



HAL
open science

**L'impact de l'utilisation des simulations informatiques
sur la compréhension des concepts de la physique en
situation d'enseignement en classe entière au collège en
Côte d'Ivoire. Etude du cas d'un simulateur
d'oscilloscope**

Hal Ahassanne Demba

► **To cite this version:**

Hal Ahassanne Demba. L'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de la physique en situation d'enseignement en classe entière au collège en Côte d'Ivoire. Etude du cas d'un simulateur d'oscilloscope. Education. CY Cergy Paris Université, 2020. Français. NNT : 2020CYUN1097 . tel-03274905

HAL Id: tel-03274905

<https://theses.hal.science/tel-03274905>

Submitted on 30 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



École doctorale n° 284
Unité de recherche : laboratoire BONHEURS – EA 7517

Thèse de doctorat

Présentée en vue de l'obtention du
grade de docteur en Sciences de l'éducation

De
CY CERGY PARIS UNIVERSITÉ

Par

Hal-Ahassanne DEMBA

L'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de physique en situation d'enseignement en classe entière au collège en Côte d'Ivoire. Étude du cas d'un simulateur d'oscilloscope

Dirigée par Béatrice MABILON-BONFILS et Laurent JEANNIN

Soutenue le 16 décembre 2020

Devant le jury composé de :

Andrée Tiberghien	Professeure Émérite, ENS de Lyon	Présidente
Écaterina Pacurar	Professeure des Universités, Université de Lille	Rapportrice
Bernard Coulibaly	Maître de Conférences, Université de Haute Alsace	Rapporteur
Béatrice Mabilon-Bonfils	Professeure des Universités, CY Cergy Paris Université	Directeur
Laurent Jeannin	Maître de Conférences, CY Cergy Paris Université	Co-Encadrant

Avertissement

Ce manuscrit comporte deux annexes. La première, nommée *Annexe A*, est intégrée au manuscrit et se trouve en fin de document. La seconde, nommée *Annexe B*, est un document à part de 281 pages qui contient la transcription des vidéos des séquences de cours observées, aussi bien en pré-étude que lors de l'expérimentation en vraie grandeur. Il contient également les verbatim des élèves des groupes-classes expérimentaux des enseignants B, D, et E, ainsi que les verbatim des enseignants B, C et D, obtenus grâce aux entretiens semi-dirigés que nous avons réalisés respectivement avec eux . Dans le manuscrit, des renvois sont faits vers ces deux annexes.

Dédicace

À mon épouse Assétou DIALLO et à mes enfants Sira Fatima, Souleymane et
Mohamed Adama Noël

Résumé

La présente étude quasi-expérimentale, exploratoire mixte, multi-cas multi-sites, cherche à savoir comment et dans quelles conditions utiliser les simulations informatiques pour faire comprendre les concepts de physique dans l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire. Elle interroge, à partir d'un cas d'utilisation d'un simulateur d'oscilloscope pour l'apprentissage des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4^{ème}, d'abord l'efficacité d'un tel enseignement/apprentissage, ensuite les conditions favorisant le processus d'enseignement/apprentissage, et enfin les perceptions des élèves et enseignants concernant les effets cognitifs de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope. Elle vise donc à évaluer l'efficacité d'un tel enseignement/apprentissage, et à mettre en évidence les relations existant entre la réussite de l'apprentissage, mesuré par le gain relatif d'apprentissage, et des variables telles que l'attitude des élèves envers la physique, le niveau de pratique de la démarche d'investigation POE (Prédiction-Observation-Explication) de l'enseignant en physique ou *Inquiry Cycle Score* (ICS), avec le simulateur d'oscilloscope, le niveau de pratique de la pédagogie qu'il met en œuvre, le niveau d'implication des élèves dans la démarche POE ou *Student Response Rate* (SRR), et de manière générale, la manière d'utiliser le simulateur d'oscilloscope pour faire construire le sens des concepts, et les conditions d'utilisation. Pour ce faire, elle mobilise un cadre théorique multi-référencé comportant, outre la théorie des deux mondes et la théorie d'action conjointe en didactique, les connaissances théoriques liées aux variables, ci-dessus citées, que nous avons supposées avoir une influence sur le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes.

