de première scientifique du Lycée Bilingue de Mimboman. Cet échantillon initial de l'étude concerne en particulier deux classes de première à savoir 1^{ère} C₁ et 1^{ère} C₂.

Table 1:répartition de la population accessible

Groupe	Effectifs		Total
	Garçons	Filles	
Première "C ₁ "	27	18	45
Première "C ₂ "	31	13	44

4.4. Définition de l'échantillon et technique d'échantillonnage de l'étude

Notre recherche se range dans le cadre des enquêtes par sondage car, il est question pour nous de faire appel à un échantillonnage afin d'obtenir notre échantillon, qui correspond à la partie de la population accessible sur laquelle sera effectivement effectuée l'étude. Il est alors important pour nous, que l'échantillon soit représentatif de la population cible au regard du caractère étudié qui est la perception du concept d'image optique enseigné dans les classes de première scientifique de la ville de Yaoundé. C'est pourquoi nous avons fait le choix d'avoir recours à la méthode d'échantillonnage empirique. D'après Mimché (2017) cette méthode d'échantillonnage encore appelée « échantillonnage pragmatique » est basée sur le principe du « choix raisonné » qui consiste à choisir les individus de notre population accessibles, qui présentent des caractéristiques relatives aux variables qui sont en rapport avec le phénomène étudié.

Les techniques d'échantillonnage sont des moyens ayant permis d'obtenir l'échantillon de recherche. Dans cette recherche la technique d'échantillonnage que nous avons choisi d'utiliser concerne les méthodes non-probabiliste. En particulier la définition des effectifs garçons et filles retenue dans chaque classe s'est appuyée sur un « *choix raisonné* » étant donné

⁴ Encore appelé population mère de notre étude, elle est composée des élèves des classes de première scientifique de la ville de Yaoundé

la disponibilité des listes des élèves de chaque classe d'enquête. Dans le cadre de cette recherche, l'échantillon est constitué des apprenants des classes de 1^{ère} scientifique C₁ et C₂ du lycée bilingue de Mimboman. Car étant rendu dans ledit établissement, ces deux classes n'avaient pas encore abordé la leçon sur la caractérisation de l'image d'un objet donné par une lentille mince (leçon qui permet de traiter le problème relevé dans notre étude). De plus dans ces deux classes, la physique est enseignée par un même enseignant. Après les résultats du pré-test, nous avons retenu les apprenants qui présentaient des difficultés face au concept d'image optique. Nous avons par la suite constitué deux groupes à peu près équivalents, le but étant d'avoir des groupes homogènes sauf au niveau de la méthode.

En ce qui concerne la taille de l'échantillon, nous avons retenu au pré-test les effectifs initiaux d'ensemble de la population accessible de la PC₁ (45 apprenants) et la PC₂ (44 apprenants). Ensuite, après avoir administré le test à la classe expérimentale (les 44 apprenants de la PC₁), l'échantillon total considéré au post-test a été ramené à 80 apprenants en raison de l'absence de certains d'entre eux. Ce dernier échantillon est donc constitué d'un groupe témoin (1^{ère} C₁) de 40 apprenants qui subiront un enseignement classique et d'un groupe expérimental (1^{ère} C₂) des 40 autres apprenants sur lesquels sera appliqué la DI. Ceci nous permettra ainsi de mesurer son influence sur les connaissances des apprenants face au concept d'image optique.

Table 2: répartition des effectifs de l'expérience

	Echantillon	Population
Groupe	Effectifs (n)	Effectifs (n)
Expérimental	40	44
Témoin	40	45
Total	80	89

4.5. Méthode et instrument de collecte des données

Dans le cadre de cette étude, nous avons opté pour une méthode quantitative de collecte des données, selon la chronologie suivante:

- un pré-test, consistant à une enquête par questionnaire sur les conceptions des apprenants en rapport avec les attributs du concept “d’image optique” avant l’enseignement de ce concept;
- une expérimentation (test), comprenant une séquence d’enseignement-apprentissage portant sur la caractérisation de l’image d’un objet donnée par une lentille mince par la démarche d’investigation;
- un post-test, consistant à une enquête à l’aide du même questionnaire qu’au pré-test mais ayant reçu de légère modification et permettant de vérifier l’évolution.

Comme instrument de collecte des données pour notre recherche, nous avons adopté le “questionnaire” de type papier crayon. Dans ce questionnaire, les questions sont pour la plupart des questions à réponse ouverte et illustrés par des schémas. Le questionnaire est un outil spécifique aux enquêtes quantitatives. Il est composé de questions auxquelles l’enquêté doit répondre. Selon Mimché (2017), le questionnaire permet d’apporter des réponses aux interrogations qui ont motivé l’enquête. Pour cet auteur, cet outil permet de recueillir des informations standardisées et quantifiables sur une population donnée. Les questions posées dans le questionnaire visent à obtenir des informations en relation avec les objectifs de l’étude ou pour vérifier des hypothèses. De ce fait, il s’agit d’un instrument standardisé en vue d’assurer la comparabilité des réponses et l’inférence statistique⁵. Son élaboration représente l’une des parties essentielles de l’enquête. Ainsi, de la qualité du questionnaire dépendra une bonne part de la qualité des données recueillies et donc la fiabilité des résultats de l’étude. Pour cela il est indispensable que les questions posées: soient identiques pour tous les enquêtés; soient posées sans adaptations et reformulations complémentaires. Cet instrument de collecte de données à travers le caractère anonyme que nous lui avons donné, nous a permis d’enquêter plusieurs participants à la fois.

Ce questionnaire est constitué d’un pré-test et d’un post-test donc les analyses a priori sont présentées ci-dessous.

⁵ Validation des résultats de l’échantillon sur la population mère

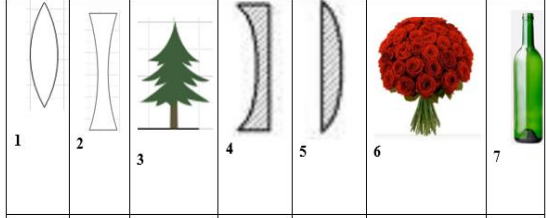

4.6. Analyse a priori des dispositifs d'expérimentation



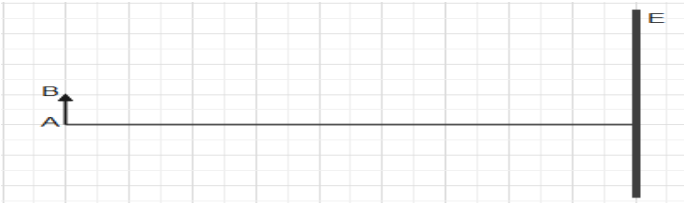
4.6.1. Le pré-test

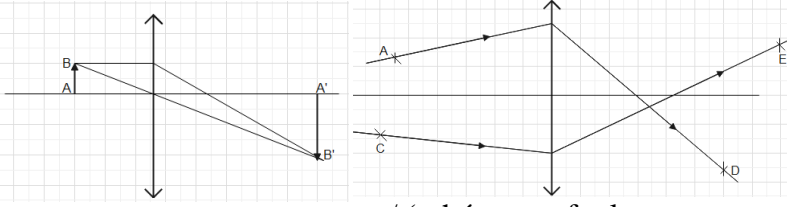
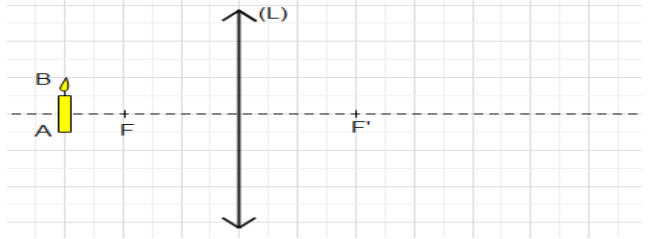
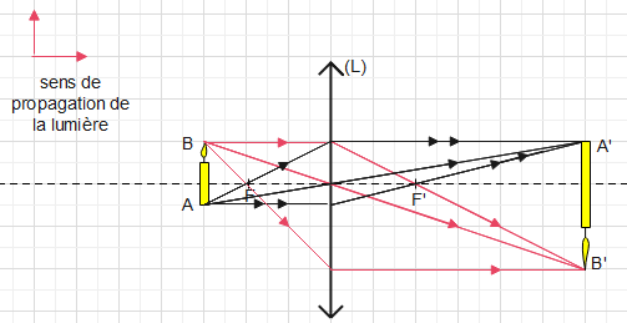
Le pré-test est constitué de six (6) questions principales constituées des questions spécifiques (Annexe 2), dont les majeures parties sont des questions à réponse ouverte parce que nous voulons permettre aux apprenants de raisonner et d'avoir une certaine liberté dans leurs réponses. Ceci nous permettant de mieux collecter leurs conceptions sur le concept d'image optique. Ce pré-test nous fournit les éléments d'information sur la perception du concept d'image optique par les élèves des différentes classes, ainsi que pour la définition du groupe témoin et du groupe expérimental. Les questions posées dans le cadre de ce pré-test s'inspirent des travaux de Fawaz (1985), de Kaminski et Mistrioti (2000) et sur le livre de l'élève. Il est administré à quarante-six (45) apprenants de la classe de 1^{ère} C₁ et quarante-quatre (44) apprenants de la classe de 1^{ère} C₂ du lycée bilingue de Mimboman.

Le tableau 3 ci-dessous présente les questions posées, les objectifs de chaque question et les réponses attendues pour chacune d'elle, ce qui constitue notre analyse a priori du pré-test.

Table 3: Analyse a priori du pré-test

N°	QUESTIONS	OBJECTIFS	REPOSES ATTENDUES
Q1	<p>A. Un point objet est :</p> <ol style="list-style-type: none"> Le point d'intersection des rayons émergeant d'un système optique. Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique. Le point de rencontre de rayons sur un écran. <p>Pas de réponse</p> <p>B. Un point image est :</p> <ol style="list-style-type: none"> Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique. Le point d'intersection des rayons qui sortent d'un système optique. Le point de rencontre entre la lentille et l'axe optique Pas de réponse <p>C. Combien de rayons lumineux sont indispensables pour trouver le point image d'un objet à travers une lentille mince :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 2 ou 3 4 Pas de réponse 	<p>Définir point objet, point image et connaître le nombre de rayons lumineux indispensable à la construction du point image d'un point objet à travers une lentille mince.</p>	<p>A/-b B-/b C-/b</p>
Q2	<p>Porte sur les modèles physique utilisés pour désigner les lentilles minces et objets</p> 	<p>Vérifier comment l'apprenant modélise les objets et lentilles</p>	<p>Le modèle physique des lentilles et objets</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour l'image 1, 5, le modèle utilisé est : 

			<ul style="list-style-type: none"> • Pour l'image 2, 4, le modèle utilisé est :  <ul style="list-style-type: none"> • Pour l'image 3,6,7, le modèle utilisé est : 
Q3	<p>On considère un objet lumineux AB et un écran E. vu la figure 1 présentée ci-dessous, qu'observerait-on sur l'écran E ?</p>  <p>Figure 1</p>	<p>Vérifier la nécessité d'un système optique pour la formation de l'image d'un objet</p>	<p>On observe une zone uniformément éclairée sur l'écran</p>
Q4	<p>Décrire tout en justifiant toutes les correspondances points images- points objets figurant sur les schémas ci-dessous.</p> <p>a/</p> <p>b/</p>	<p>Vérifier les conceptions de l'apprenant sur les correspondances points images points objets et le minimum de rayons lumineux</p>	<p>Q4-a/ A' point image du point objet A, B' point image du point objet B Éléments justificatifs : les segments [AA'] et [BB'] passent par le centre optique. Q4-b/ D n'est pas le point image de A. E est le point image de C.</p>

	 <p>c/ (schéma confer le questionnaire du post-test)</p>	<p>nécessaire partant d'un point objet pour la formation de l'image à travers une lentille.</p>	<p>Éléments justificatifs : le segment [AD] ne passe pas par le centre optique et le [CE] passe par le centre optique. Q4-c/ Q est le point image de P Éléments justificatifs : il existe deux rayons lumineux issus de P qui arrivent en Q et depuis le segment [PQ] passe par le centre optique</p>
<p>Q5</p>	<p>En vous référant à la figure 2, construire l'image de la bougie AB à travers une lentille mince convergente (L).</p>  <p>Figure 2</p>	<p>Vérifier les conceptions de l'apprenant liées à la schématisation et à la construction de l'image d'un objet par correspondance point à point tout en utilisant un modèle spécifique d'objet</p>	
<p>Q6</p>	<p>Une lentille convergente (L) donne d'un objet AB lumineux une image réelle A'B' que l'on reçoit sur un écran (E) (figure 3). L'ensemble est disposé comme le montre le schéma de la figure 3 suivant :</p> <p>a. Qu'observe-t-on sur l'écran (E) ?</p>	<p>Vérifier la conception d'<i>image voyageuse</i> et ses déclinaisons.</p>	<p>Figure 3, on observe sur l'écran l'image A'B' de l'objet ACB</p>

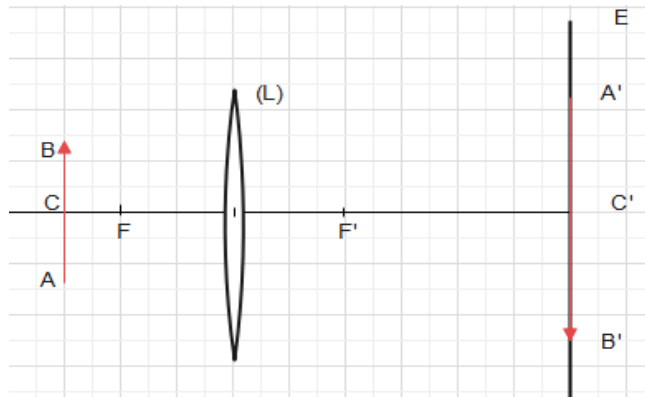


Figure 3

On prend le dispositif de la figure 3 et on cache la moitié de la lentille par un carton figure 4.

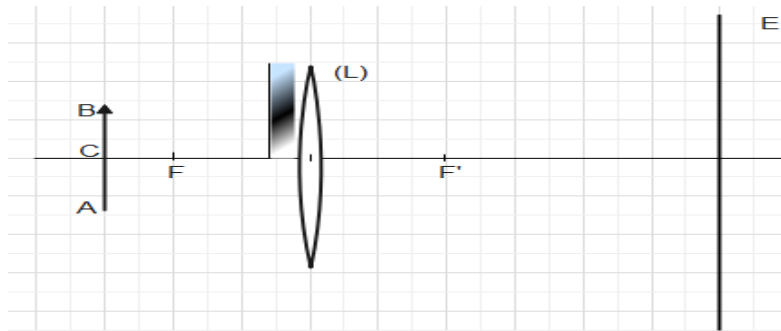


Figure 4

- b. Qu'observe-t-on de nouveau sur l'écran ? comparez le résultat obtenu avec celui obtenu à la figure 3 précédent en justifiant votre réponse.

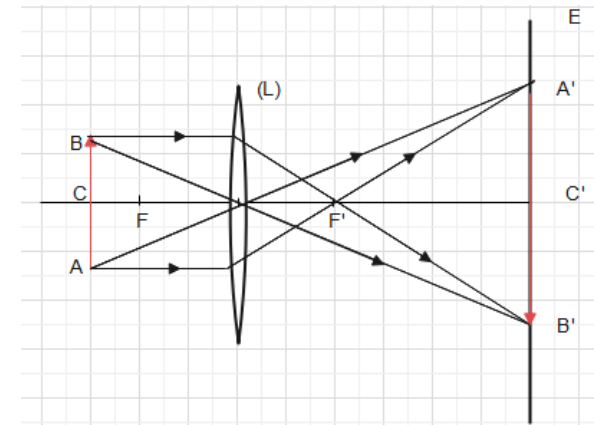
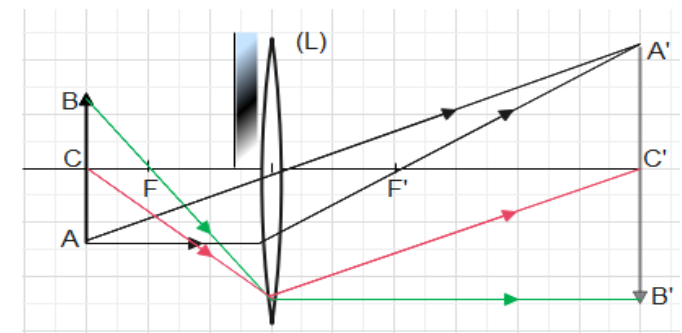


Figure 4, on observe également sur l'écran l'image A'B' de l'objet AB mais dans ce cas l'image est moins nette (moins lumineuse) car une bonne partie de rayons venant de l'objet sont arrêtés par le cache dans la partie centrale.

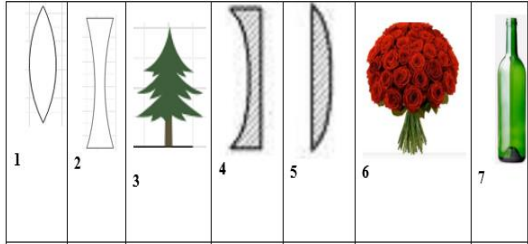






4.6.2. Post-test

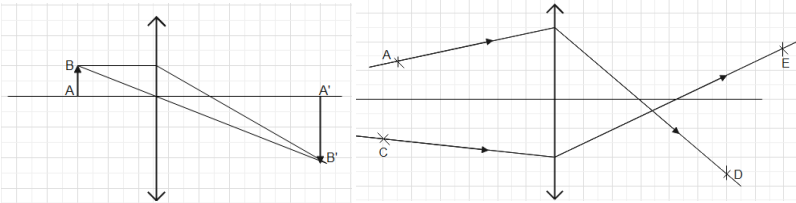
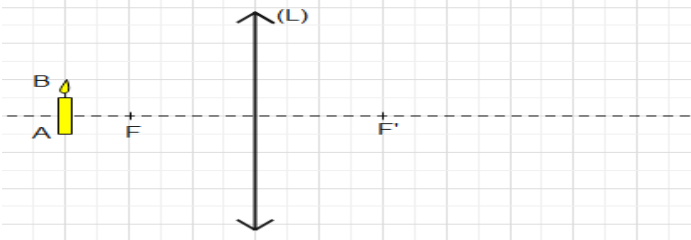
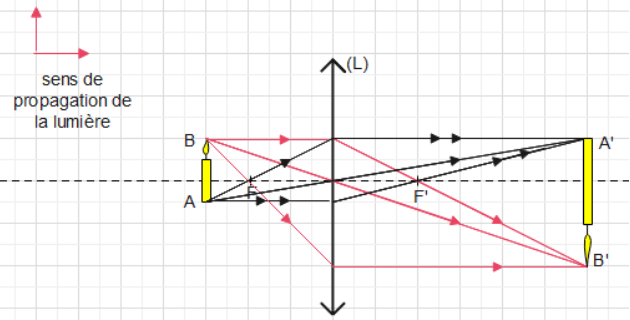
Le post-test comporte sept (7) questions (Annexe 4) et a été administré à quarante (40) apprenants de la classe de 1^{ère} C₁ et quarante-un (40) apprenants de la classe de 1^{ère} C₂ du même lycée. Les résultats obtenus ici seront soumis à une analyse afin de confirmer ou infirmer notre hypothèse générale. Ces résultats nous permettront ainsi d'avoir une vue d'ensemble de l'évolution des connaissances des apprenants après la phase d'expérimentation.

Le tableau 4 ci-dessous présente les questions posées, les objectifs de chaque question et les réponses attendues pour chacune d'elle, ce qui constitue notre analyse a priori du post-test.

Table 4: Analyse a priori du post-test

N°	QUESTIONS	OBJECTIFS	REPONSES ATTENDUES
Q1	<p>A. Un point objet est :</p> <ol style="list-style-type: none"> Le point d'intersection des rayons émergeant d'un système optique. Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique. Le point de rencontre de rayons sur un écran. Pas de réponse <p>B. Un point image est :</p> <ol style="list-style-type: none"> Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique. Le point d'intersection des rayons qui sortent d'un système optique. Le point de rencontre entre la lentille et l'axe optique Pas de réponse <p>C. Combien de rayons lumineux sont indispensables pour trouver le point image d'un objet à travers une lentille mince :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 2 ou 3 4 Pas de réponse 	<p>Définir point objet, point image et connaître le nombre de rayons lumineux indispensable à la construction du point image d'un point objet à travers une lentille mince.</p>	<p>A/-b B-/b C-/b</p>
Q2	<p>Porte sur les modèles physique utilisés pour désignés les lentilles minces et objets</p> 	<p>Construire le modèle physique utilisé pour désigner les lentilles minces et objets</p>	<p>Le modèle physique des lentilles et objets</p> <ul style="list-style-type: none"> Pour l'image 1, 5, le modèle utilisé est : 

			<ul style="list-style-type: none"> • Pour l'image 2, 4, le modèle utilisé est :  <ul style="list-style-type: none"> • Pour l'image 3,6,7, le modèle utilisé est : 
Q3	<p>On considère un objet lumineux AB et un écran E. vu la figure 1 présentée ci-dessous, qu'observerait-on sur l'écran E ?</p>  <p>Figure 1</p>	<p>Vérifier la nécessité d'un système optique pour la formation de l'image d'un objet</p>	<p>On observe une zone uniformément éclairée sur l'écran</p>
Q4	<p>Décrire tout en justifiant toutes les correspondances points images- points objets figurant sur les schémas ci-dessous.</p> <p>a/</p> <p>b/</p>	<p>Identifier et décrire les correspondances points images points objets</p>	<p>Q4-a/ A' point image du point objet A, B' point image du point objet B Éléments justificatifs : les segments [AA'] et [BB'] passent par le centre optique. Q4-b/</p>

	 <p>c/ (schéma conféré le questionnaire du post-test)</p>		<p>D n'est pas le point image de A. E est le point image de C. Éléments justificatifs : le segment [AD] ne passe pas par le centre optique et le [CE] passe par le centre optique. Q4-c/ Q est le point image de P Éléments justificatifs : il existe deux rayons lumineux issus de P qui arrivent en Q et depuis le segment [PQ] passe par le centre optique</p>
<p>Q5</p>	<p>En vous référant à la figure 2, construire l'image de la bougie AB à travers une lentille mince convergente (L).</p>  <p>Figure 2</p>	<p>Comprendre le principe de construction de l'image d'un objet par correspondance point à point tout en utilisant un modèle spécifique d'objet</p>	
	<p>Une lentille convergente (L) donne d'un objet AB lumineux une image réelle A'B' que l'on reçoit sur un écran (E) (figure 3). L'ensemble est disposé comme le montre le schéma de la figure 3 suivant :</p> <p>a. Qu'observe-t-on sur l'écran (E) ? Justifiez votre réponse par le tracé des rayons issus de l'objet AB.</p>	<p>Voir l'effet la perturbation introduite par une schématisation différente par rapport aux habitudes scolaires tout en vérifiant l'assimilation du</p>	<p>Figure 3, on observe sur l'écran l'image A'B' de l'objet ACB</p>

Q6

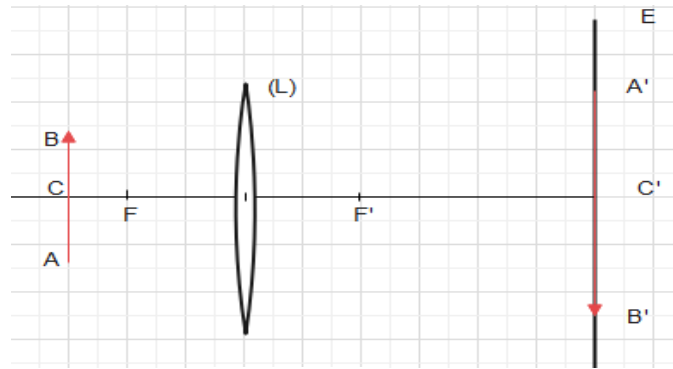


Figure 3

On prend le dispositif de la figure 3 et on cache la moitié de la lentille par un carton figure 4.

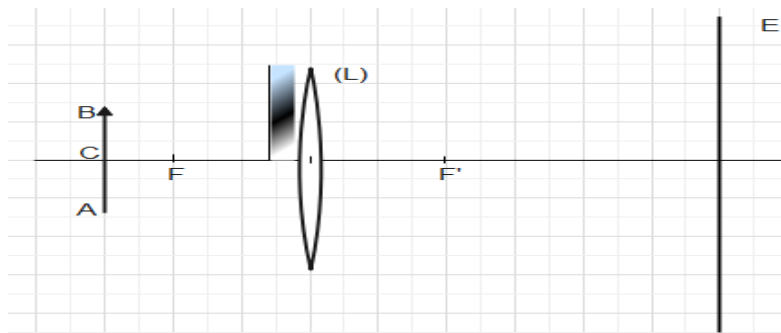


Figure 4

- b. Qu'observe-t-on de nouveau sur l'écran ? comparez le résultat obtenu avec celui obtenu à la figure 3 précédent en justifiant votre réponse.

principe de construction de l'image d'un objet à travers une lentille.

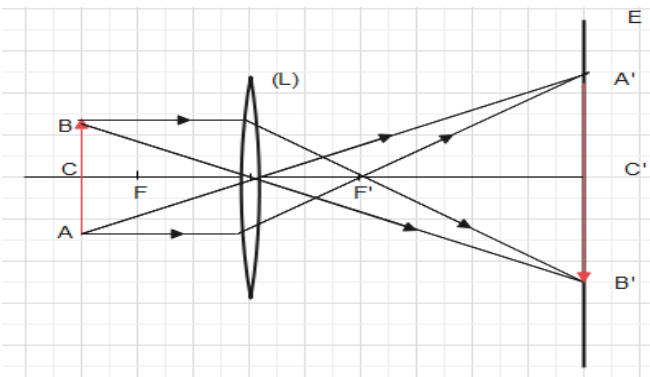
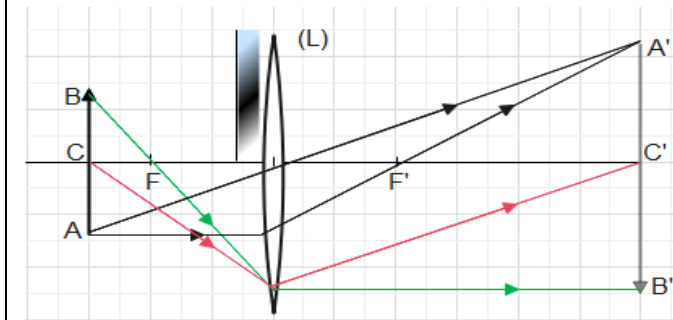


Figure 4, on observe également sur l'écran l'image A'B' de l'objet AB mais dans ce cas l'image est moins nette (moins lumineux) car une bonne partie de rayons venant de l'objet sont arrêtés par le cache dans la partie centrale.



Q7

Un animal voit un arbre de hauteur $AB=8\text{cm}$ à travers une lentille mince convergente (L) de centre optique O et de distance focale $f'=12\text{cm}$, comme le montre le schéma de la figure 4 ci-dessous.

- Construire l'image $A'B'$ de l'arbre par la lentille (L).
- Déterminer graphiquement $\overline{A'B'}$, \overline{OA} , $\overline{OA'}$ et déduire le grandissement γ .

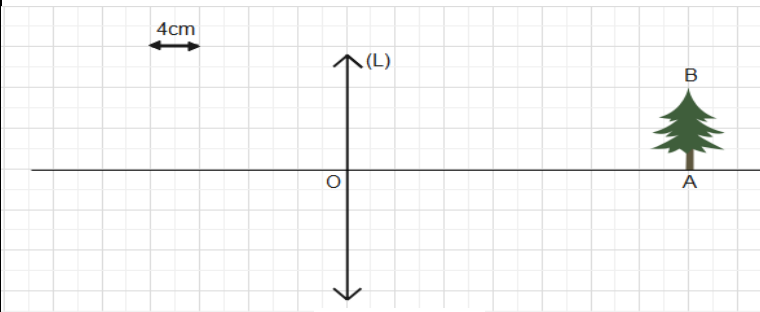
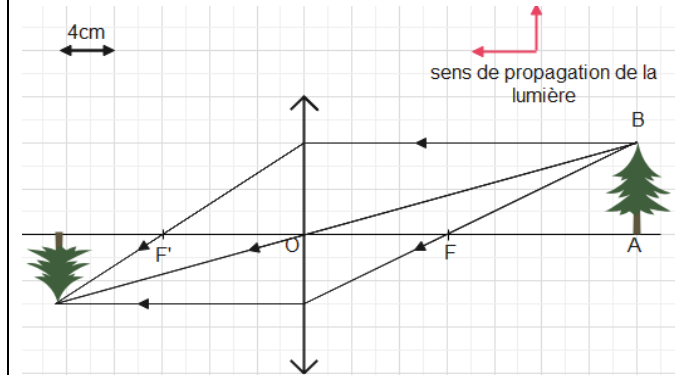


Figure 5

Déterminer graphiquement $\overline{A'B'}$, \overline{OA} , $\overline{OA'}$

$$\overline{A'B'} = -6\text{cm}, \overline{OA} = -28\text{cm}, \overline{OA'} = 21\text{cm}, \gamma = -3/4$$



4.7. Validation de l'instrument de collecte des données

Un instrument est valide lorsqu'il mesure effectivement ce qu'il prétend mesurer. Dans le but d'examiner la validité de notre questionnaire, nous avons au préalable vérifié minutieusement que les questions posées permettent effectivement d'évaluer les notions relatives au concept d'image optique. De ce point de vue, le questionnaire a été soumis dans un premier temps à l'appréciation des enseignants de physique-chimie dans le but d'obtenir des critiques concernant sa forme et son fond. Après suggestions faites par ces enseignants et après la prise en comptes de ces suggestions, nous avons administré notre questionnaire à 20 apprenants de la classe de première scientifique, provenant des établissements différents de celui du lycée bilingue de Mimboman, ce qui nous a permis de vérifier s'il existe des erreurs de compréhension et donc, si les questions posées étaient suffisamment claires. A la suite de cette phase, nous avons réajusté nos questions là où le besoin se faisait ressentir et avons soumis à notre encadreur qui a pris acte et a validé cela à la vue de l'analyse a priori que nous avions faite.

4.8. Méthode d'analyse des données

Pour analyser quantitativement nos données, nous avons eu recours au logiciel SPSS version 25.0. et principalement à la commande « comparer les moyennes » qui permet de comparer deux moyennes observées sur deux échantillons indépendants. Grâce à cette commande, nous avons pu effectuer le test-T du Student pour un échantillon indépendant, qui permet de tester l'égalité de deux moyennes d'une variable quantitative à l'intérieur de deux groupes ayant chacun un effectif de 40 apprenants. Ainsi, nous pourrions observer s'il existe une différence significative entre les moyennes obtenues dans les groupes témoin et expérimental et ainsi, en tirer des conclusions.

La formule utilisée par le logiciel pour le calcul de t est la suivante:

$$t = \frac{|X_{GE} - X_{GT}|}{\sqrt{\frac{S_{GE}^2}{N_{GE}} + \frac{S_{GT}^2}{N_{GT}}}}$$

Où : t désigne le test-T;

X_{GE} : Moyenne groupe expérimentale;

X_{GT} : Moyenne groupe témoin;

S_{GE}^2 : Variance groupe expérimental;

S_{GT}^2 : Variance groupe témoin;

N_{GE} : Effectif groupe expérimental;

N_{GT} : Effectif groupe témoin.

Notre logiciel nous facilitera la tâche en effectuant les calculs dont il est question ici et nous permettra dans un tableau les résultats obtenus. Pour chaque calcul, le logiciel fixe la marge d'erreur à 5%, soit une confiance de 95% donc $\alpha = 0,05$. Ainsi pour tester nos hypothèses, nous suivrons les étapes suivantes:

- 1- Formulation de l'hypothèse (H_0) qui est l'hypothèse d'égalité des variances et l'hypothèse alternative (H_1) qui est l'hypothèse de l'inégalité des variances;
- 2- Lecture de la valeur de t calculée par le logiciel (que nous noterons « t calculé »).
- 3- Lecture de la valeur critique ddl (degré de liberté) calculée par le logiciel ddl est donnée par l'application de la formule: $ddl = (N_{GE} + N_{GT}) - 2$
- 4- Lecture de la valeur de t (que nous noterons « t lu ») dans la table de la loi de Student (que nous présentons en annexe)

NB : La valeur de t lue est celle correspondant à l'intercession entre les valeurs de ddl et de α sur la table de la loi de Student et puisque ddl et α sont constants, de même t lu sera constant.

- 5- Règle de décision:

En tenant compte du risque bilatéral qui est de 5%, on a:

- Si t calculé $\geq t$ lu, H_0 est rejeté au risque alpha bilatéral de 5% et H_1 est retenue
- Si t calculé $< t$ lu, H_0 est retenue au risque alpha bilatéral de 5% et H_1 est rejetée

- 6- Conclusion.

CHAPITRE 5 : EXPÉRIMENTATION

Dans ce chapitre nous décrivons le déroulement effectif des activités auxquelles sont soumis les apprenants. L'expérimentation va se dérouler en trois étapes qui sont: le pré-test, l'expérimentation proprement dite (test) et le post-test.

5.1. Le pré-test

La première étape qui est le pré-test a été administré à 89 apprenants soit quarante-quatre (44) apprenants de la classe le 1^{ère} C₂ le 01 décembre 2021 et quarante-cinq (45) apprenants de 1^{ère} C₁ le 02 décembre 2021 pendant une durée de 2h. Nous rappelons le fait que les apprenants de ces deux classes avaient déjà abordé les deux premières leçons sur la séquence des lentilles minces qui portent sur : la définition et éléments caractéristiques des lentilles minces et les propriétés optiques des lentilles mais n'avaient pas encore abordé la leçon portant sur la caractérisation de l'image d'un objet donnée par une lentille mince (leçon qui permet de traiter le problème dans notre étude).

Des résultats issus de la correction du pré-test nous ont permis de confirmer que les apprenants éprouvent pour la quasi-totalité d'entre eux les mêmes difficultés conceptuelles liées au concept d'image optique. Nous avons obtenu des résultats sensiblement identiques dans les deux classes (cf. chapitre 6). Nous avons donc choisi les apprenants de la classe de 1^{ère} C₁ comme groupe témoin et les apprenants de la classe de 1^{ère} C₂ comme groupe expérimental. Après le pré-test, l'expérimentation proprement dite qui constitue notre deuxième étape a commencé.

5.2. L'expérimentation (test)

Elle s'est déroulée le 08 décembre 2021 pendant une durée de 3h avec la classe expérimentale. L'enseignant que je suis a conduit une séance de cours sur la caractérisation de l'image d'un objet donné par une lentille mince suivant six (6) étapes de la DI qui se présente comme suit (Boilevin, 2013):

- situation problème proposée par l'enseignant;
- appropriation du problème par les apprenants;
- formulation d'hypothèses explicatives, protocole possible;
- investigation ou résolution du problème par les apprenants;
- échange argumenté autour des propositions argumentées;

- acquisition et structuration des connaissances.

Le but visé par cet enseignement sera que l'apprenant comprenne la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince et détermine graphiquement les caractéristiques de l'image dudit objet. En effet pour différente position de l'objet, on obtient à travers la lentille différent type d'image (réelle et virtuelle). Nous avons accentué notre travail sur la construction de l'image réelle d'un objet à travers les lentilles minces convergentes. Néanmoins, il existe des positions spécifiques d'objet qui donnent à travers une lentille mince convergente des images virtuelles. Comme position, nous avons le cas où l'objet se situe entre le foyer principale objet et le centre optique de la lentille, également le cas où l'objet se situe après le foyer principale image de la lentille. Cet enseignement est structuré en huit (8) activités correspondant à des tâches à accomplir par l'apprenant. La fiche d'activité (annexe 3) qui dresse le protocole que nous allons suivre est remise aux apprenants.

Durant cette séance d'enseignement, l'enseignant propose une situation problème aux apprenants en rapport avec leur quotidien (Cf tableau 5). Ceci dans le but de susciter de l'intérêt et une certaine émulation chez ces derniers. La stratégie de l'enseignant est de faciliter l'attention et la compréhension des apprenants. La technique utilisée est le travail individuel dans un premier temps, l'apprenant doit répondre aux différentes questions que comporte l'activité et ensuite en petit groupe de quatre (4) apprenants (11 groupes sont formés). Dans chaque groupe est désigné un rapporteur, c'est lui qui rapporte les réponses émergentes de l'accord entre les membres du groupe correspondant. Un numéro est attribué à chaque groupe, ainsi on aura le groupe 1, le groupe 2, ainsi de suite jusqu'au groupe 11 et les membres des différents groupes resteront les mêmes jusqu'à la fin de la séance. Après la phase du travail en groupe, on passera à la phase de confrontation où chaque rapporteur sera amené à lire les réponses de son groupe où à le reporter au tableau au besoin, ce qui sera soumis à une discussion entre les apprenants avec l'enseignant comme médiateur. Les bonnes réponses seront retenues et l'enseignant pourra faire un récapitulatif en apportant des explications supplémentaires au besoin.

Le dispositif d'enseignement est présenté comme suit:

Table 5: dispositif d'enseignement

ACTIVITES	OBJECTIFS	REPONSES ATTENDUES
<p>Situation problème : lors d'une excursion, les élèves de première c du lycée d'Ekounou ce sont rendus dans un laboratoire d'optique situé à l'université de Yaoundé 1. Étant arrivé au laboratoire, le chef du laboratoire s'est absenté pour prendre le matériel permettant d'expliquer quelques phénomènes d'optique aux élèves en laissant en marche la manipulation sur laquelle il travaillait (comme le montre la figure I) qui visait à déterminer les caractéristiques de l'image d'un objet donné par une lentille. Doté d'une curiosité accrue, ces élèves se sont dirigés vers cette manipulation pour voir de quoi elle parle. Rendu sur la manipulation, ils ont commencé à déplacer la lentille à plusieurs reprises et observaient tantôt une image nette sur l'écran, tantôt une image floue et tantôt rien sur l'écran. Ils ne savent pas comment procéder pour obtenir une image nette sur l'écran et comment ci-prendre pour déterminer les caractéristiques de l'image donner par la lentille.</p>		

Tâche : aidez vos camarades à ci prendre pour obtenir une image nette sur l'écran et déterminer les caractéristiques de cette image



Figure I

Activité 1 :

Dans notre vie quotidienne, nous utilisons de dispositifs optiques tels que : lunette, camera, loupe, microscope, appareil photo et caméra de surveillance qui permettent d'obtenir une image d'un objet.



A l'intérieur de ces appareils se trouvent des lentilles comme le montre la figure 1 suivante. En se référant à la figure 1, répondez aux questions suivantes :

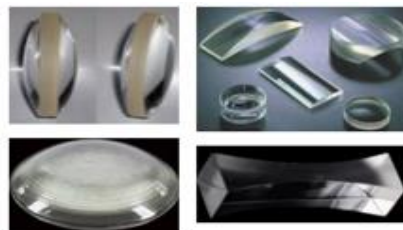


Figure 1

- a. De quelle matière sont faites ces lentilles et combien de surfaces délimitent une lentille ?