Cinq enseignants de physique-chimie, A, B, C, D, E ($M_{\text{âges}} = 40$ ans, E.T = 7,92 ans), de 04 établissements de la ville d'Abidjan, expérimentés pour la plupart ($M_{\text{ancienneté}} = 12$ ans, E.T = 7,83 ans), ayant chacun, dans son emploi du temps officiel, 02 classes de quatrième, ont accepté librement de mener l'expérimentation. Ainsi, 10 groupes-classes, dont 05 expérimentaux ($n = 316$ élèves) et 05 témoins ($n = 320$ élèves), ont participé à l'étude, soit 636 élèves au total ($M_{\text{âges}} = 13,76$ ans, ET = 0,72 an, âge mini = 11 ans, âge maxi = 17 ans). Le traitement statistique, sur SPSS 20, des données, collectées par questionnaire, pré-test et post-test, observation de classe *in situ*, et l'analyse de contenu des données d'observation et des entretiens semi-dirigés, pour 602 observations valides, ont donné les résultats suivants : concernant l'efficacité de l'enseignement/apprentissage utilisant le simulateur d'oscilloscope, il n'y a pas eu de différence significative entre le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe expérimental et celui du groupe-classe témoin de l'enseignant A. Pour les enseignants B et C, le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe expérimental est significativement plus élevé que celui du groupe-classe témoin. Pour les enseignants D et E, le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe expérimental est plus bas que celui du groupe-classe témoin, et significatif dans le cas de l'enseignant E. L'étude n'a pas trouvé d'effets significatifs des variables supposées influencer le gain relatif d'apprentissage. Selon les perceptions des élèves et des enseignants, le simulateur d'oscilloscope a joué le rôle d'un véritable équipement réel d'expérimentation, avec un effet positif sur la mémorisation des éléments de connaissance, l'attention, la concentration et la motivation à l'apprentissage. Néanmoins, elle a montré que la manière d'utiliser le simulateur d'oscilloscope, ainsi que les conditions de chaleur, de bruit, et de visibilité de l'image projetée du simulateur d'oscilloscope sont à améliorer.

Mots clés : Simulation informatique, classe entière, démarche d'investigation POE, concepts de physique, contexte naturel, enseignement secondaire général, Côte d'Ivoire.

Abstract

This quasi-experimental, mixed multi-case, multi-site exploratory study seeks to know how to use computer simulations to understand the concepts of physics in general secondary education in Côte d'Ivoire. It questions, from a use case of an oscilloscope simulator for learning the concepts of period and frequency of a sinusoidal alternating voltage in 4th grade, first of all the efficiency of a such teaching / learning, then the conditions favoring the teaching / learning process, and finally the perceptions of students and teachers concerning the cognitive effects of the use of the oscilloscope simulator. Therefore it evaluates the effectiveness of such teaching / learning process and aims to highlight the relationships between learning success, measured by the relative learning gain, and variables such as students' attitude towards learning, physics, the level of practice of the investigative approach POE (Prediction-Observation-Explanation) of the teacher in physics or Inquiry Cycle Score (ICS), with the oscilloscope simulator, the level of practice of the pedagogy that it implements the level of student involvement in the POE or Student Response Rate (SRR) process, and in general, the way of using the oscilloscope simulator to build the meaning of concepts, and the conditions of use. To do this, it mobilizes a multi-referenced theoretical framework comprising, in addition to the theory of two worlds and the theory of joint action in didactics, the theoretical knowledge linked to the variables, cited above, that we assumed to have an influence on the relative learning gain of group-classes.

Five physics-chemistry teachers, A, B, C, D, E (M ages = 40 years, SD = 7.92 years), from 04 establishments in the city of Abidjan, most of them experienced (M seniority = 12 years, SD = 7.83 years), each having 02 fourth grade classes in their official timetable, freely agreed to carry out the experiment. Thus, 10 class-groups, including 05 experimental (n = 316 students) and 05 controls (n = 320 students), participated in the study, i.e. 636 students in total (M ages = 13.76 years, SD = 0,72 years old, minimum age = 11 years, maximum age = 17 years). Statistical processing, on SPSS 20, of data, collected by questionnaire, pre-test and post-test, in situ class observation, and content analysis of observation data and semi-structured interviews, for 602 observations valid, gave the following results: Concerning the effectiveness of teaching / learning using the oscilloscope simulator, there was no significant difference between the relative learning gain of the experimental class group and that of the teacher A's control class group. For teachers B and C, the relative learning gain of the experimental class group is significantly greater than that of the control class group. For teachers D and E, the relative learning gain of the experimental class group is lower than that of the control class group, and significant in the case of teacher E. The study did not find any 'significant effects of the variables assumed to influence the relative learning gain. According to the perceptions of students and teachers, the oscilloscope simulator played the role of real real experimentation equipment, with a positive effect on the memorization of the elements of knowledge, attention, concentration and motivation to learning. Nevertheless, it has shown that the way of using the oscilloscope simulator, as well as the conditions of heat, noise, and visibility of the projected image of the oscilloscope simulator need to be improved.

Keywords : Computer simulation in whole class, POE investigation process, physics concepts, natural context, general secondary education, Côte d'Ivoire.

Remerciements

J'exprime tout d'abord, ma gratitude et mes remerciements à mes directeurs de thèse, Madame le Professeur Béatrice MABILON-BONFILS et le Maître de Conférences Hors classe Laurent JEANNIN, pour leur exigence intellectuelle, leur guidage scientifique, leurs conseils et recommandations avisés, mais aussi pour leur disponibilité sans faille, leur grande sollicitude et les meilleures conditions de travail et d'encadrement qu'ils m'ont offertes.

Ma gratitude va aussi à l'endroit du Professeur Alain JAILLET, de nous avoir donné l'opportunité de faire cette thèse, et surtout pour sa rigueur « militaire » dans notre encadrement doctoral, nous ayant amené à nous surpasser même lorsque c'était difficile au niveau professionnel. Je lui en suis infiniment reconnaissant.

Merci également à tous nos enseignants de la Chaire, aux membres de notre laboratoire, Fatiha Lograda, Ramia Otcheli, Philippe Priolet, Tayeb Lograda, Jean-Pierre Pivin, Charlène Mercier, Houda Schiratti, ..., ainsi qu'à tous mes pairs de la Chaire pour leurs contributions importantes à ce travail de recherche. Je pense plus particulièrement à Sandrine Nyebe pour son soutien indéfectible et sa bonne humeur mais aussi à Abdoul Massalabi Nouhou. Je n'oublie pas, au passage, l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), pour toutes les aides qu'elle nous a apportées.

Je tiens également à remercier très vivement La Professeure Émérite Andrée Tiberghien d'avoir accepté de présider ma soutenance de thèse ainsi que tous les membres de son jury.

Mes remerciements et ma gratitude aussi au Directeur Général de l'École Normale Supérieure d'Abidjan, Prof. Valy SIDIBE, au Directeur de la Formation Initiale, Prof. Mamadou KONE, à mes Chefs de Département des Sciences et Technologies, et de la Section Physique-Chimie, MC. Hervé Roland KOUASSI, et M.C. Innocent Kouakou KOFFI, pour avoir facilité mes déplacements dans le cadre de cette recherche. Je remercie également mon ami et collègue, MC. Sharll Kouamé NGUESSAN, pour ses conseils et son soutien sans faille, et tous ceux, à l'ENS, qui ont bien voulu me fournir des ressources utiles pour la réalisation de ce travail.

Je ne saurais oublier l'Inspection Générale et la Direction Régionale d'Abidjan I du Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement technique et de la formation professionnelle (MENETFP), mais surtout tous les chefs d'établissement, leurs Adjoints, leurs enseignants et leurs élèves qui ont rendu possible cette recherche.

Enfin, je remercie du fond du cœur mon épouse et mes enfants pour tous les sacrifices consentis, durant ces longues années d'études, d'Acrédite à la Chaire UNESCO/UCP, pour leur patience, leur soutien indéfectible mais aussi pour leur implication directe.



1858 - 1917

« Les transformations profondes qu'ont subies ou que sont en train de subir les sociétés contemporaines nécessitent des transformations correspondantes dans l'éducation nationale. [...] Mais si nous savons bien que des changements sont nécessaires, nous savons mal ce qu'ils doivent être ».

Émile Durkheim. Education et sociologie, 10^{ième} édition « Quadrige ». (2013, p. 8)

Émile Durkheim, « Père fondateur » de la sociologie de l'éducation (Mabilon-Bonfils) interpellait déjà à la recherche de connaissances pour l'adaptation des systèmes éducatifs des Sociétés contemporaines, en perpétuelle mutation.