Définir lentille et lentille mince

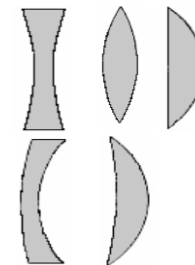
R1-a/

- Ces lentilles sont en verre et en plastique
- Elles sont délimitées par deux surfaces

R1-b/

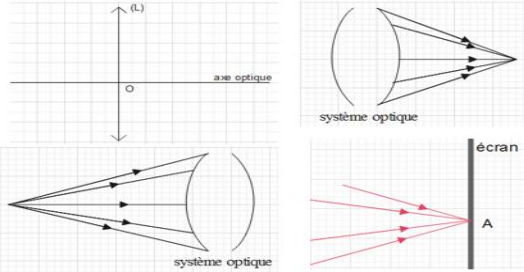
- Ces lentilles ont des surfaces sphériques et planes

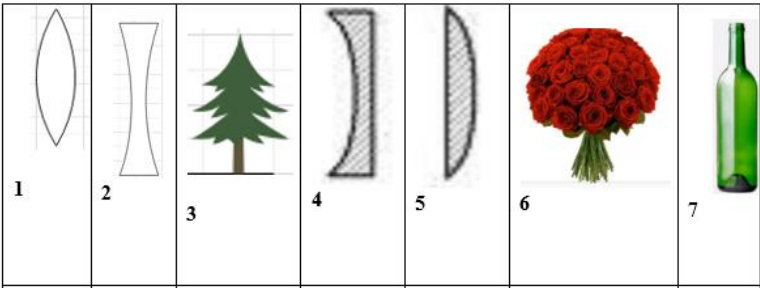

R1-c/



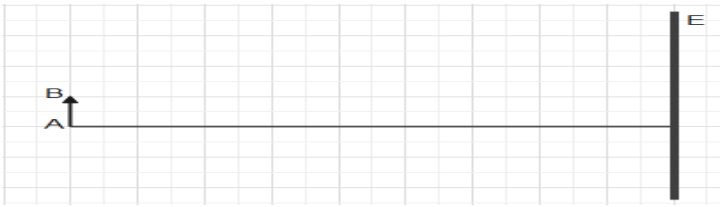


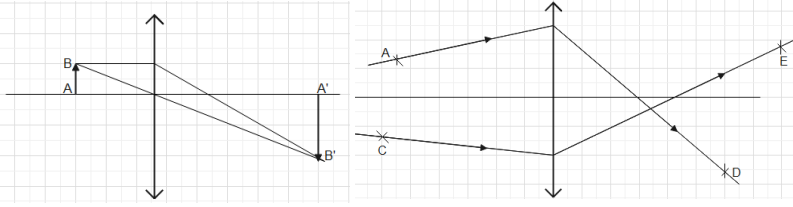
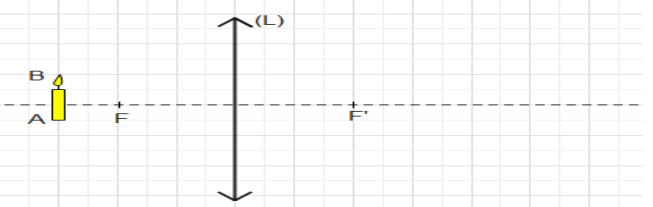
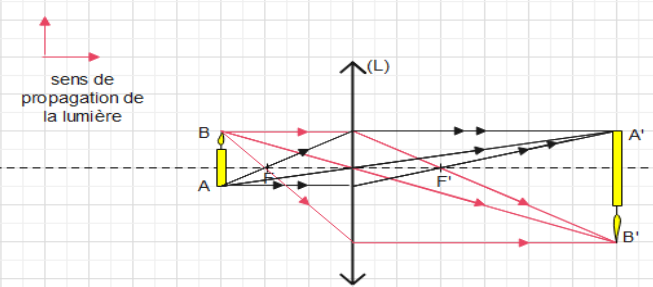
R1-d/

Une lentille est un milieu transparent et homogène formée généralement en verre ou en plastique,

<p>b. Observez et précisez les formes des surfaces de ces lentilles ?</p> <p>c. Donner une représentation schématique de ces différentes lentilles en fonction des formes observées.</p> <p>d. Proposez une définition de la lentille</p> <p>e. Comparez les épaisseurs de ces lentilles par rapport à leurs centres respectifs ?</p> <p>f. Au touché des différentes lentilles, quelle observation faites-vous par rapport aux épaisseurs de celles-ci ?</p> <p>g. Dans quelle mesure une lentille sera dite mince ?</p>		<p>limitée par deux faces dont l'une est sphérique et l'autre plane ou par deux faces sphériques.</p> <p>R1-e/ Ces lentilles ont une épaisseur plus grande aux extrémités qu'au centre</p> <p>R1-f/ Au touché Ces lentilles ont des bords épais et minces</p> <p>R1-g/ Une lentille sera dite mince lorsque son épaisseur au centre est petite par rapport au rayon de courbure</p>
<p>Activité 2 : En vous référant aux représentations schématiques de la figure 2 suivante :</p>  <p style="text-align: center;">Figure 2</p> <p>Parmi les questions (A, B et C) suivantes, une seule réponse est correcte, choisir la réponse juste (<i>faire un cercle sur la lettre correspondante à la réponse choisie</i>) :</p> <p>A. Un point objet est :</p>	<p>Définir point objet, point image et connaître le nombre de rayons lumineux indispensable à la construction du point image d'un point objet à travers une lentille mince.</p>	<p>A/-b B-/b C-/b</p>

<p>a. Le point d'intersection des rayons émergeant d'un système optique.</p> <p>b. Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique.</p> <p>c. Le point de rencontre des rayons sur un écran.</p> <p>d. Autre réponse</p> <p>B. Un point image est :</p> <p>a. Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique.</p> <p>b. Le point d'intersection des rayons qui sortent d'un système optique.</p> <p>c. Le point de rencontre entre la lentille et l'axe optique</p> <p>d. Autre réponse</p> <p>C. Combien de rayons lumineux sont indispensables pour trouver le point image d'un objet à travers une lentille mince :</p> <p>a. 1</p> <p>b. 2 ou 3</p> <p>c. 4</p> <p>d. Autre réponse</p>		
<p>Activité 3 :</p> <p>Donner à chaque lentille mince et objet son modèle physique.</p> 	<p>Vérifier comment l'apprenant modélise les objets et lentilles</p>	<p>Le modèle physique des lentilles et objets</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour l'image 1, 5, le modèle utilisé est : 

		<ul style="list-style-type: none"> • Pour l'image 2, 4, le modèle utilisé est :  • Pour l'image 3,6,7, le modèle utilisé est : 
<p>Activité 4 : On considère un objet lumineux AB et un écran E. vu la figure 3 présentée ci-dessous, qu'observerait-on sur l'écran E ?</p>  <p>Figure 3</p>	<p>Vérifier la nécessité d'un système optique pour la formation de l'image d'un objet</p>	<p>On observe une zone uniformément éclairée sur l'écran</p>
<p>Activité 5 : Décrire tout en justifiant toutes les correspondances points images- points objets figurant sur les schémas ci-dessous. a/ b/</p>	<p>Identifier et décrire les correspondances points images points objets.</p>	<p>R5-a/ A' point image du point objet A, B' point image du point objet B Éléments justificatifs : les segments [AA'] et [BB'] passent par le centre optique. R5-b/</p>

 <p>c/ (schéma confer le questionnaire de l'expérimentation)</p>		<p>D n'est pas le point image de A. E est le point image de C. Éléments justificatifs : le segment [AD] ne passe pas par le centre optique et le [CE] passe par le centre optique. R5-c/ Q est le point image de P Éléments justificatifs : il existe deux rayons lumineux issus de P qui arrivent en Q et depuis le segment [PQ] passe par le centre optique</p>
<p>Activité 6 : En vous référant à la figure 4, construire l'image de la bougie AB à travers une lentille mince convergente (L)</p>  <p>Figure 4</p>	<p>Comprendre le principe de construction de l'image d'un objet point à point tout en utilisant un modèle spécifique d'objet</p>	
<p>Activité 7 : Une lentille convergente (L) donne d'un objet AB lumineux une image réelle A'B' que l'on reçoit sur un écran (E) (figure 5). L'ensemble est disposé comme le montre le schéma de la figure 3 suivant :</p> <p>a. Qu'observe-t-on sur l'écran (E) ? justifiez votre réponse par le tracé des rayons issus de l'objet AB.</p>	<p>Voir l'effet la perturbation introduite par une schématisation différente par rapport aux habitudes scolaires tout en vérifiant l'assimilation du</p>	<p>R7-a/ Sur la Figure 5, on observe sur l'écran l'image A'B' de l'objet ACB</p>

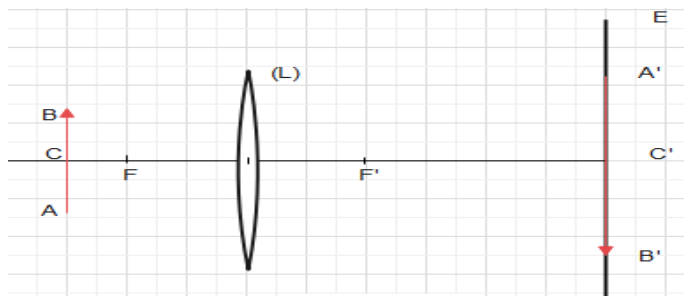


Figure 5

On prend le dispositif de la figure 5 et on cache la moitié de la lentille par un carton figure 6.

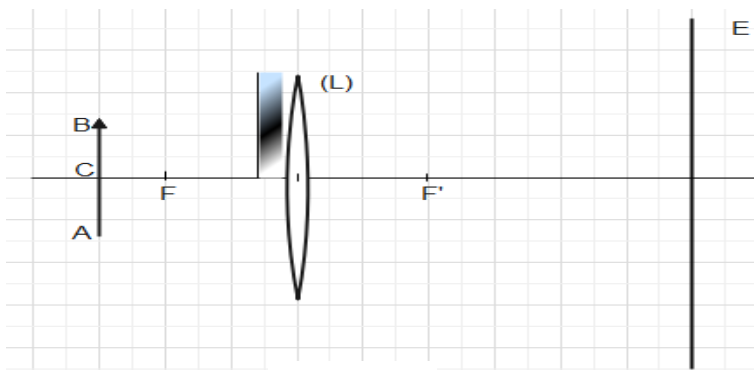
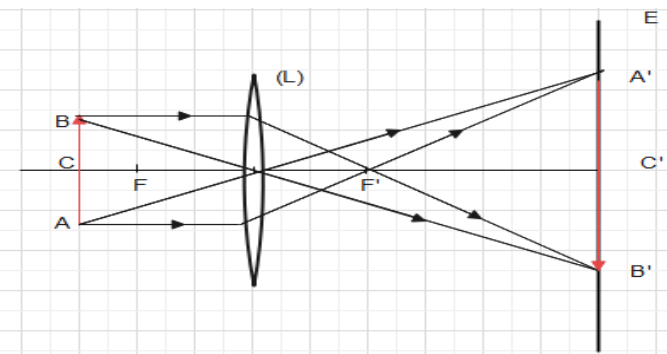


Figure 6

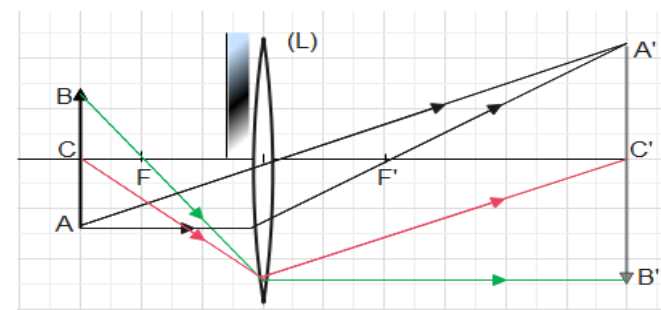
b. Qu'observe-t-on de nouveau sur l'écran ? comparez le résultat obtenu avec celui obtenu à la figure 5 précédent en justifiant votre réponse.

Activité 8 :

principe de construction de l'image d'un objet à travers une lentille.



R7-b/
Figure 3, on observe également sur l'écran l'image A'B' de l'objet AB mais dans ce cas l'image est moins nette (moins lumineux) car une bonne partie de rayons venant de l'objet sont arrêtés par le cache dans la partie centrale.



$$\overline{A'B'} = -6\text{cm}, \overline{OA} = -28\text{cm}, \overline{OA'} = 21\text{cm}, \gamma = -3/4$$

Un animal voit un arbre de hauteur $AB=8\text{cm}$ à travers une lentille mince convergente (L) de centre optique O et de distance focale $f'=12\text{cm}$, comme le montre le schéma de la figure 7 ci-dessous.

- Construire l'image $A'B'$ de l'arbre par la lentille (L).
- Déterminer graphiquement $\overline{A'B'}$, \overline{OA} , $\overline{OA'}$ et déduire le grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

(\overline{OA} est la distance de l'objet par rapport à la lentille ou encore position de l'objet par rapport à la lentille, $\overline{OA'}$ est la distance de l'image par rapport à la lentille ou encore position de l'image par rapport à la lentille et $\overline{A'B'}$ est la hauteur de l'image $A'B'$)

NB : toutes ces valeurs à déterminer sont des mesures algébriques.

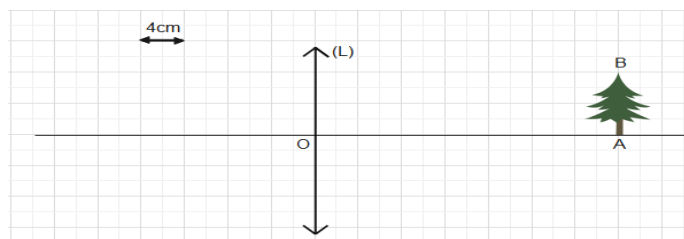
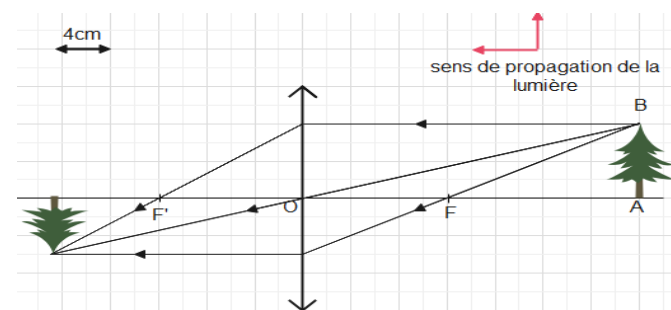


Figure 7

Déterminer graphiquement $\overline{A'B'}$, \overline{OA} , $\overline{OA'}$



Vu le tableau du dispositif d'enseignement ci-dessus, présentons la production de quelques groupes lors de notre séquence d'enseignement. Ici nous allons considérer deux activités à savoir l'activité quatre (4) et cinq (5).

A l'activité 4, il est demandé aux apprenants ce qu'on observerait sur un écran lorsqu'un objet lumineux est placé devant celui-ci. Les apprenants de façon individuel puis en groupe ont émis des hypothèses tout en justifiant leur choix et voici les réponses présentées par quelques groupes :

G₁ : « on observe l'image de AB de même taille que AB et de même sens »

G₂ : « on n'observe rien sur l'écran »

G₅ : « on observe l'objet AB »

G₇ : « il y'a pas d'image car pas de lentille (pas de système optique) ».

De ces réponses présentées, on assiste à une phase de confrontation, chaque groupe défend son point de vue. L'enseignant intervient par moment pour poser quelques questions ceci dans le but de permettre aux différents groupes de réajuster leurs réponses afin de tomber de commun accord sur la réponse attendue. Après cette phase de validation des hypothèses, vient la phase de reformulation écrite par les apprenants avec l'aide de l'enseignant de la réponse.

Réponse : *sur l'écran on observe une zone uniformément éclairée et aussi sans système optique (lentille) on ne peut observer l'image d'un objet.*

A l'activité 5, il est demandé de décrire toutes les correspondances points-images points-objets, tout en justifiant les réponses. Nous considérons la production de trois groupes. Après travail en groupe, voici présenté sur la figure 9, 10 et 11 les différentes descriptions par groupe.

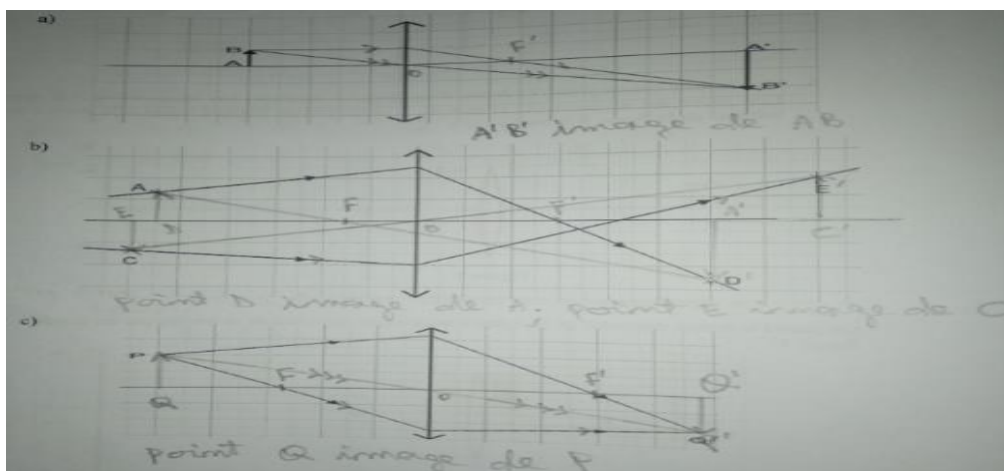


Figure 9: proposition du groupe 2

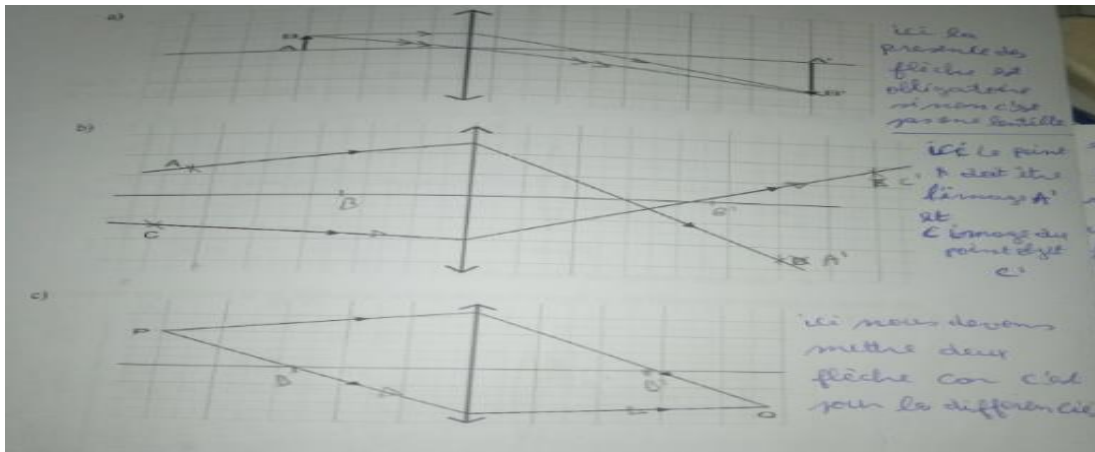


Figure 10: proposition du groupe 3

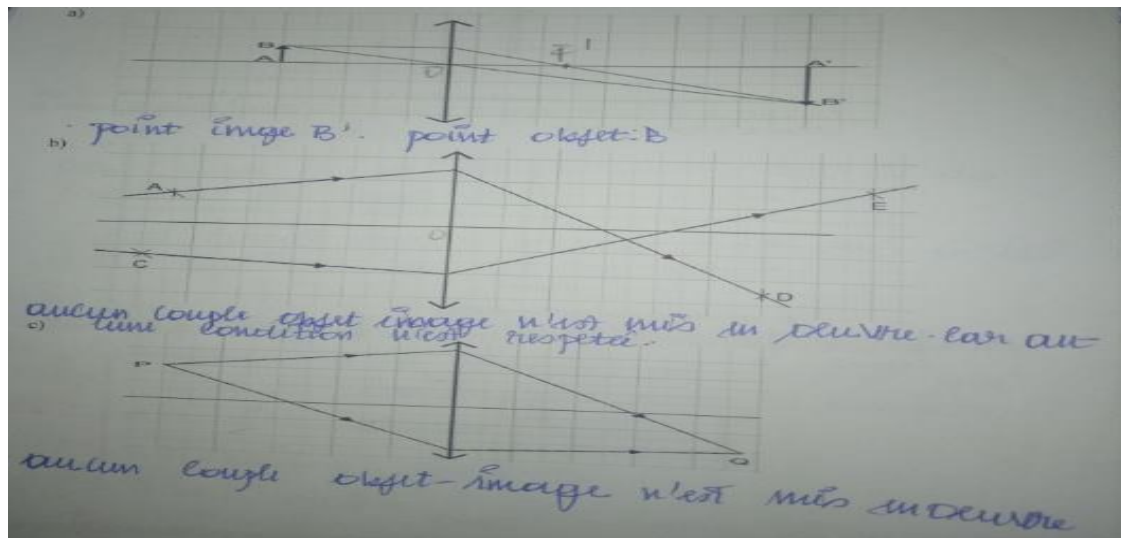


Figure 11: proposition du groupe 4

Après description des correspondances, il est demandé à chaque groupe de justifier le choix porté sur ces correspondances. Cette phase de confrontation a permis de ressortir des règles permettant à identifier les correspondances. L'enseignant s'est toujours comporté de la même manière que lors de l'activité 4.

Le groupe témoin a suivi un enseignement le 09 décembre 2021 pendant une durée de 2h et le 13 décembre 2021 pendant une durée de 1h avec l'enseignant de la classe. Ce groupe subit un enseignement suivant la méthode différente que celle que nous avons appliqué au groupe expérimental. Nous qualifions cette méthode de classique.

5.3. Le post-test

Les deux groupes (expérimental, témoin) sont soumis au post-test respectivement le 15 décembre 2021 et le 16 décembre 2021, pendant une durée de 2h. Lors de l'administration du post-test, nous avons recensé quatre (4) et cinq (5) absents en classe de 1^{ère} C₂ et 1^{ère} C₁ respectivement car c'était la semaine des évaluations et n'étant pas venu avec les reçus de paiement, il leur a été demandé d'aller chercher ces reçus. Le questionnaire de ce post-test comporte sept (7) questions et sera quelque peu semblable au questionnaire du pré-test afin d'effectuer une comparaison et de mieux évaluer l'impact de la séquence d'enseignement appliqué. A la fin de l'évaluation, les feuilles des apprenants sont récupérées pour être corrigées et c'est ainsi que s'achève notre expérimentation.

CHAPITRE 6: RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre donne les résultats des différentes collectes d'informations effectuées sur le terrain, notamment au pré-test et au post-test, suivis à chaque fois d'une analyse statistique à l'aide du logiciel EXCEL et SPSS qui aboutira à la validation ou non des hypothèses de recherche.

6.1. Présentation des résultats

6.1.1. Présentation des résultats au pré-test

Le pré-test a été administré à quarante-cinq (45) apprenants de la classe de 1^{ère} C₁ et quarante-quatre (44) apprenants de la classe de 1^{ère} C₂. Les résultats statistiques se présentent comme suit:

NB: Ayant affecté la modalité 1 aux réponses trouvées et 0 aux réponses fausses, on utilise indifféremment le nombre (ou pourcentage) d'élèves et le nombre (ou pourcentage) de notes relevées. Les données présentes dans les différents tableaux et graphiques ont été traitées par nous avec l'appui de mon collègue qui est un expert en statistique.

6.1.1.1. Statistiques du pré-test de la PC₁

Dans le cadre de l'opération de pré-test en PC₁ (voir tableau 6 ci-dessous), il est ressorti une moyenne de 20,15 apprenants ayant bien répondu dans l'ensemble des questions du test. Avec un minimum de zéros et un maximum de 37 réponses justes dans l'ensemble, on a enregistré un écart de bonnes réponses d'environ 13 entre les différentes questions posées. Le mode exprime le fait que seul le score de 33 réponses est obtenu pour deux questions à la fois (Q4.2.2 et Q5) sur un total de 403 réponses bonnes observées dans l'ensemble. Enfin, il y a 50% des questions du test qui enregistrent un total de réponses justes inférieures à 22 et les 50% autres enregistrent des totaux supérieurs à cette valeur.

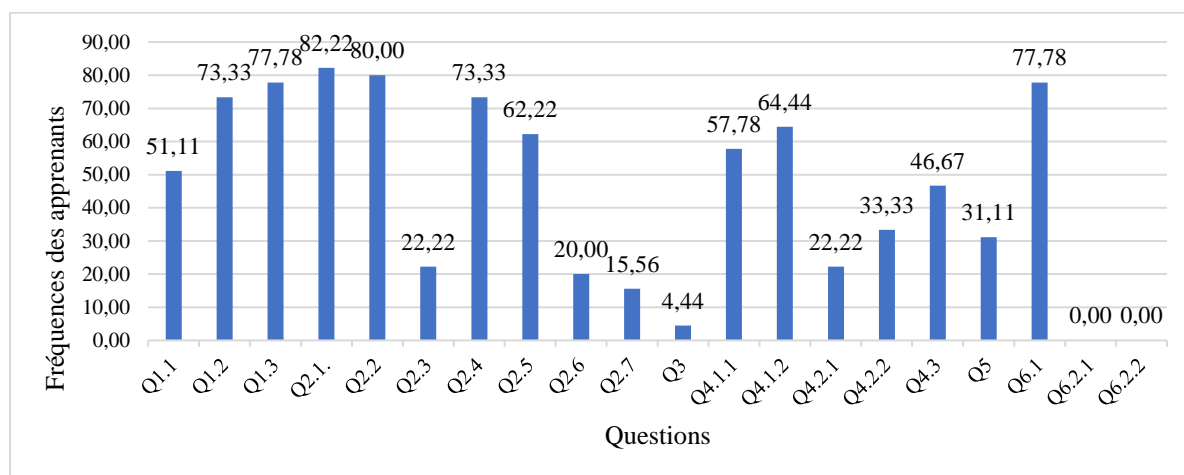
Table 6: Principales Caractéristiques du pré-test en PC₁

	Moyenne	Médiane	Mode	Écart-type	Minimum	Maximum	Somme
PRE- TEST PC₁	20,15	22	33	12,97	0	37	403

Source : Auteur à partir des données pré-test collectées, décembre 2021

Ces résultats statistiques ressortent plus clairement de façon graphique. En effet, on peut observer que c'est la question Q2.1 qui enregistre le plus haut pourcentage d'apprenants ayant bien répondu aux questions du test suivi non loin de ceux associés aux questions Q2.2, Q1.3 et Q6.1. Les questions les moins bien perçues par les apprenants sont Q6.2.1, Q6.2.2, Q3, Q2.7, Q2.6, Q2.3 et Q4.2.1.

Graphique 1: Pourcentage des apprenants bien noté par question en PC₁ (en % du total de la classe)



Source : Auteur à partir des données pré-test collectées, décembre 2021

6.1.1.2. Statistiques du pré-test de la PC₂

Dans le cadre de l'opération de PRE-TEST en PC₂ (voir tableau 7 ci-dessous), il est ressorti une moyenne de 19 apprenants ayant bien répondu dans l'ensemble des questions du test. Avec un minimum de zéros et un maximum de 38 réponses justes dans l'ensemble, on a enregistré un écart de bonnes réponses d'environ 12 entre les différentes questions posées. Le mode exprime le fait que seul le score de 35 réponses justes est obtenu pour deux questions à la fois (Q2.1 et Q2.2) sur un total de 388 réponses bonnes observées dans l'ensemble. Enfin, il y a 50% des questions du test qui enregistrent un total de réponses justes inférieures à 22 et les 50% autres enregistrent des totaux supérieurs à cette valeur.

Table 7: Principales Caractéristiques du pré-test en PC₂

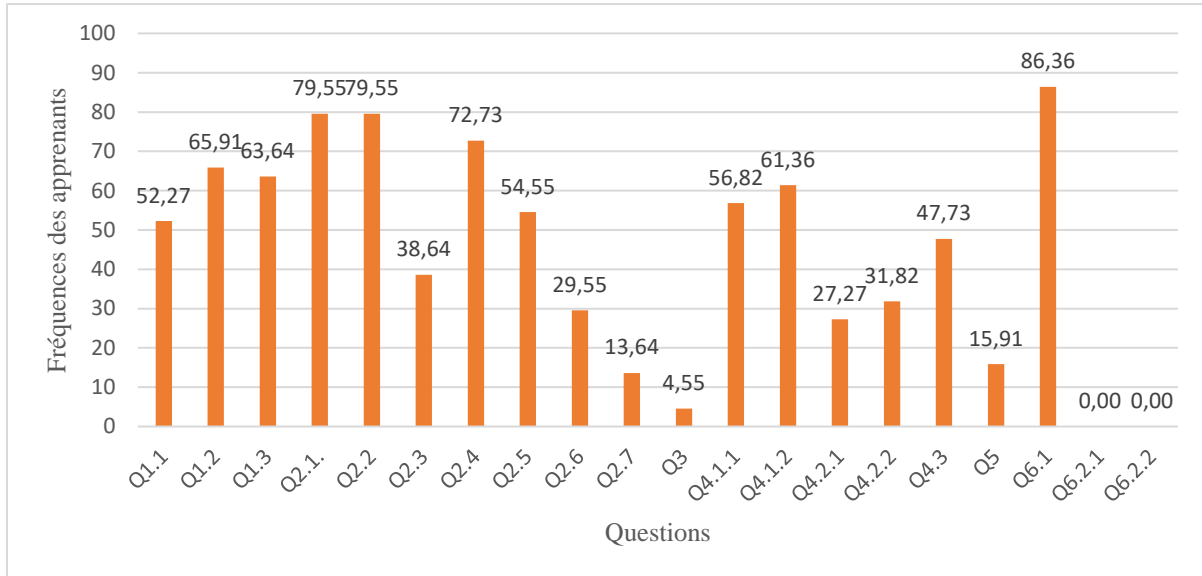
	Moyenne	Médiane	Mode	Écart-type	Minimum	Maximum	Somme
PRE-TEST PC ₂	19,4	22	35	12,15	0	38	388

Source : Auteur à partir des données pré-test collectées, décembre 2021

On peut davantage apprécier ces résultats du point de vue graphique. Il apparaît que c'est la question Q6.1 qui enregistre le plus haut pourcentage d'apprenants ayant bien répondu aux questions du test suivi non loin de ceux associés aux questions Q2.1, Q2.2 et Q2.4. Les

questions les moins bien perçues par les apprenants sont comme pour la PC₂, Q3, Q2.7, Q4.2.1 et Q2.6 en plus Q5.

Graphique 2: Pourcentage des apprenants bien noté par question en PC₂ (en % du total de la classe)

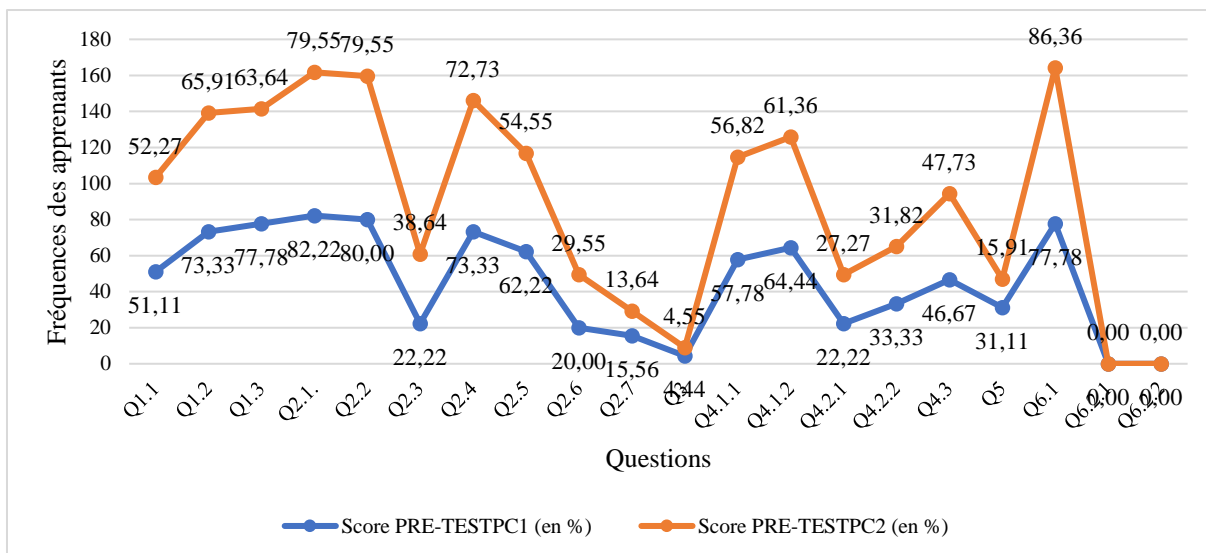


Source : Auteur à partir des données pré-test collectées, décembre 2021

6.1.1.3. Analyse comparative des résultats des scores des apprenants dans les deux classes au pré-test

En comparaison des caractéristiques relevées sur les deux pré-tests réalisés, il ressort que les différences de perceptions aux différentes questions par les apprenants entre les différentes classes (PC₁ et PC₂) sont quasiment similaires. C'est ce que relèvent les évolutions sur les pourcentages de réponses justes obtenus pour les différentes questions.

Graphique 3: évolution des pourcentages des apprenants du pré-test bien noté par question en PC₁ et PC₂ (en % du total de la classe)



Source : Auteur à partir des données pré-test collectées, décembre 2021

La même conclusion peut être tirée sur le plan statistique comme le montre le tableau de test des espérances des variables de scores (Tableau 8 ci-dessous) obtenus en PC₁ et PC₂. Préalablement, le test d'égalité des variances des deux distributions se retrouve bien validé ($P(F \leq f) = 0,43 > 0,05$) au niveau de signification de 5% (Cf. Tableau 17 en annexe 5).

Ainsi, la mise en œuvre du test d'égalité des espérances étant donnée celle des variances des deux distributions permet de conclure également par l'affirmative ($P(T \leq t) = 0,94 > 0,05$) pour le niveau de signification de 5%. Donc la différence entre les deux distributions des notes (*Score PRE-TEST PC₁* et *Score PRE-TEST PC₂*) des apprenants ne sont pas significatives. Ce qui conforte le fait que nous pouvons afin tester la significativité de la méthode d'enseignement que nous proposons, choisir indifféremment l'une des deux classes d'échantillons comme le témoin et l'autre comme l'expérimentale dans le test.

Table 8: Test d'égalité des espérances: deux observations de variances égales

	<i>Score PRE-TEST PC1 (en %)</i>	<i>Score PRE-TEST PC2 (en %)</i>
Moyenne	44,8	44,1
Variance	831,3	762,0
Observations	20,0	20,0
Variance pondérée	796,6	
Différence hypothétique des moyennes	0,0	
Degré de liberté	38,0	
Statistique t	0,1	
P(T<=t) unilatéral	0,5	
Valeur critique de t (unilatéral)	1,7	
P(T<=t) bilatéral	0,9	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,0	

Source : Auteur à partir des données pré-test collectées, décembre 2021

Dans la suite de nos analyses, nous considérerons la 1^{ère} C₁ comme groupe témoin et la 1^{ère} C₂ comme groupe expérimental. Ce choix est motivé par le fait qu'en plus de la différence non significative dans la perception des questions fournies par le test de Student, il est apparu une performance de répondants moins importante pour la 1^{ère} C₂ que pour la 1^{ère} C₁. En effet la 1^{ère} C₁ a enregistré une moyenne des répondants égale à 20,15 contre 19,4 pour la 1^{ère} C₂.

6.1.2. Analyse approfondie des résultats au pré-test

La question 1 se divise en 3 sous questions dont les deux premières portent sur la définition du point objet, point image et la troisième sur le nombre de rayons lumineux indispensables à la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince. Pour ce qui est de la question Q1.1 qui porte sur la définition du point objet, 52,27% (soit 23 sur 44) des apprenants donnent la bonne réponse qui stipule que « *un point objet est le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique* ». On note que malgré le fait que ces apprenants ont déjà abordé la définition de point objet dans les leçons d'optique en classe de 2ndC et même dans les deux premières leçons de la séquence portant sur les lentilles, quasiment la moitié des apprenants ne savent pas ce que c'est qu'un point objet. Nous avons un résultat quasiment semblable à ce qui concerne la question Q1.2 qui porte sur la définition de point image, 65,91% (soit 29 sur 44) des apprenants arrivent à définir le point image. Pour ce qui concerne la question Q1.3 qui porte sur le nombre de rayons lumineux indispensables à la construction de l'image

d'un objet à travers une lentille mince, 63,64% (28 sur 44) des apprenants donnent la bonne réponse.

La question 2 vise à vérifier comment l'apprenant modélise les objets et lentilles. On constate que pour certaines formes de lentille, les apprenants arrivent à bien donner leur modèle physique et pour d'autres non, ceci peut être conforté par les pourcentages de bonne représentation obtenus aux sous questions Q2.1, Q2.2 et Q2.4 respectivement 79,55%, 79,55% et 72,73%. Pour ce qui est des objets, on note que les apprenants ont du mal à quitter du monde réel pour le monde des modèles. Ceci s'aperçoit par la forme de représentations qu'ils font aux sous questions Q2.3, Q2.6 et Q2.7. On note un pourcentage de 38,64%, 29,55% et 13,64% respectivement pour ces trois sous questions. A la sous question Q2.7 les apprenants ont tellement utilisé la représentation du modèle d'une lentille peut-être par ce que l'objet est une bouteille en verre.

La question 3 a pour but de vérifier la nécessité d'un système optique pour la formation de l'image d'un objet, 4,55% (soit 2 apprenants sur 44) des apprenants donnent la bonne réponse. Pour cette question, on note 38 apprenants qui disent « *qu'on observe l'image de l'objet sur l'écran* ». Pour eux sans système optique (lentille) on peut voir l'image d'un objet. Donc la lentille n'a que pour rôle d'inverser ou d'agrandir une image. On note qu'il apparaît chez ces apprenants la conception d'*image voyageuse* que nous avons recensé dans la littérature.

La question 4 a pour but de vérifier les conceptions de l'apprenant sur les correspondances points images points objets et le minimum de rayons lumineux nécessaires partant d'un point objet pour la formation de l'image à travers une lentille. On note généralement que les apprenants éprouvent des difficultés à décrire les correspondances points objets points images. Malgré qu'ils connaissent pour la plupart qu'on a besoin d'au moins deux rayons lumineux partant d'un point objet pour obtenir son point image, on constate que la quasi-totalité d'entre eux utilisent un rayon lumineux pour identifier le point image d'un point objet ceci se fait ressentir aux questions Q4.2.1 et Q4.2.2.

La question 5 vise à vérifier les conceptions de l'apprenant liées à la schématisation et à la construction de l'image d'un objet par correspondance point à point, 15,91% (soit 7 apprenants sur 44) des apprenants dominent ces conceptions.

La question 6 a pour but de vérifier les conceptions d'*image voyageuse* et ces déclinaisons, on note ici que pour les sous questions Q6.2.1 et Q6.2.2 aucun apprenant n'a pu

donner de bonne réponse. Pour 19 apprenants lorsqu'on cache la moitié de la lentille par un carton alors on n'observe plus rien sur l'écran et pour 20 apprenants on voit la moitié de l'image. Ils oublient qu'une multiplicité de rayons lumineux sont issus d'un point objet, ils se limitent uniquement à un rayon lumineux pour la plupart d'entre eux et pour d'autres lorsque les points remarquables où doivent passer quelques rayons sont bloqués, on note un blocus dans la construction des rayons permettant d'obtenir l'image.

Ces résultats montrent que les élèves éprouvent effectivement des difficultés face au concept d'image optique.

6.1.3. Présentation des résultats au post-test

Les apprenants du groupe témoin et du groupe expérimental sont repartis tel que le présente le tableau ci-dessous:

Table 9: distribution des apprenants du post-test selon leur genre et par groupe

Effectif				
		Groupe de l'étude		Total
		Groupe Témoin (GT)	Groupe Expérimental (GE)	
Genre	Masculin	22	28	50
	Féminin	18	12	30
Total		40	40	80

Nous présentons les statistiques du post-test du groupe témoin et expérimental ci-dessous

6.1.3.1. Statistiques du post-test au groupe témoin (GT)

En ce qui concerne le GT dans la phase post-test de l'expérimentation (voir tableau 11 ci-dessous), il ressort une moyenne de 19 apprenants ayant bien répondu dans l'ensemble des questions du test. Avec un minimum de 1 et un maximum de 40 réponses justes dans l'ensemble, on a enregistré un écart de bonnes réponses d'environ 10 entre les différentes questions posées. Le mode exprime le fait que seul le score de 17 réponses est obtenu pour quatre questions à la fois (Q4.2.1, Q5, Q7.1 et Q7.2.1) sur un total de 418 réponses bonnes observées dans l'ensemble du GT. Enfin, il y a 50% des questions du test qui enregistrent un

total de réponses justes inférieures à un peu moins de 20 et les 50% autres enregistrent des totaux supérieurs cette valeur.

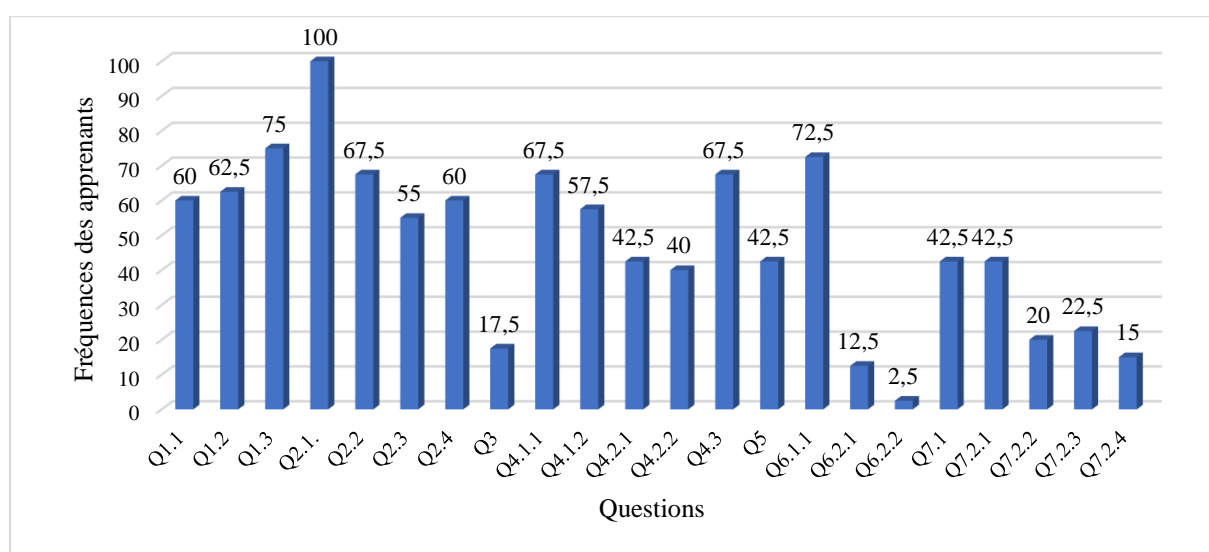
Table 10: Principales Caractéristiques du post-test Groupe Témoin (GT)

	Moyenne	Médiane	Mode	Écart-type	Minimum	Maximum	Somme
POST -TEST GT	19	19,5	17	9,87	1	40	418

Source : Auteur à partir des données post-test collectées, décembre 2021

Ces résultats statistiques ressortent plus clairement graphiquement. En effet, on peut observer que tous les apprenants du groupe témoin (soit 100%) ont bien répondu à la question Q2.1 suivi des scores (75%, 72.5% et 67.5%) enregistré respectivement aux questions Q1.3, Q6.1.1, Q2.2 et Q4.1.1. Les questions les moins bien perçus par les élèves sont Q6.2.2, Q6.2.1; Q7.2.4, Q3, Q7.2.2, et Q7.2.3 avec les scores respectivement de 2.5%, 12.5%, 15%, 17.5%, 20% et 22.5%. On constate cependant que contrairement à la situation au pré-test où le groupe témoin correspondait à la PC₁, ce dernier a enregistré une progression en termes d'effectif et de nombre de question bien répondu. Dans la liste des meilleurs pourcentages des répondants, il s'est ajouté la question Q4.1.1. On n'y retrouve pas véritablement d'ajout dans la liste correspondant aux questions les moins bien perçus. En analysant la moyenne des scores des répondants sur l'ensemble des questions, on peut dire que la moyenne du GT est de 44,77% au pré-test contre 47,5% au post-test. L'évolution des apprenants du GT est de 2,73%, on constate donc de manière descriptive une faible progression des apprenants dans ce groupe.