Sommaire

Avertissement.....	i
Dédicace	ii
Résumé.....	iii
Abstract	v
Remerciements	vii
Sommaire	ix
Liste des tableaux	xiii
Liste des figures	xvi
Liste des sigles et abréviations	xvii
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 – Contexte et justification de l'étude.....	11
1.1. Présentation de la Côte d'Ivoire : enjeux de développement socioéconomique et place de la physique.....	11
1.1.1. Enjeux socioéconomiques de la Côte d'Ivoire	11
1.1.2. Système éducatif ivoirien et l'enseignement de la physique	14
1.1.3. De la nécessité de mener une étude au niveau collège de l'enseignement général.....	15
1.2. Facteurs expliquant les difficultés de compréhension de la physique.....	16
1.2.1. Activités d'enseignement-apprentissage, un système complexe d'interactions	16
1.2.2. Facteurs individuels expliquant les difficultés d'apprentissage.....	18
1.2.3. Facteurs scolaires expliquant les difficultés d'apprentissage	29
1.2.4. Facteurs familiaux et sociaux expliquant les difficultés d'apprentissage	36
1.2.5. Facteurs spécifiques expliquant les difficultés d'apprentissage de la physique	38
1.3. Intégration des TIC dans l'éducation pour aider à la compréhension de la physique	45
1.3.1. Notion d'intégration des TIC dans l'éducation	45
1.3.2. Apparition des TIC dans l'éducation dans le monde et en Afrique.....	49
1.3.3. Intégration des TIC dans l'éducation en Côte d'Ivoire. Une vision du Président Félix-Houphouët BOIGNY au lendemain de l'Indépendance.....	52
1.3.4. Des recherches sur les TIC dans l'éducation en Afrique.....	58
Chapitre 2 – État de la littérature.....	64
2.1. Définitions et caractéristiques des simulations informatiques	64
2.1.1. Définitions	64
2.1.2. Processus de modélisation des simulations informatiques	66
2.1.3. Paradigmes de modélisation et de simulation	67
2.1.4. Modèles de simulations pour l'apprentissage des sciences	68
2.2. Problèmes épistémologiques liés aux caractéristiques des simulations informatiques	69
2.2.1. De la crédibilité des modèles des systèmes physique et des phénomènes naturels simulés.....	70
2.2.2. Du rôle des modèles qui sous-tendent les simulations informatiques	70
2.2.3. Du statut des simulations informatiques en tant que moyens de productions des connaissances	70
2.2.4. De la relation des simulations avec les expérimentations de laboratoire.....	71
2.3. De l'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts..	71
2.3.1. Des recherches rapportant une différence significative entre les gains d'apprentissage des situations d'apprentissage avec simulation et sans simulation	71

2.3.2	Des recherches rapportant une différence non significative entre les gains d'apprentissage des situations d'apprentissage avec simulation et sans simulation	79
2.3.3	Des résultats significatifs de recherches concernant des facteurs favorisant la compréhension des concepts	79
2.3.4	De la méthodologie des recherches rapportées sur l'impact de l'utilisation des simulations informatiques pour l'apprentissage	81

Chapitre 3 – Problématique, questions hypothèses et objectifs de la recherche 83

3.1.	Problématique de la recherche	83
3.1.1.	Faisceaux de résultats de la recherche en didactique sur l'usage des simulations informatiques	83
3.1.2.	Des contraintes de l'enseignement liées au contexte ivoirien	83
3.1.3.	Problème à résoudre.....	84
3.2.	Questions de recherche	85
3.2.1.	Question générale.....	85
3.2.2.	Questions spécifiques.....	85
3.3.	Hypothèses de recherche	85
3.3.1.	Hypothèse principale.....	85
3.3.2.	Hypothèses secondaires (H).....	86
3.4.	Objectifs de la recherche.....	87
3.4.1.	Objectif principal	87
3.4.2.	Objectifs opérationnels	87
3.5.	Pertinence de notre recherche	88
3.5.1.	Pertinence scientifique	88
3.5.2.	Pertinence institutionnelle et didactique.....	89
3.5.3.	Pertinence sociale.....	90