Graphique 4: Pourcentage des élèves du Groupe Témoin (GT) bien noté par question au post-test, (en % du total de la classe)



Source : Auteur à partir des données post-test collectées, décembre 2021

6.1.3.2. Statistiques du post-test au groupe expérimental (GE)

Dans le cadre de l'opération de post-test au GE (voir tableau 11 ci-dessous), il ressort une moyenne de 31 élèves ayant bien répondu dans l'ensemble des questions du test. Avec un minimum de 8 et un maximum de 40 réponses justes dans l'ensemble, on a enregistré un écart de bonnes réponses d'environ 8 entre les différentes questions posées. Le mode exprime le fait que seul le score de 36 réponses justes est obtenu pour quatre questions à la fois (Q1.1, Q1.2, Q2.3 et Q4.1.2) sur un total de 676 réponses bonnes observées dans l'ensemble. Enfin, il y a 50% des questions du test qui enregistrent un total de réponses justes inférieures à un peu moins 35 et les 50% autres enregistrent des totaux supérieurs cette valeur.

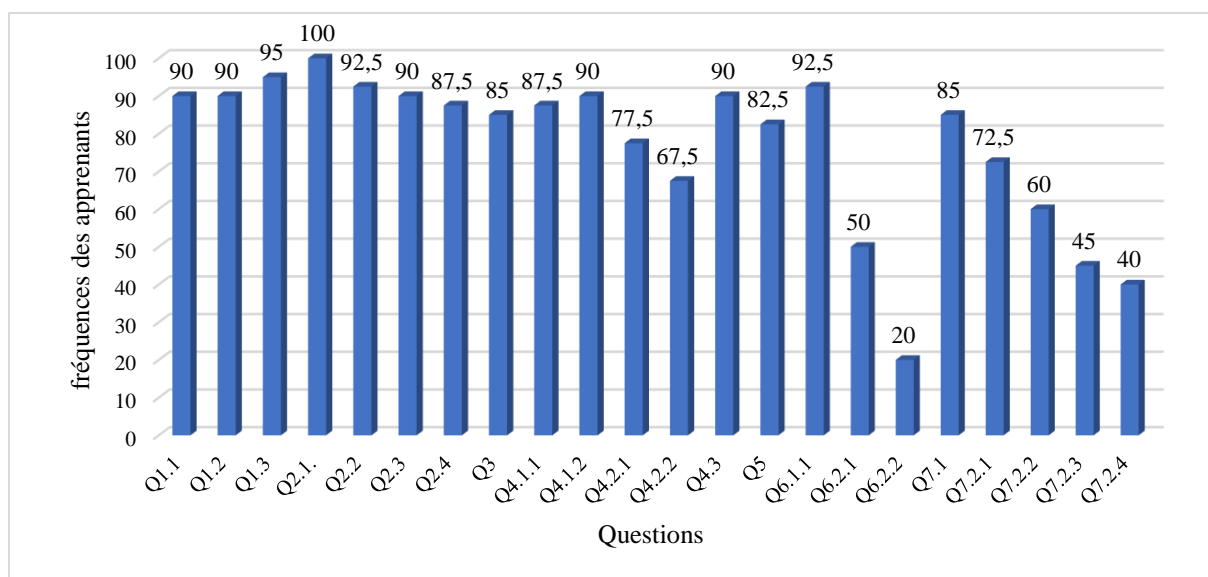
Table 11: Principales Caractéristiques du post-test au Groupe Expérimentale (GE)

	Moyenne	Médiane	Mode	Écart-type	Minimum	Maximum	Somme
POST -TEST GE	30,73	34,5	36	8,43	8	40	676

Source : Auteur à partir des données post-test collectées, décembre 2021

On peut davantage apprécier ces résultats du point de vue graphique. En effet, on peut observer que tous les apprenants du groupe expérimental (soit 100%) ont bien répondu à la question Q2.1 suivi des scores (95%, 92.5% ,90%, 87,5% et 85%) enregistré respectivement aux questions Q1.3, Q2.2, Q6.1.1, Q1.1, Q1.2, Q2.3, Q4.1.2, Q4.3, Q2.4, Q4.1.1, Q3, Q7.1 et Q5. Les questions les moins bien perçus par les élèves sont Q6.2.2, Q7.2.4 et Q7.2.3 avec les scores respectivement de 20%, 40% et 45%. On constate cependant que contrairement à la situation au PRE TEST où le groupe expérimental correspondait à la PC₂, ce dernier a enregistré une progression considérable en termes d'effectif et de nombre de question bien répondu En analysant la moyenne des scores des répondants sur l'ensemble des questions, on peut dire que la moyenne du GE est de 44,09% au pré-test contre 76,82% au post-test. L'évolution des apprenants du GE est de 32,73%, on constate que l'écart entre les deux tests laisse transparaître une nette progression des apprenants de ce groupe.

Graphique 5: Pourcentage des élèves du Groupe Expérimental (GE) bien noté par question au post-test (en % du total de la classe)



Source : Auteur à partir des données post-test collectées, décembre 2021

6.1.3.3. Analyse comparative des résultats des scores des apprenants dans les deux groupes au post-test

En comparaisons des caractéristiques relevées sur le post-test réalisé au GT et GE, il ressort que les différences de perceptions aux différentes questions par les apprenants sont hautement significatives vu la tendance des courbes (graphique 6 ci-dessous) sauf au niveau de la question Q2.1 où les deux groupes ont un même score de 100%. En considérant la moyenne des scores des répondants pour l'ensemble des questions, le GE enregistre un pourcentage moyen de 76,82% au post-test tandis que le GT enregistre un pourcentage moyen de 47,5%. Une analyse peut être faite en observant les moyennes des répondants par modalité de réponse des questions liées à chaque hypothèse de l'étude. Le tableau 12 qui suit présente ces résultats par comparaison des différentes classes (PC₁ et PC₂) au pré-test.

Table 12: résultats du prétest par item des deux classes

Items	Questions	Score en pourcentage	
		PC ₁	PC ₂
Item 1 : Émission des hypothèses	Q1, Q3, Q4	47,9	45,71
Item 2 : Activité de modélisation	Q2, Q5, Q6	42,22	52,05

Source : Construction de l'auteur à partir des résultats au pré-test, décembre 2021

Par la suite, il apparait le constat selon lequel au post-test, la PC₁ et la PC₂ jouant respectivement les rôles de GT et GE affichent les progressions résumées dans le tableau 13 ci-dessous. En particulier pour la PC₁ devenue GT au post-test la moyenne des scores des

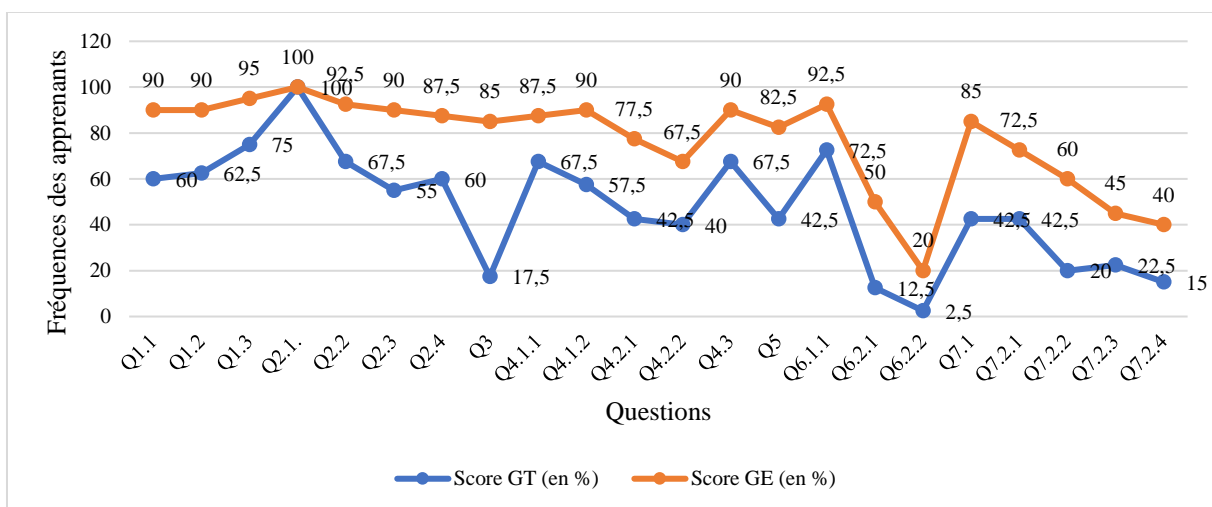
répondants par modalité des réponses retenues pour l’item 1 est passé de 47,9% à 54,44%. Pour l’item 2 cette moyenne a progressé de 42,22% à 42,69% en outre concernant la PC₂ devenu GE toujours au post-test, la moyenne est passée de 45,7% à 85,83% pour l’item 1 et de 52,05% à 70,57% pour l’item 2. Partant de ces analyses descriptives, on pourrait conclure sur la relative efficacité de la DI proposé par cette étude dans l’amélioration de la compréhension du concept d’image optique. Pour conclure efficacement sur la différence significative observée dans les deux groupes par l’analyse descriptive, nous allons appliquer des tests statistiques (test de Student).

Table 13: résultats du post-test par item des deux groupes

Items	Questions	Score en pourcentage	
		GT	GE
Émission des hypothèses	Q1, Q3, Q4	54,44	85,83
Activité de modélisation	Q2, Q5, Q6, Q7	42,69	70,57

Source : Construction de l’auteur à partir des résultats au post-test, décembre 2021

Graphique 6: évolution des pourcentages des élèves du Groupe Témoin et du Groupe Expérimental bien noté par question au post-test (en % du total de la classe)



Source : Auteur à partir des données post-test collectées, décembre 2021

La même conclusion peut être tirée sur le plan statistique comme le montre le tableau de test des espérances des variables de scores obtenus au GT et GE (test de validation globale des différences des moyennes entre les deux groupes). Préalablement, le test d’égalité des variances des deux distributions se retrouve bien validé ($P(F \leq f) = 0,24 > 0,05$) au niveau de signification de 5% (Cf. Tableau 18 en annexe 6).

Ainsi, la mise en œuvre du test d'égalité des espérances étant donnée celle des variances des deux distributions permet de conclure également par la négative ($P(T \leq t) = 0,00 < 0,05$) au niveau de signification de 5%. Donc la différence entre les deux distributions des notes (*Score GT et Score GE*) des apprenants est significative. Cela conforte la significativité de la démarche d'investigation sur l'ensemble des questions proposées dans l'évaluation du Post test.

Table 14: Test d'égalité des espérances: deux observations de variances égales

	<i>Score GT (en %)</i>	<i>Score GE (en %)</i>
Moyenne	47,5	76,8
Variance	608,3	444,2
Observations	22,0	22,0
Variance pondérée	526,2	
Différence hypothétique des moyennes	0,0	
Degré de liberté	42,0	
Statistique t	-4,2	
P($T \leq t$) unilatéral	0,0	
Valeur critique de t (unilatéral)	1,7	
P($T \leq t$) bilatéral	0,0	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,0	

Source : Auteur à partir des données du post-test collectées, décembre 2021

6.2. Vérifications des hypothèses de l'étude

Pour vérifier les hypothèses de recherche, nous allons procéder à une comparaison des moyennes en utilisant le test-T de Student pour échantillon indépendant par l'utilisation du logiciel IBM SPSS Statistics 25. Pour chacune des hypothèses, une analyse des données fournies par le logiciel est faite pour confirmer ou infirmer ces hypothèses.

6.2.1. Vérification de l'hypothèse secondaire 1 (HS₁)

Notre première hypothèse stipule que : l'entraînement à l'émission des hypothèses facilite la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique. Elle est vérifiée par la mise en œuvre du test de Student sur l'ensemble formé par les questions Q1, Q3 et Q4 du questionnaire post-test. La formulation des hypothèses est la suivante:

HO: l'entraînement à l'émission des hypothèses ne facilite pas la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

H1: l'entraînement à l'émission des hypothèses facilite la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

Comme vu plus haut, en pratique, ce test requiert pour chaque question dans sa procédure, le test de l'égalité des variances des distributions des deux groupes (GT et GE) avant de présenter celui proprement dit de l'égalité des espérances des scores de ces derniers. Ces tests combinés sont distinctement résumés dans le tableau 15 ci-dessous.

Il apparaît clairement pour les questions formant l'hypothèse susmentionnée (Q1, Q3 et Q4) que les différences des moyennes des scores des répondants des deux groupes sont significatives. C'est ce que fournit les valeurs de significativité associée au t de Student, Sig. (bilatéral) < 5%. Donc la démarche d'investigation montre bien un effet significatif pour le groupe ayant subi le test (GE) relativement à l'autre (GT). En somme, au regard des conclusions fournies individuellement par les tests de Student associés à chaque question formant l'hypothèse de test ci-dessus, il ressort que l'entraînement à l'émission des hypothèses facilite la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

Table 15: Test d'égalité des espérances des distributions des scores du Groupe Témoin et du Groupe Expérimental pour l'hypothèse secondaire 1

Test des échantillons indépendants

		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test t pour égalité des moyennes						
		F	Sig.	t	Ddl	Sig. (bilatéral)	Différence moyenne	Différence erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %	
									Inférieur	Supérieur
Q1.1	Hypothèse de variances égales	52,2	0,0	-3,3	78,0	0,0	-0,3	0,1	-0,5	-0,1
	Hypothèse de variances inégales			-3,3	64,6	0,0	-0,3	0,1	-0,5	-0,1
Q1.2	Hypothèse de variances égales	45,0	0,0	-3,0	78,0	0,0	-0,3	0,1	-0,5	-0,1
	Hypothèse de variances inégales			-3,0	65,1	0,0	-0,3	0,1	-0,5	-0,1
Q1.3	Hypothèse de variances égales	35,8	0,0	-2,6	78,0	0,0	-0,2	0,1	-0,4	0,0
	Hypothèse de variances inégales			-2,6	57,6	0,0	-0,2	0,1	-0,4	0,0
Q3	Hypothèse de variances égales	0,4	0,6	-8,1	78,0	0,0	-0,7	0,1	-0,8	-0,5
	Hypothèse de variances inégales			-8,1	77,7	0,0	-0,7	0,1	-0,8	-0,5
Q4.1.1	Hypothèse de variances égales	21,4	0,0	-2,2	78,0	0,0	-0,2	0,1	-0,4	0,0

	Hypothèse de variances inégales			-2,2	70,1	0,0	-0,2		0,1	-0,4	0,0
Q4.1.2	Hypothèse de variances égales	58,9	0,0	-3,5	78,0	0,0	-0,3		0,1	-0,5	-0,1
	Hypothèse de variances inégales			-3,5	64,3	0,0	-0,3		0,1	-0,5	-0,1
Q4.2.1	Hypothèse de variances égales	13,1	0,0	-3,4	78,0	0,0	-0,4		0,1	-0,6	-0,1
	Hypothèse de variances inégales			-3,4	75,9	0,0	-0,4		0,1	-0,6	-0,1
Q4.2.2	Hypothèse de variances égales	1,8	0,2	-2,5	78,0	0,0	-0,3		0,1	-0,5	-0,1
	Hypothèse de variances inégales			-2,5	77,8	0,0	-0,3		0,1	-0,5	-0,1
Q4.3	Hypothèse de variances égales	30,9	0,0	-2,5	78,0	0,0	-0,2		0,1	-0,4	0,0
	Hypothèse de variances inégales			-2,5	66,4	0,0	-0,2		0,1	-0,4	0,0

Source : Auteur à partir des données du POST-TEST collectée, décembre 2021

6.2.2. Vérification de l'hypothèse secondaire 2 (HS₂)

Notre deuxième hypothèse stipule que : les activités de modélisation facilitent la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique. Elle est vérifiée également par la mise en œuvre du test de Student sur l'ensemble formé par les questions Q2, Q5, Q6 et Q7 du questionnaire post-test. La formulation des hypothèses est la suivante:

HO: les activités de modélisation ne facilitent pas la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

H1: les activités de modélisation facilitent la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

De même que précédemment, en pratique, le test prend en compte pour chaque question dans la procédure, le test de l'égalité des variances des distributions des deux groupes (GT et GE) avant de présenter celui proprement dit de l'égalité des espérances des scores de ces derniers. Ces tests combinés sont distinctement résumés dans le tableau 16 ci-dessous.

En particulier, il en ressort que pour la première modalité de réponse de la question 2 (Q2.1), aucune décision n'est fournie en raison de la nullité du dénominateur (écart type) associé au t de Student (Cf. Tableau 20 en annexe 8). Toutefois, pour le reste des modalités de cette question, il apparaît bien une différence significative entre les moyennes des scores des répondants des deux groupes fournis par les valeurs de significativité associés au t de Student, Sig. (bilatéral) < 5%. Donc la démarche d'investigation montre bien un effet significatif pour le groupe ayant subi le test (GE) relativement à l'autre (GT).

De plus, il apparaît clairement pour les autres questions formant l'hypothèse susmentionnée (Q5, Q6 et Q7) que les différences des moyennes des scores des répondants des deux groupes sont également significatives. C'est ce que fournit les valeurs de significativité associée au t de Student, Sig. (bilatéral) < 5%. En somme, au regard des conclusions fournies individuellement par les tests de Student associés à chaque question formant l'hypothèse de test ci-dessus, il ressort que les activités de modélisations facilitent la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

.

Table 16: Test d'égalité des espérances des distributions des scores du Groupe Témoin et du Groupe Expérimental pour l'hypothèse secondaire 2

Test des échantillons indépendants

		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test t pour égalité des moyennes						
		F	Sig.	T	Ddl	Sig. (bilatéral)	Différence moyenne	Différence erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 %	
									Inférieur	Supérieur
Q2.2	Hypothèse de variances égales	45,6	0,0	-2,9	78,0	0,0	-0,3	0,1	-0,4	-0,1
	Hypothèse de variances inégales			-2,9	61,4	0,0	-0,3	0,1	-0,4	-0,1
Q2.3	Hypothèse de variances égales	64,4	0,0	-3,8	78,0	0,0	-0,4	0,1	-0,5	-0,2
	Hypothèse de variances inégales			-3,8	64,1	0,0	-0,4	0,1	-0,5	-0,2
Q2.4	Hypothèse de variances égales	37,4	0,0	-2,9	78,0	0,0	-0,3	0,1	-0,5	-0,1
	Hypothèse de variances inégales			-2,9	68,4	0,0	-0,3	0,1	-0,5	-0,1
Q5	Hypothèse de variances égales	23,5	0,0	-4,0	78,0	0,0	-0,4	0,1	-0,6	-0,2
	Hypothèse de variances inégales			-4,0	73,2	0,0	-0,4	0,1	-0,6	-0,2
Q6.1.1	Hypothèse de variances égales	29,1	0,0	-2,4	78,0	0,0	-0,2	0,1	-0,4	0,0

	Hypothèse de variances inégales			-2,4	63,2	0,0	-0,2	0,1	-0,4	0,0
Q6.2.1	Hypothèse de variances égales	50,1	0,0	-3,9	78,0	0,0	-0,4	0,1	-0,6	-0,2
	Hypothèse de variances inégales			-3,9	67,6	0,0	-0,4	0,1	-0,6	-0,2
Q6.2.2	Hypothèse de variances égales	36,0	0,0	-2,5	78,0	0,0	-0,2	0,1	-0,3	0,0
	Hypothèse de variances inégales			-2,5	50,6	0,0	-0,2	0,1	-0,3	0,0
Q7.1	Hypothèse de variances égales	31,3	0,0	-4,4	78,0	0,0	-0,4	0,1	-0,6	-0,2
	Hypothèse de variances inégales			-4,4	71,0	0,0	-0,4	0,1	-0,6	-0,2
Q7.2.1	Hypothèse de variances égales	6,9	0,0	-2,8	78,0	0,0	-0,3	0,1	-0,5	-0,1
	Hypothèse de variances inégales			-2,8	77,2	0,0	-0,3	0,1	-0,5	-0,1
Q7.2.2	Hypothèse de variances égales	14,9	0,0	-3,9	78,0	0,0	-0,4	0,1	-0,6	-0,2
	Hypothèse de variances inégales			-3,9	75,0	0,0	-0,4	0,1	-0,6	-0,2
Q7.2.3	Hypothèse de variances égales	15,1	0,0	-2,2	78,0	0,0	-0,2	0,1	-0,4	0,0

	Hypothèse de variances inégales			-2,2	75,7	0,0	-0,2	0,1	-0,4	0,0
Q7.2.4	Hypothèse de variances égales	27,4	0,0	-2,6	78,0	0,0	-0,3	0,1	-0,4	-0,1
	Hypothèse de variances inégales			-2,6	71,3	0,0	-0,3	0,1	-0,4	-0,1

Source : Auteur à partir des données du POST-TEST collectées, décembre 2021

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail de recherche portait sur la « *modélisation du concept d'image en optique géométrique par les apprenants de la classe de première scientifique à travers la démarche d'investigation comme mode de transposition didactique* ». De notre problème de recherche a découlé des constats selon lesquels les apprenants éprouvent des difficultés dans la conceptualisation du concept d'image optique. Ces difficultés recensées de façon empirique allaient en droite ligne avec les difficultés recensées dans les travaux de quelques chercheurs en didactique des sciences à l'instar de Goldberg et McDermott (1984), Fawaz (1985), Kaminski et Mistrioti (2000), Ouazzani et al (2016). Dans le but d'améliorer la compréhension par les apprenants du concept d'image optique, nous nous sommes proposés d'effectuer une étude visant à mettre en œuvre une méthode d'enseignement appropriée pour aborder ce concept avec les apprenants. Comme méthode nous avons utilisé la DI. Car, elle prend en compte l'aptitude des apprenants à concevoir et à conduire une démarche scientifique pour résoudre un problème, à formuler des explications scientifiques utilisant l'expérimentation pour prouver leurs hypothèses et permet aux apprenants de faire prendre davantage d'esprit d'initiative, d'esprit critique, de curiosité et de créativité.

De ce problème de recherche a émané la question principale qui était: « *Quel serait l'impact d'une séquence d'enseignement-apprentissage par la démarche d'investigation sur la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique ?* ». De là a découlé une hypothèse principale selon laquelle « *une séquence d'enseignement-apprentissage par la démarche d'investigation améliore la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique* ». Cette hypothèse a été éclatée en deux hypothèses secondaires énoncées comme suit:

HS1: l'entraînement à l'émission des hypothèses facilite la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

HS2: les activités de modélisation facilitent la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince en première scientifique.

A cet effet, pour vérifier nos hypothèses, nous avons effectué une recherche empirique reposant sur des données quantitatives obtenues à partir d'une démarche quasi-expérimentale. Cette démarche s'est effectuée auprès de 89 apprenants des classes de première scientifique du Lycée Bilingue de Mimboman, suivant un protocole bien élaboré: (pré-test; expérimentation (test); post-test). Les données issues de ce travail ont été analysées grâce au test-T de Student.

L'analyse de ces données montre que nos hypothèses sont toutes confirmées au seuil de signification de 0,05 ainsi qu'il suit: la première hypothèse a été confirmée à 100% ; la deuxième à 92%, car pour la première modalité de la réponse de la question 2 (Q2.1) aucune décision n'est fournie en raison de la nullité du dénominateur (écart type) associé au t de Student. Donc pour cette question, nous n'avons pas pu nous prononcer sur la validité de l'hypothèse liée à cette question.

Notre étude a permis de montrer qu'une séquence d'enseignement-apprentissage par la démarche d'investigation améliore la compréhension de la construction de l'image d'un objet à travers une lentille mince. Ainsi, nous fournissons aux enseignants des sciences, un outil dont ils pourront désormais se servir pour aborder les concepts scientifiques et ainsi, rendre leur enseignement efficace.

Cette étude présente des limites qui méritent d'être soulignées. Sur le plan théorique, cette étude s'est attardée uniquement sur les lentilles minces convergentes, nous n'avons pas traité le cas des lentilles minces divergentes, la DI nécessite assez de temps dans son application. Sur le plan empirique, la gestion des différents groupes et la collaboration avec les établissements pour l'expérimentation n'est pas toujours aisée. Dans les groupes constitués pendant la séquence d'enseignement, certains apprenants, le plus souvent ne sont pas concentrés et attendent les résultats des autres. Sur le plan méthodologique, vu la limitation des moyens financiers, nous n'avons pas pu enquêter sur toute notre population cible afin d'avoir un plus grand échantillon représentatif, dans le but d'avoir une plus grande appréciation de la démarche utilisée (DI) pour traiter notre problème d'étude. Les résultats obtenus de notre échantillon ne peuvent donc être inférés globalement à la totalité de notre population. Les contraintes de temps ne nous ont pas permis de multiplier les séances de travail et d'effectuer un test supplémentaire sur le groupe expérimental quelques mois après l'expérimentation afin d'évaluer l'efficacité à long terme de la séquence mise en œuvre.

Ces limites nous permettent ainsi d'ouvrir d'autres perspectives de la recherche comme la réalisation de la même étude sur un échantillon plus représentatif de la population cible, s'étendant sur une plus grande période, laissant la possibilité d'évaluer l'efficacité de la séquence d'enseignement à long terme. Une autre étude pourrait consister à refaire la même étude mais prenant en compte les lentilles minces divergentes toujours avec un échantillon plus représentatif de la population cible.

BIBLIOGRAPHIE

- Achouri T. (2005, Avril 04). interactions enseignant-élève et situation d'enseignement-apprentissage en optique géométrique. *thèse*. Lyon, France.
- Ansermot R., & Tueta P. (2011). *Proposition d'une démarche d'investigation basée sur l'étude des conceptions d'élèves relatives à la notion d'onde sonore*.
- Armatte M. (2005). la notion de modèle dans les sciences sociales: anciennes et nouvelles significations. *Mathematics and Social Sciences*, 91-123.
- Astolfi J-P., & Develay M. (1989). *La didactique des sciences. Que sais-je*. PUF.
- Ayina Bouni (2013, décembre 16). Les concept élémentaires de la chimie, entre la chimie du chimiste et la chimie de l'élève. Proposition de séquences d'enseignement inspirées d'une analyse semio-épistémologique de l'histoire de la chimie. *thèse*. Lyon, France.
- Bächtold M. (2012). Les fondements constructivistes d l'enseignement des sciences basé sur l'investigation. *Openédition*(38), 6-39. doi:<https://doi.org/10.4000/trena.2817>
- Barnier, & Gérard (2009). Théories de l'apprentissage et pratiques d'enseignement., (pp. 1-17). Marseille.
- Belinga Bessala (2013). *Didactique et professionnalisation des enseignants* (éd. 2e édition revue et augmentée). Yaoundé: Clé.
- Bodin, & Décamp. (2016). *Rapport CNESEO PISA-TIMSS oplet*.
- Boilevin. (2013). La place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. *researchgate*.
- Boilevin J-M., Pedregosa D., Pomares B., & Coupaud M. (2016). Démarches d'Investigation: histoire et enjeux. *ResearchGate: collection Paideia PUR*.
- Boilevin J-M., & Pomares B. (2011). Démarches d'investigation en sciences et en technologie au collège : les conditions d"évolutions des pratiques. *ResearchGate*, 51-62. Récupéré sur <https://www.researchgate.net/publication/305326302>

- Brousseau G. (1997). Théorie des situations didactiques. *conférence de Montréal*. Montreal.
Récupéré sur http://math.unipa.it/~grim/brousseau_montreal_03/pdf
- Brousseau G. (1998). Théorie des situations didactiques. Grenoble: La pensée sauvage.
- Buty C. (2000). Etude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique. Thèse de doctorat. Lyon, France: Université de Lyon II.
- Champy P., & Estève C. (2005). *Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation* (éd. 3e édition). Nathan.
- Chevallard Y. (1982). Les processus de la transposition didactique et leur théorisation. 1-28.
- Clark J. (2011, décembre). Technology in classroom: student understanding of image formation by converging and diverging lenses and mirrors-ray tracing v. computer simulation. *Balle State University*, 1-51.
- Colin. (2006). Transposition Didactique: un processus de construction du savoir scolaire.
- Coquidé M. (2003). Face à l'expérimental scolaire. *ResearchGate*, 153-180.
- Coquidé M., Fortin C., & Rumelhard G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *ASTER*.
- Cross D., & Grangeat M. (2014). Démarches d'investigation : analyse des relations entre contrat et milieu didactique. *Openédition*.
- Eastes R-E. (2013, juin 11). 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. *Thèse*. Paris, France.
- Fawaz A. (1985, février). Image, optique et vision. étude exploratoire sur les difficultés des élèves de première au Liban. *thèse*, 1-114. Paris, France. Récupéré sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01273002>
- Fortin M-F. (1996). *Le processus de la recherche de la conception à la réalisation*. Paris: Fernand Nathan.
- Goldberg F., & McDermott. L. (1987). An investigation of student understanding the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55, 108-119.

- Huygens, C. (1992). *traité de la lumière*. Dunod.
- Clerc J-B., Minder P., & Roduit G. (2006). Transposition Didactique. *HEP*.
- Johsua S., & Dupin J. (1993). Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. *PUF*.
- Jonnaert P., & Masciotta D. (2004). *constructivisme, choix contemporains : hommage à Ernst Von Glasersfeld*. Québec : presses de l'université du Québec. (r. d. l'éducation, Éd.)
doi:<https://doi.org/10.7202/019698ar>
- Kallaba L. (2015). L'influence de la démarche d'investigation en sciences sur la motivation des élèves. Récupéré sur <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01253788>
- Kaminski W. (1991). Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 973-996.
- Kaminski W., & Mistrioti. Y. (2000). Optique au collège: le rôle de la lumière dans la formation d'image par une lentille convergente. *LDSP- Université Denis Diderot-Paris 7*, 94, 757-784.
- Khalid A., Lotfi A., Mokri A., & Chikhaoui A. (2006). Préparation de l'expérimentation d'un logiciel d'optique géométrique: « Pretest de. *Academia*, 1-17.
- Kuzniak A. (2004). La théorie des situations didactiques de Brousseau. *IREM de strasbourg*.
- Lecourt D. (2006). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Paris: Quadige.
- Legendre, & Renald (1993). *Dictionnaire actuel de l'éducation*. Québec: Guerin.
- Lena P. (1990). *Lumières: une introduction aux phénomènes optiques*. Paris: InterEditions.
- Lenoir Y. (2009). L'intervention éducative, un construit théorique pour analyser les pratiques d'enseignement. *nouveaux cahier de la recherche en éducation*, 12(1), 9-29.
- Martin O. (2012). Analyse quantitative., (2). (p. u. Openedition, Éd.) Paris, France. Récupéré sur https://www.puf.com/content/les_100_mots_de_la_sociologie.
- Mathé S., Meheut M., & De Hosson C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux? *Didaskalia*, 41-76.
- Maurine T., & Bihan A. (s.d.). Vygotsky (1896-1934) et le socioconstructivisme.

- Mimché H. (2017). méthode de recherche en science humaines et sociales (cours de master II). Yaoundé, Cameroun.
- MINEPAT. (2009). Cameroun Vision 2035. Récupéré sur <http://www.minepat.gov.cm/index/php/fr/modules-menu/docdownload-vision-2035-du-cameroun>
- Ouazzani A., Benjeloum N., Alami M., & Aouni H. (2016). Difficultés conceptuelles relatives à la construction d'une image virtuelle et impact d'un atelier java d'optique géométrique (AJOG) sur les productions des élèves. *OpenEdition*, 187-210.
- Prieur M., Monad-Ansaldi R., & Fontanieu V. (2013). Réception des démarches d'investigation prescrites par les enseignants des sciences et de technologie. *Openédition*. Récupéré sur <https://doi.org/10.4000/rdst.685>
- Robert. (1986). théorie relatives au sujet. Consulté le novembre 01, 2020, sur https://www.memoireonline.com/04/11/m_Rapports-enseignants-apprenants-et-performances-scolaires-3
- Ronchi V. (1966). *L'optique science de la vision*. Paris: Masson et Cie.
- Sensevy G. (2011). Le sens du savoir. Eléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique. Bruxelles: De Boeck. Dans Sensevy G., *La théorie de l'action conjointe en didactique. Premières directions*. bruxelle.
- Sensevy G., M. A. (2007). Agir ensemble: l'action didactique conjointe du professeur et des élèves. *OpenEdition*. Récupéré sur <https://doi.org/10.4000/rfp.906>
- Thouin M. (1985). Les représentations de concepts en sciences physiques chez les jeunes. *Revue des sciences de l'éducation*, 247-258.
- UNESCO. (2018). *publication des données sur l'éducation : un sur cinq enfants, adolescents et jeunes n'est pas scolarisé*.
- Venturini P., & Tiberghien A. (2012, juillet-août-septembre). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques: étude de cas au collège. *OpenEdition*, 95-120. doi:10.4000/rfp.3810
- Zihisire M. (2011). *La recherche en sciences sociales et humaines*. (c. H. Lacs, Éd.)

ANNEXE

ANNEXE 1: extrait du programme de physique de première scientifique

MODULE 3 : OPTIQUE DUREE : 36 HEURES

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPÉTENT		RESSOURCES			
Familles de situations	Exemples de Situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
Éclairer, voir, être vu.	Obtention et caractérisation de l'image nette d'un objet lumineux	Analyse de l'image donnée d'un objet par une lentille mince ou un système de telles lentilles	<p>Prévoir les caractéristiques de l'image d'un objet lumineux donné par une lentille mince</p> <p>Choisir une lentille en fonction de ses caractéristiques</p>	<p>1. Lentilles minces</p> <p>Définition</p> <p>Éléments caractéristiques d'une lentille mince (foyers, plan focaux, vergence, distance focale)</p> <p>Conditions de Gauss</p> <p>Propriétés optiques du centre optique et des points focaux</p> <p>Formules de position et de grandissement.</p> <p>Quelques applications des lentilles.</p> <p>Théorème des vergences.</p>	<p>Schématiser les lentilles.</p> <p>Décrire et classer les lentilles</p> <p>Situer les plans et les foyers focaux sur un schéma.</p> <p>Réaliser les conditions de Gauss</p> <p>Construire les images d'un objet données par une lentille.</p> <p>Utiliser les formules des lentilles pour la résolution des problèmes.</p> <p>Construire l'image d'un objet à travers un système de deux lentilles.</p> <p>Reconnaître les lentilles par leur aspect</p> <p>Vérifier expérimentalement la formule de position.</p> <p>Déterminer expérimentalement la vergence d'une lentille</p>	<p>- Esprit critique</p> <p>- Sens de responsabilité</p> <p>- Curiosité</p> <p>- Habileté de l'observation et interprétation</p> <p>Savoir que lors de la vision d'une image à travers une lentille, la lumière issue de l'objet pénètre dans l'œil après un parcours non rectiligne et que le cerveau interprète comme venant en ligne droite</p>	

Éclairer, voir, être vu.	Problèmes de vue	Prévision de la correction à apporter à un œil en fonction du contexte	Expliquer le fonctionnement optique de l'œil	2. L'œil réduit Description et définition des points particuliers PP, et PR. Les défauts d'accommodation de l'œil et leurs méthodes de correction.	Schématiser l'œil réduit Expliquer le phénomène d'accommodation. Proposer une solution de correction correspondant au défaut d'accommodation identifié	- Esprit critique - Sens de responsabilité - Curiosité - Habilité de l'observation et interprétation	
	Objet lointain ou trop petit pour être vu à l'œil nu.	Choix, description et utilisation d'un instrument d'optique comportant des lentilles minces	Décrire et préciser le rôle de chacun des éléments constituant l'instrument d'optique	3. Le microscope Description et rôle Schéma de principe Grossissement, puissance Mise au point d'un instrument d'optique Unité de la puissance d'un instrument d'optique.	Expliquer le fonctionnement d'un microscope Faire la mise au point à l'aide d'un microscope Calculer la puissance d'un microscope. Calculer le grossissement d'un microscope		

ANNEXE 2: questionnaire du pré-test

PRÉ-TEST

I. Recommandations

- Le test est destiné à une recherche en didactique des sciences, par conséquent, il ne fait pas l'objet d'un devoir.
- Utiliser les formats agrafés sur l'épreuve pour répondre à certaines questions.
- Bien vouloir remplir correctement la partie Identifiant indispensable à la bonne conduite de la recherche.
- Remettre toutes les feuilles à la fin du test.

II. Identifiant

Etablissement :	Nom et Prénom : Age :
Discipline : physique	Avez-vous déjà suivi le cours sur les lentilles minces ? oui non
Classe : PC/D	Si oui combien de fois :
Date : Heure :	Avez-vous déjà suivi le cours sur la caractérisation de l'image d'un objet donnée par lentille mince ? oui non
Redoublant oui non Nouveau oui non	Si oui combien de fois :

III. Le questionnaire

1. Question à choix multiple (QCM).

En vous référant aux représentations schématiques de la figure 1 suivante :

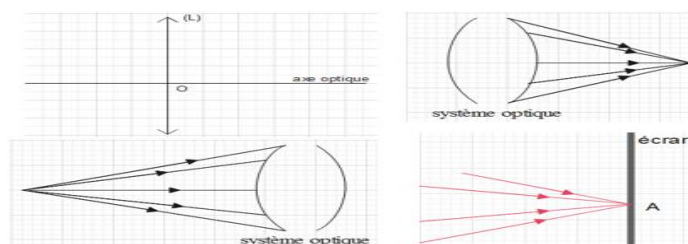






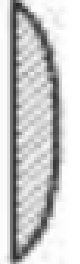


Figure 1

Parmi les questions (A, B et C) suivantes, une seule réponse est correcte, choisir la réponse juste (*faire un cercle sur la lettre correspondante à la réponse choisie*) :

- A. Un point objet est :
- Le point d'intersection des rayons émergent d'un système optique.
 - Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique.
 - Le point de rencontre de rayons sur un écran.
 - Pas de réponse
- B. Un point image est :
- Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique.

- b. Le point d'intersection des rayons qui sortent d'un système optique.
 - c. Le point de rencontre entre la lentille et l'axe optique
 - d. Pas de réponse
- C. Combien de rayons lumineux sont indispensables pour trouver le point image d'un objet à travers une lentille mince :
- a. 1
 - b. 2 ou 3
 - c. 4
 - d. Pas de réponse

2. Donner à chaque lentille mince et objet une représentation son modèle physique.

 1	 2	 3	 4	 5	 6	 7

3. On considère un objet lumineux AB et un écran E. vu la figure 2 présentée ci-dessous, qu'observerait-on sur l'écran E ?

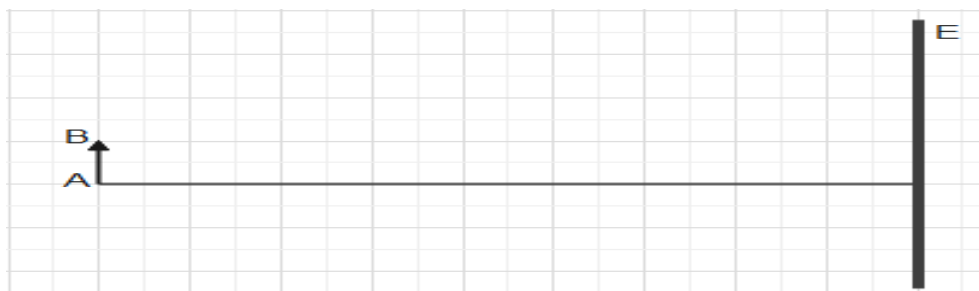
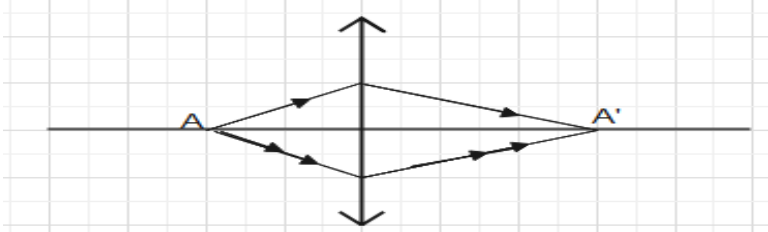


Figure 2

4. Décrivez toutes les correspondances points images-points objets figurant sur les schémas ci-dessous.
- Si les notations des figures vous semblent insuffisantes, vous pouvez en ajouter.
 - Si aucun couple objet-image ne vous semble mis en évidence par la figure, dites-le...

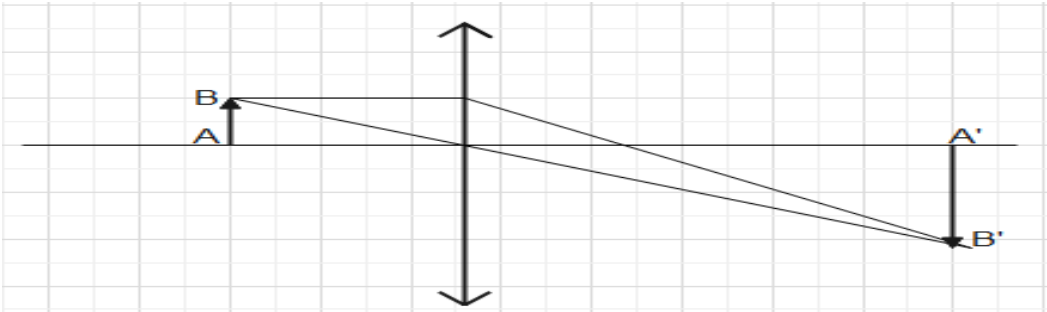
De toutes façons, justifiez ou commentez vos réponses.

Exemple :

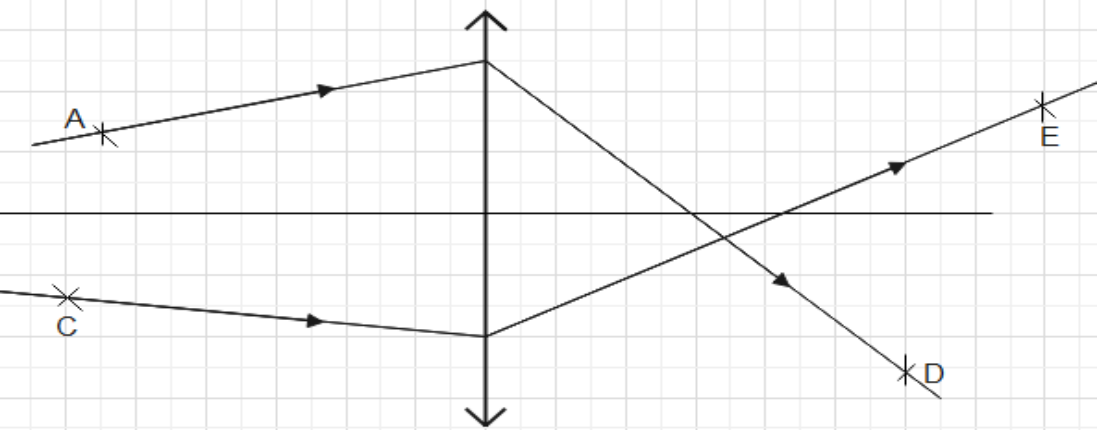


Réponse : point A' image du point objet A

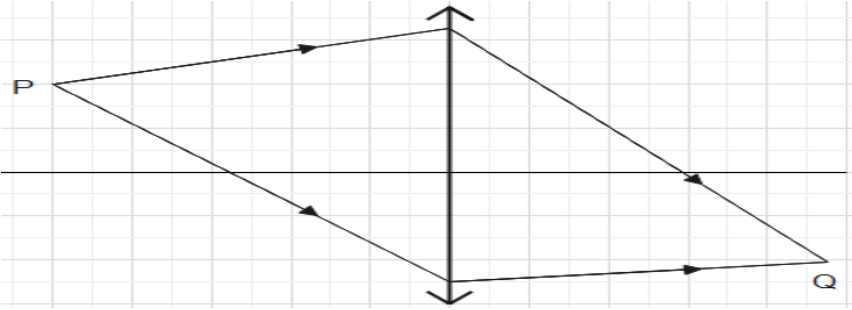
a)



b)



c)



5. En vous référant à la figure 3, construire l'image de la bougie AB à travers une lentille mince convergente (L).

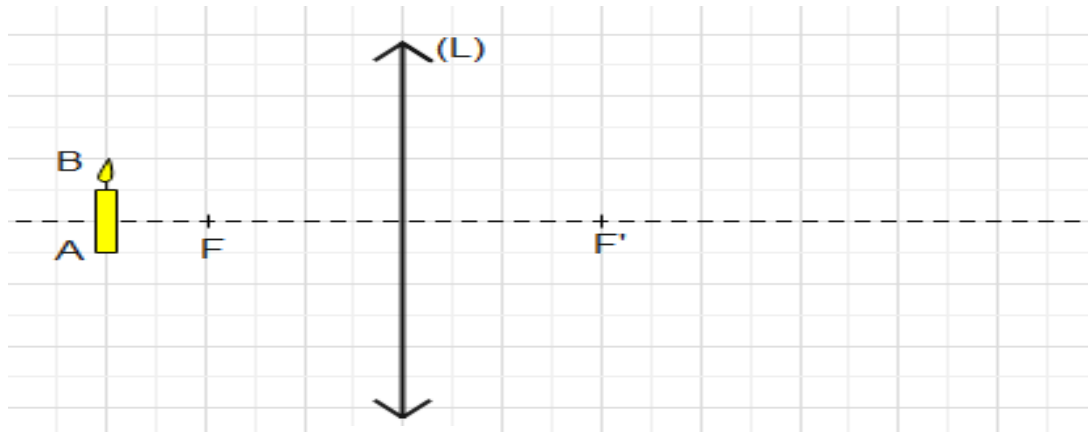


Figure 3

6. Une lentille convergente (L) donne d'un objet AB lumineux une image réelle A'B' que l'on reçoit sur un écran (E) (figure 4). L'ensemble est disposé comme le montre le schéma de la figure 4 suivant :

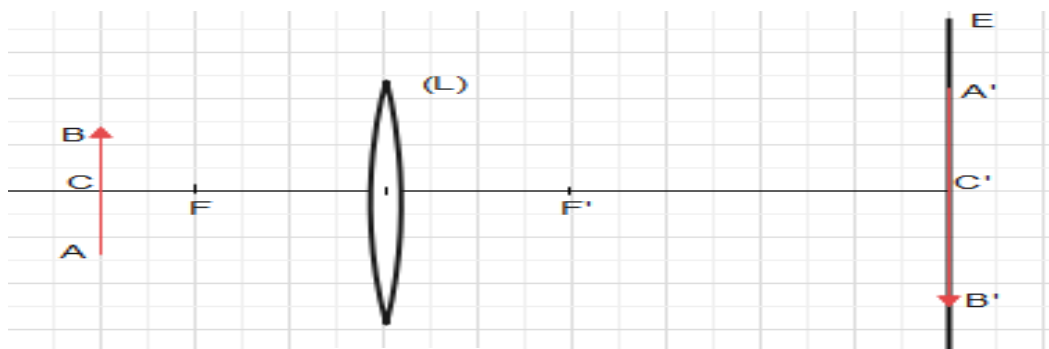


Figure 4

- a. Qu'observe-t-on sur l'écran (E) ?

On prend le même dispositif de la figure 4 et on cache la moitié de la lentille par un carton figure 5.

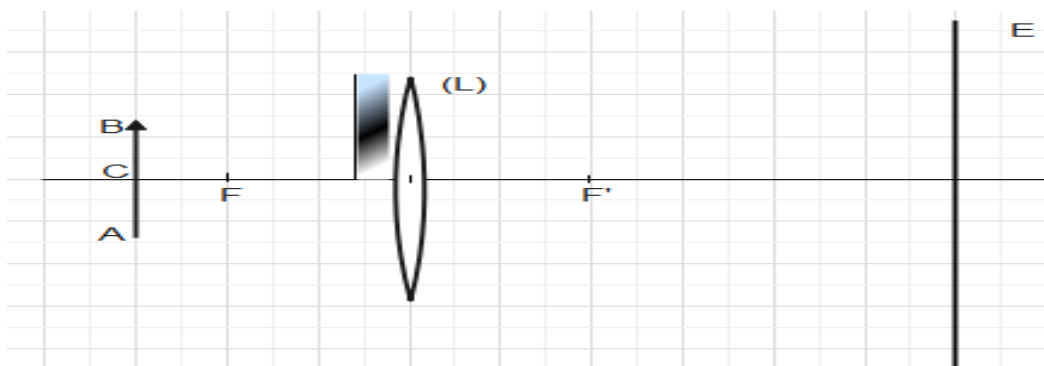


Figure 5

- b. Qu'observe-t-on de nouveau sur l'écran ? comparez le résultat obtenu avec celui obtenu à la figure 4 précédent en justifiant votre réponse.

ACTIVITÉS DE L'APPRENANT

Situation problème : lors d'une excursion, les élèves de première c du lycée d'Ekounou ce sont rendus dans un laboratoire d'optique situé à l'université de Yaoundé 1. Étant arrivé au laboratoire, le chef du laboratoire s'est absenté pour prendre le matériel permettant d'expliquer quelques phénomènes d'optique aux élèves en laissant en marche la manipulation sur laquelle il travaillait (comme le montre la **figure I**) qui visait à déterminer les caractéristiques de l'image d'un objet donné par une lentille. Doté d'une curiosité accrue, ces élèves se sont dirigés vers cette manipulation pour voir de quoi elle parle. Rendu sur la manipulation, ils ont commencé à déplacer la lentille à plusieurs reprises et observaient tantôt une image nette sur l'écran, tantôt une image floue et tantôt rien sur l'écran. Ils ne savent pas comment procéder pour obtenir une image nette sur l'écran et comment ci-prendre pour déterminer les caractéristiques de l'image donner par la lentille.

Tâche : aidez vos camarades à ci prendre pour obtenir une image nette sur l'écran et déterminer les caractéristiques de cette image



Figure I

Activité 1 :

Dans notre vie quotidienne, nous utilisons de dispositifs optiques tels que : lunette, camera, loupe, microscope, appareil photo et caméra de surveillance qui permettent d'obtenir une image d'un objet.



A l'intérieur de ces appareils se trouvent des lentilles comme le montre la figure 1 suivant. Observez les lentilles de cette figure et répondez aux questions suivantes :

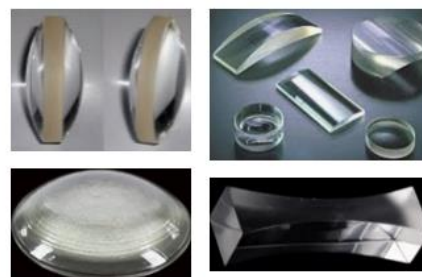


Figure 1

- De quelle matière sont faites ces lentilles et combien de surfaces délimitent une lentille ?
- Observez et précisez les formes des surfaces de ces lentilles ?
- Donner une représentation schématique de ces différentes lentilles en fonction des formes observées.
- Proposez une définition de la lentille
- Comparez les épaisseurs de ces lentilles par rapport à leurs centres respectifs ?

- f. Au touché des différentes lentilles, quelle observation faites-vous par rapport aux épaisseurs de celles-ci ?
- g. Dans quelle mesure une lentille sera dite mince ?

Activité 2 :

En vous référant aux représentations schématiques de la figure 2 suivante :

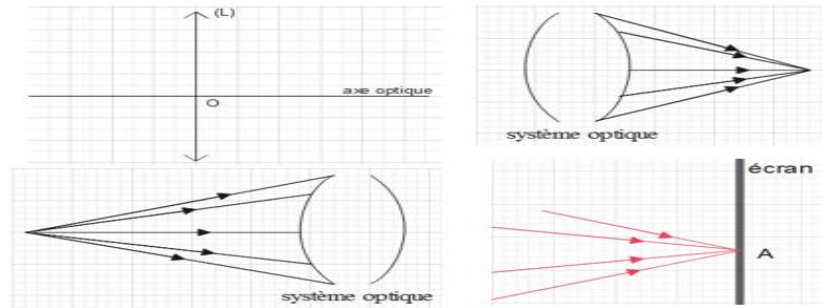


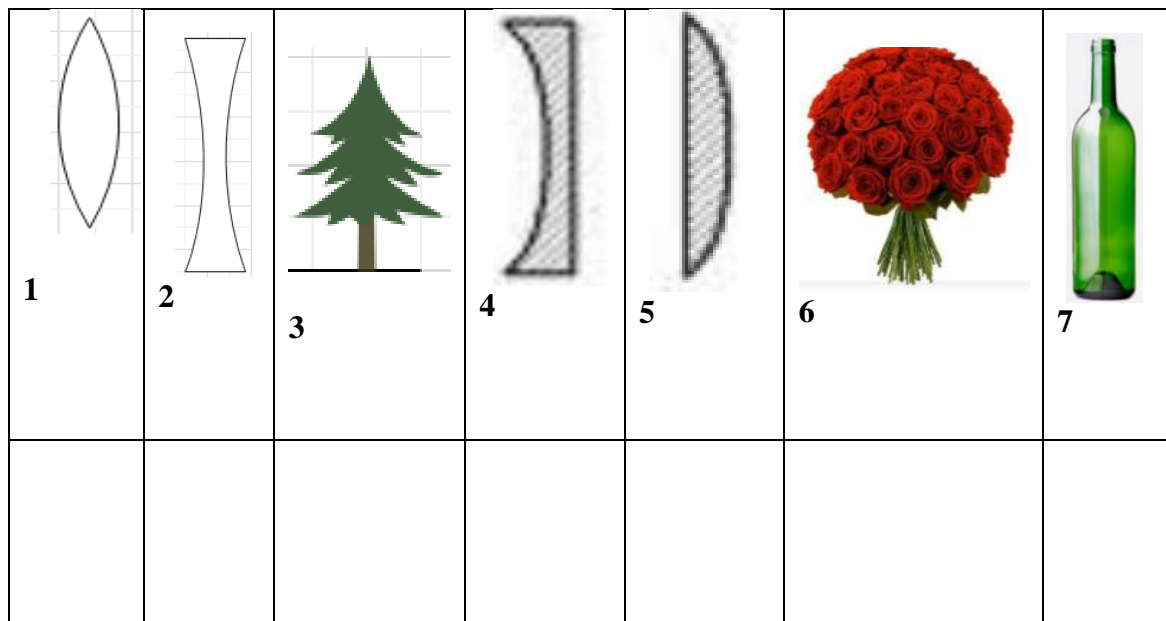
Figure 2

Parmi les questions (A, B et C) suivantes, une seule réponse est correcte, choisir la réponse juste (*faire un cercle sur la lettre correspondante à la réponse choisie*) :

- A. Un point objet est :
 - a. Le point d'intersection des rayons émergents d'un système optique.
 - b. Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique.
 - c. Le point de rencontre de rayons sur un écran.
 - d. Autre réponse
- B. Un point image est :
 - a. Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique.
 - b. Le point d'intersection des rayons qui sortent d'un système optique.
 - c. Le point de rencontre entre la lentille et l'axe optique
 - d. Autre réponse
- C. Combien de rayons lumineux sont indispensables pour trouver le point image d'un objet à travers une lentille mince :
 - a. 1
 - b. 2 ou 3
 - c. 4
 - d. Autre réponse

Activité 3 :

Donner à chaque lentille mince et objet une représentation de son modèle physique.



Activité 4 :

On considère un objet lumineux AB et un écran E. vu la figure 3 présentée ci-dessous, qu'observerait-on sur l'écran E ?

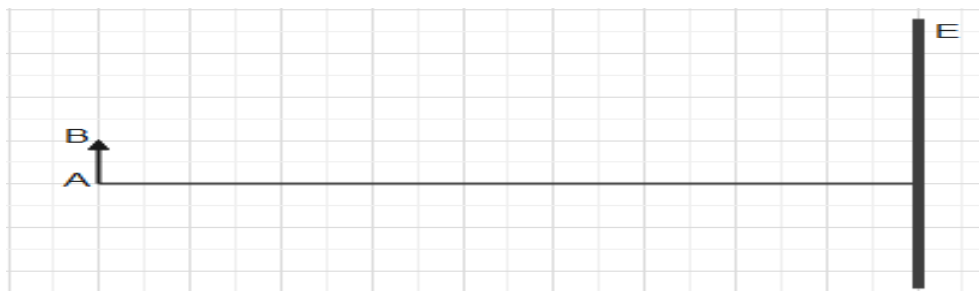


Figure 3

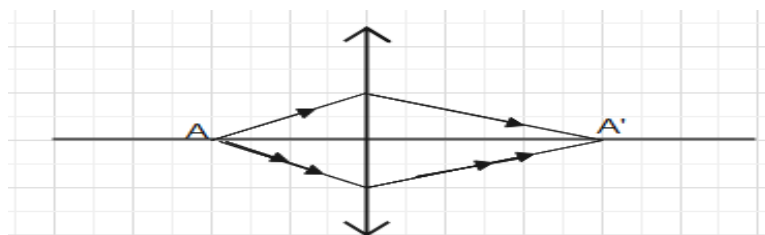
Activité 5 :

Décrivez toutes les correspondances points-images points-objets figurant sur les schémas ci-dessous.

- Si les notations des figures vous semblent insuffisantes, vous pouvez en ajouter.
- Si aucune correspondance objet-image ne vous semble mis en évidence par la figure, dites-le...

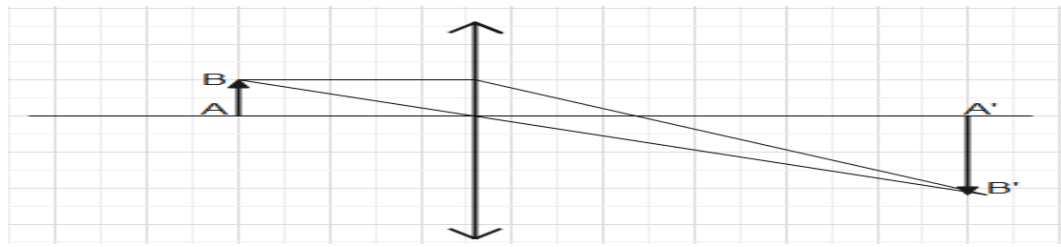
De toutes façons, justifiez ou commentez vos réponses.

Exemple :

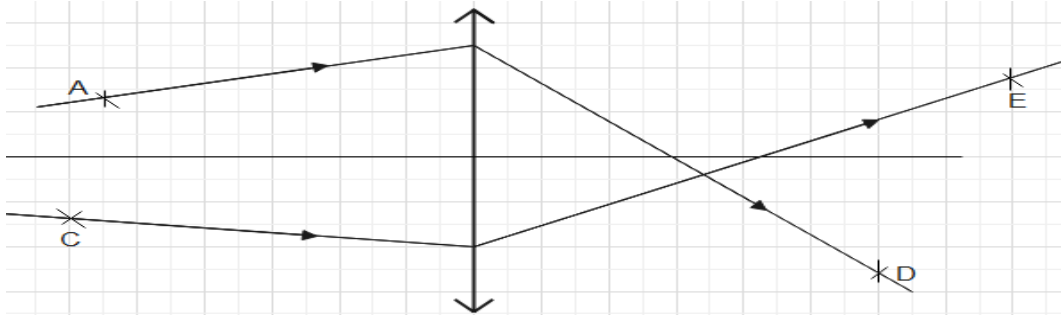


Réponse : point A' image du point objet A

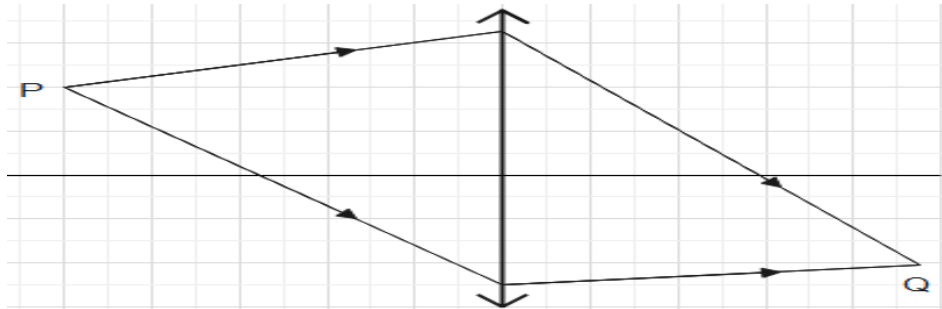
a)



b)



c)



Activité 6 : En vous référant à la figure 4, construire l'image de la bougie AB à travers une lentille mince convergente (L).

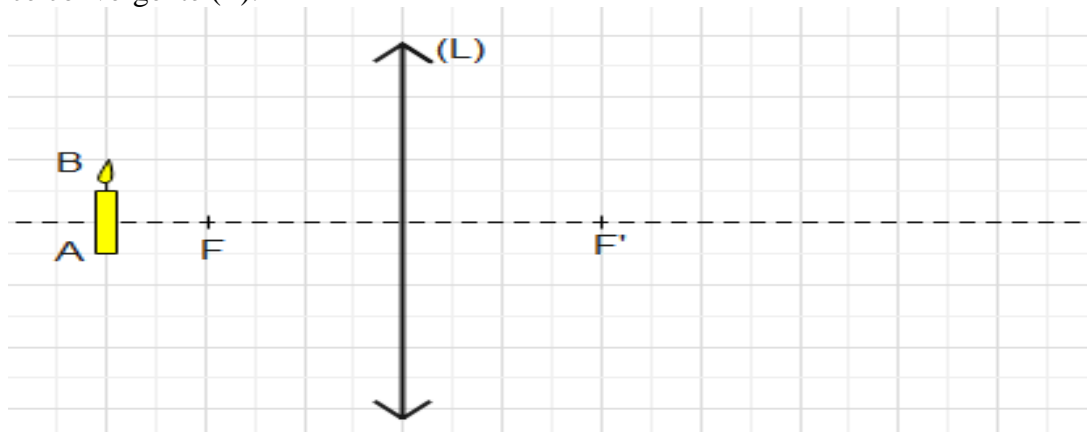


Figure 4

Activité 7 :

Une lentille convergente (L) donne d'un objet AB lumineux une image réelle A'B' que l'on reçoit sur un écran (E) (figure 5). L'ensemble est disposé comme le montre le schéma de la figure 5 suivant :

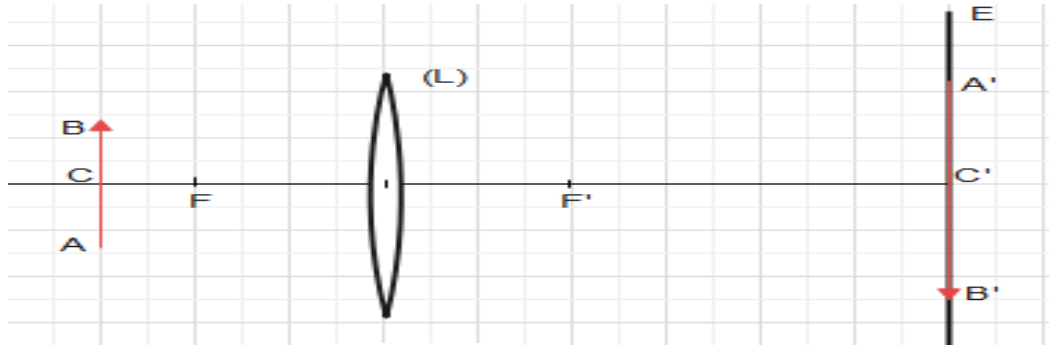


Figure 5

- a. Qu'observe-t-on sur l'écran (E) ? justifiez votre réponse par le tracé des rayons issus de l'objet AB.

On prend le même dispositif de la figure 5 et on cache la moitié de la lentille par un carton figure 6.

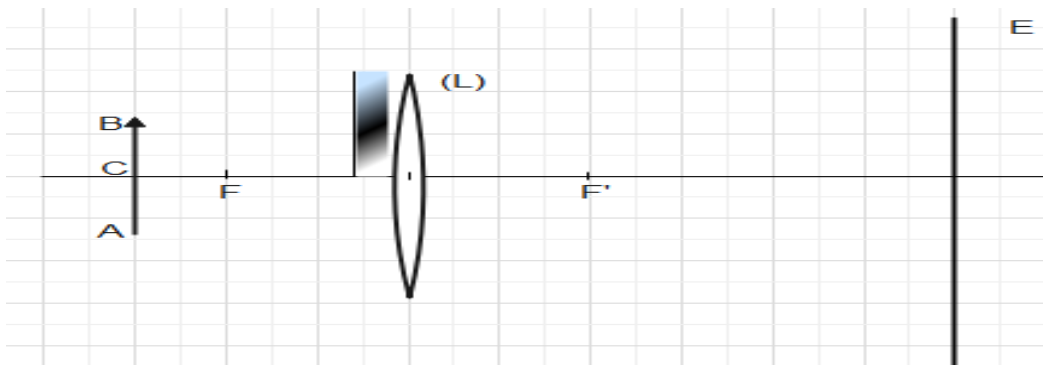


Figure 6

- b. Qu'observe-t-on de nouveau sur l'écran ? comparez le résultat obtenu avec celui obtenu à la figure 5 précédent en justifiant votre réponse.

Activité 8 :

Un animal voit un arbre de hauteur $AB=8\text{cm}$ à travers une lentille mince convergente (L) de centre optique O et de distance focale $f'=12\text{cm}$, comme le montre le schéma de la figure 4 ci-dessous.

- a) Construire l'image A'B' de l'arbre par la lentille (L).
 b) Déterminer graphiquement $\overline{A'B'}$, \overline{OA} , $\overline{OA'}$ et déduire le grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

(\overline{OA} est la distance de l'objet par rapport à la lentille ou encore position de l'objet par rapport à la lentille, $\overline{OA'}$ est la distance de l'image par rapport à la lentille ou encore position de l'image par rapport à la lentille et $\overline{A'B'}$ est la hauteur de l'image A'B')

NB : toutes ces valeurs à déterminer sont des mesures algébriques.

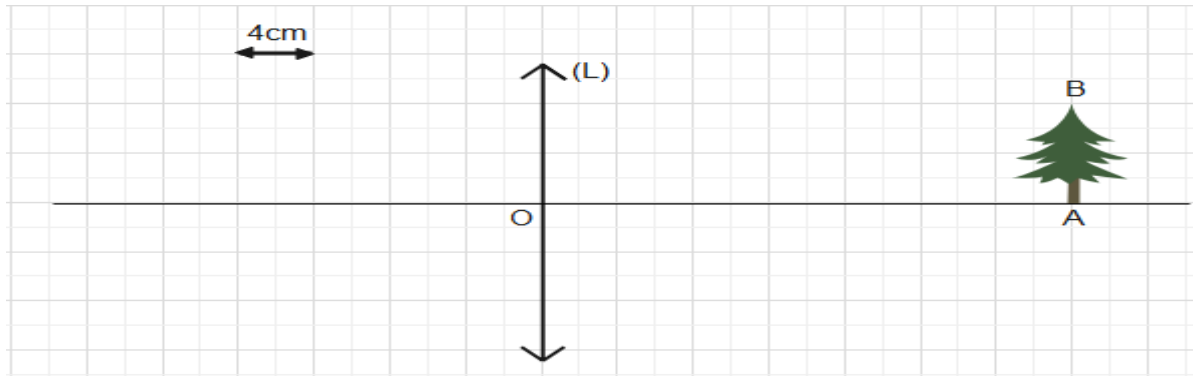

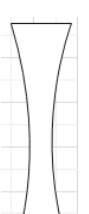
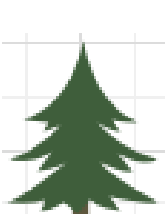

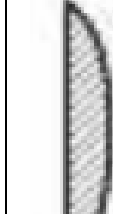




Figure 7

POST-TEST

1. Question à choix multiple (QCM). Parmi les questions (A, B et C) suivantes, une seule réponse est correcte, choisir la réponse juste (*faire un cercle sur la lettre correspondante à la réponse choisie*) :
 - A. Un point objet est :
 - a. Le point d'intersection des rayons émergeant d'un système optique.
 - b. Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique.
 - c. Le point de rencontre de rayons sur un écran.
 - d. Pas de réponse
 - B. Un point image est :
 - a. Le point d'intersection des rayons qui arrivent sur un système optique.
 - b. Le point d'intersection des rayons qui sortent d'un système optique.
 - c. Le point de rencontre entre la lentille et l'axe optique
 - d. Pas de réponse
 - C. Combien de rayons lumineux sont indispensables pour trouver le point image d'un objet à travers une lentille mince :
 - a. 1
 - b. 2 ou 3
 - c. 4
 - d. Pas de réponse

2. Donner à chaque lentille mince et objet une représentation de son modèle physique.

1		2		3		4		5		6		7	

3. On considère un objet lumineux AB et un écran E. vu la figure 1 présentée ci-dessous, qu'observerait-on sur l'écran E ?

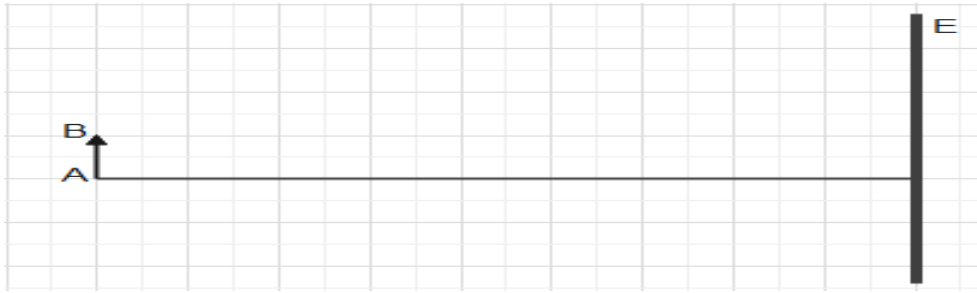
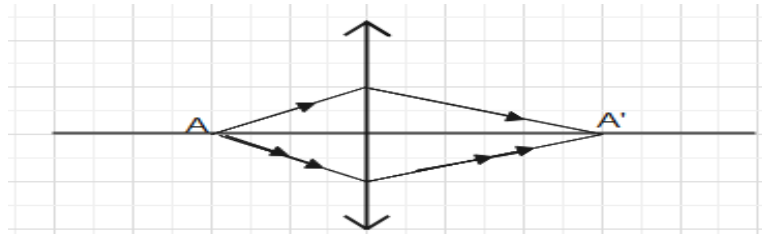


Figure 1

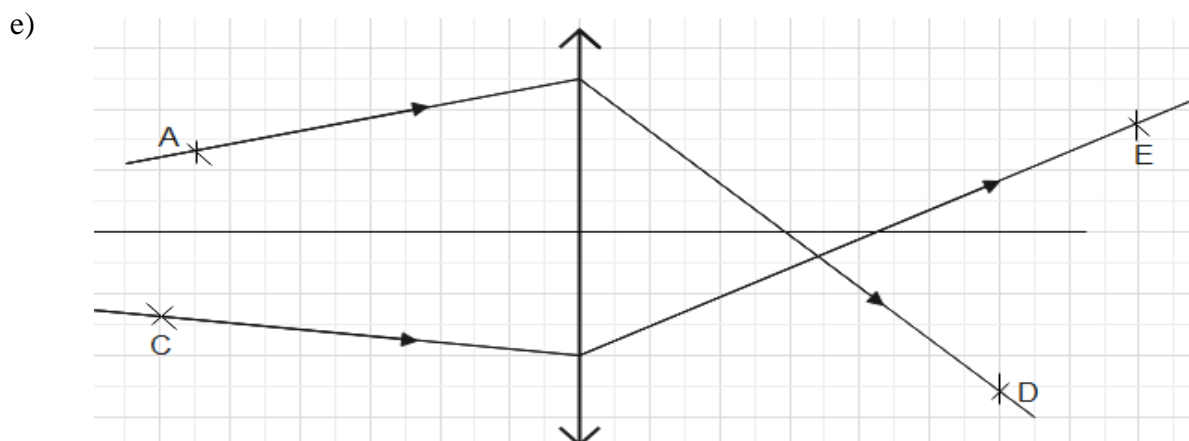
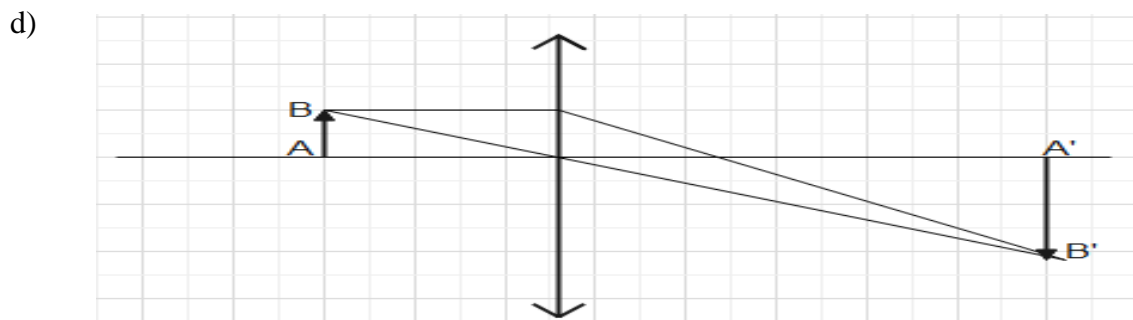
4. Décrivez toutes les correspondances points images-points objets figurant sur les schémas ci-dessous.
- Si les notations des figures vous semblent insuffisantes, vous pouvez en ajouter.
 - Si aucun couple objet-image ne vous semble mis en évidence par la figure, dites-le...

De toutes façons, justifiez ou commentez vos réponses.

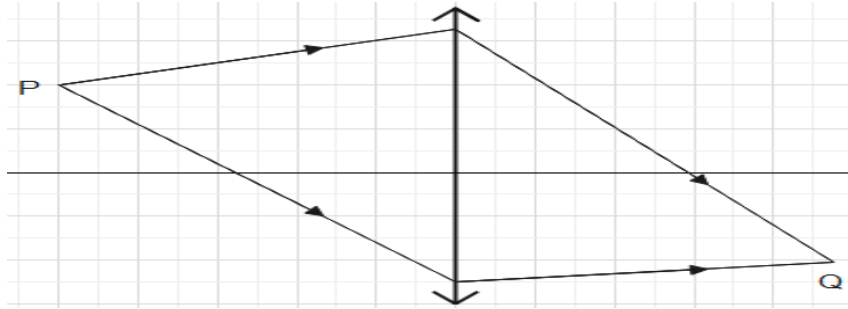
Exemple :



Réponse : point A' image du point objet A



f)



5. En vous référant à la figure 2, construire l'image de la bougie AB à travers une lentille mince convergente (L).

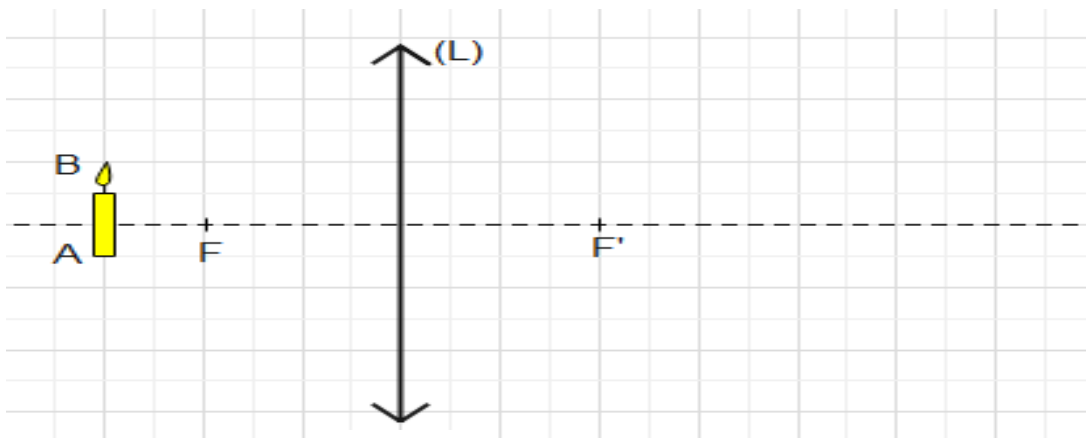


Figure 2

6. Une lentille convergente (L) donne d'un objet AB lumineux une image réelle A'B' que l'on reçoit sur un écran (E) (figure 3). L'ensemble est disposé comme le montre le schéma de la figure 3 suivant :

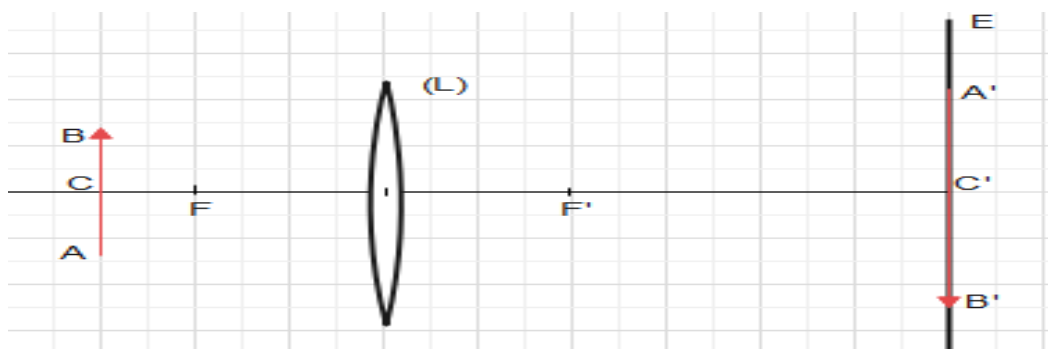


Figure 3

- c. Qu'observe-t-on sur l'écran (E) ? justifiez votre réponse par tracer des rayons issus de l'objet AB.

On prend le même dispositif de la figure 3 et on cache la moitié de la lentille par un carton figure 4.

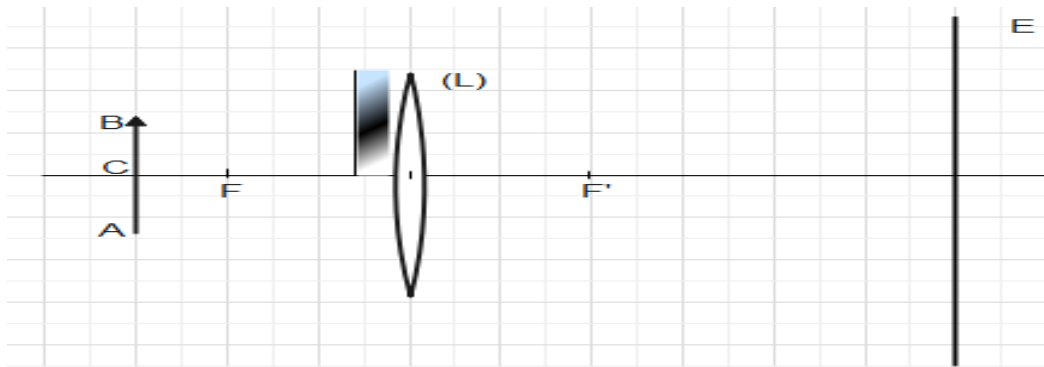


Figure 4

- d. Qu'observe-t-on de nouveau sur l'écran ? comparez le résultat obtenu avec celui obtenu à la figure 3 précédent en justifiant votre réponse.
7. Un animal voit un arbre de hauteur $AB=8\text{cm}$ à travers une lentille mince convergente (L) de centre optique O et de distance focale $f'=12\text{cm}$, comme le montre le schéma de la figure 5 ci-dessous.
- Construire l'image $A'B'$ de l'arbre par la lentille (L).
 - Déterminer graphiquement $\overline{A'B'}$, \overline{OA} , $\overline{OA'}$ et déduire le grandissement γ .

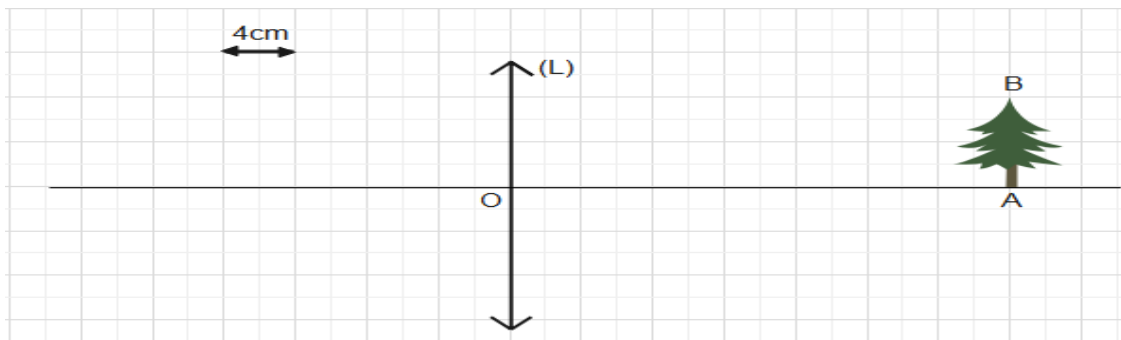


Figure 5

ANNEXE 5: Test d'égalité des variances (F-Test)

Table 17: Test d'égalité des variances (F-Test)

	<i>Score PRE-TEST PC1</i> (en %)	<i>Score PRE-TEST PC2</i> (en %)
Moyenne	44,8	44,1
Variance	831,3	762,0
Observations	20,0	20,0
Degré de liberté	19,0	19,0
F	1,1	
P(F<=f) unilatéral	0,4	
Valeur critique pour F (unilatéral)	2,2	

Source : Auteur à partir des données PRE-TEST collectées, décembre 2021

ANNEXE 6: Test d'égalité des variances (F-Test) des deux groupes

Table 18: Test d'égalité des variances (F-Test) des deux groupes

	<i>Score GT (en %)</i>	<i>Score GE (en %)</i>
Moyenne	47,5	76,8
Variance	608,3	444,2
Observations	22,0	22,0
Degré de liberté	21,0	21,0
F	1,4	
P(F<=f) unilatéral	0,2	
Valeur critique pour F (unilatéral)	2,1	

Source : Auteur à partir des données du *POST-TEST* collectées, décembre 2021

ANNEXE 7: Statistiques de groupe associé au test de l'hypothèse 1 de l'étude

Table 19: Statistiques de groupe associé au test de l'hypothèse 1 de l'étude

Groupe		N	Moyenne	Ecart type
Q1.1	GT	40	0,60	0,496
	GE	40	0,90	0,304
Q1.2	GT	40	0,625	0,4903
	GE	40	0,900	0,3038
Q1.3	GT	40	0,75	0,439
	GE	40	0,95	0,221
Q3	GT	40	0,175	0,3848
	GE	40	0,850	0,3616
Q4.1.1	GT	40	0,675	0,4743
	GE	40	0,875	0,3349
Q4.1.2	GT	40	0,575	0,501
	GE	40	0,900	0,304
Q4.2.1	GT	40	0,425	0,5006
	GE	40	0,775	0,4229
Q4.2.2	GT	40	0,400	0,4961
	GE	40	0,675	0,4743
Q4.3	GT	40	0,675	0,4743
	GE	40	0,900	0,3038

Source : Auteur à partir des données du POST-TEST collectées, décembre 2021

ANNEXE 8: Statistiques de groupe associé au test de l'hypothèse 2 de l'étude

Table 20: Statistiques de groupe associé au test de l'hypothèse 2 de l'étude

	Groupe	N	Moyenne	Ecart type
Q2.1.	GT	40	1,00	,000 ^a
	GE	40	1,00	,000 ^a
Q2.2	GT	40	0,675	0,4743
	GE	40	0,925	0,2667
Q2.3	GT	40	0,550	0,504
	GE	40	0,900	0,304
Q2.4	GT	40	0,600	0,4961
	GE	40	0,875	0,3349
Q5	GT	40	0,425	0,5006
	GE	40	0,825	0,3848
Q6.1.1	GT	40	0,725	0,4522
	GE	40	0,925	0,2667
Q6.2.1	GT	40	0,125	0,3349
	GE	40	0,500	0,5064
Q6.2.2	GT	40	0,025	0,1581
	GE	40	0,200	0,4051
Q7.1	GT	40	0,425	0,5006
	GE	40	0,850	0,3616
Q7.2.1	GT	40	0,425	0,5006
	GE	40	0,725	0,4522
Q7.2.2	GT	40	0,20	0,405
	GE	40	0,60	0,496
Q7.2.3	GT	40	0,225	0,4229
	GE	40	0,450	0,5038
Q7.2.4	GT	40	0,15	0,362
	GE	40	0,40	0,496

a. t ne peut être calculé car les écarts types des deux groupes sont nuls.

Source : Auteur à partir des données du *POST-TEST* collectées, décembre 2021