Chapitre 4 – Cadre théorique 93

4.1.	Quelques clarifications conceptuelles liées à la formulation de notre sujet de recherche.....	93
4.1.1	Des termes Impact, utilisation, et concept.....	93
4.1.2	Notion de situation d'enseignement.....	96
4.1.3	Groupe-classe et classe entière.....	97
4.1.4	Sens de la formulation de notre sujet	100
4.2	Théories et modèles mobilisés pour notre étude	101
4.2.1	Situations didactiques et compréhension des notions de physique.....	101
4.2.2	Théorie de l'action conjointe en didactique, pédagogie d'apprentissage et participation des élèves à la construction du Savoir	108
4.2.3	Attitudes des élèves envers la physique et motivation à l'apprentissage.....	115
4.2.4	Théorie de l'activité instrumentée de Leontiev, médiation médiatisation d'un contenu de savoir et utilisation d'un EIAH.....	118
4.3	Description des variables de notre étude.....	119
4.3.1	Variables indépendantes	119
4.3.2	Variable dépendante.....	126
4.3.3	Variables de contrôle ou extrinsèques.....	127
4.3.4	Plan des variables.....	129

Chapitre 5 – Méthodologie de la recherche 131

5.1	Pré-étude de la recherche	131
5.1.1	Champ, type et plan de la recherche	131
5.1.2	Contexte de l'expérimentation en pré-étude.....	133
5.1.3	Méthodologie de la pré-étude.....	136
5.1.4	Analyse critique de la méthodologie de la pré-étude et conclusion-bilan	147

5.2	Méthodologie de la recherche en vraie grandeur	150
5.2.1	Approche méthodologique, type de la recherche et matériel pour l'expérimentation	150
5.2.2	Terrain d'expérimentation en vraie grandeur et participants	151
5.3	Outils et démarche de collecte des données de la recherche	153
5.3.1	Pré-test et post-test à choix multiple	153
5.3.2	Questionnaires élèves et enseignants	155
5.3.3	Observations directes des séquences de cours en situation	157
5.3.4	Entretiens individuels semi-dirigés avec l'enseignant et entretien collectif avec le groupe-classe	160
5.4	Démarches de traitement et d'analyse des données de l'étude	161
5.4.1	Démarche de traitement et d'analyse des données des questionnaires élèves et enseignants	161
5.4.2	Démarche de traitement et d'analyse des données du pré-test et du post-test	168
5.4.3	Démarche de traitement et d'analyse des données de l'observation directe de classe.....	172
5.4.4	Démarche de traitement et d'analyse des données des entretiens individuels et collectifs semi-dirigés	181
Chapitre 6 – Résultats de la recherche.....		185
6.1	Présentation et analyse descriptive des données par outil de collecte.....	185
6.1.1	Données issues de l'administration des questionnaires d'enquête	185
6.1.2	Données issues du pré-test et du post-test	207
6.1.3	Données issues des observations de classes <i>in situ</i>	212
6.1.4	Données issues des entretiens semi-directifs avec enseignants et élèves	220
6.2	Présentation des résultats concernant l'effet du type de situation d'enseignement sur le gain relatif d'apprentissage.....	232
6.2.1	Analyse globale des gains relatifs du groupe expérimental et du groupe témoin	232
6.2.2	Analyse des gains relatifs des groupes-classes de chaque enseignant	240
6.2.3	Synthèse des analyses des gains relatifs d'apprentissage par rapport à la situation d'enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope	247
6.3	Présentation des résultats concernant l'effet de l'attitude envers la physique des élèves sur le gain relatif d'apprentissage.....	250
6.3.1	Effet de l'attitude <i>Avant</i> envers la physique des élèves sur le gain relatif d'apprentissage	250
6.3.2	Effet de l'attitude <i>Après</i> envers la physique des élèves du groupe expérimental sur le gain relatif d'apprentissage	256
6.4	Présentation des résultats concernant les effets des pratiques de l'enseignant sur le gain relatif d'apprentissage	261
6.4.1	Effet de la démarche d'investigation par l'expérimentation.....	261
6.4.2	Effet de la pédagogie de l'apprentissage de l'enseignant	266
6.4.3	Effet de l'utilisation didactique du simulateur d'oscilloscope sur l'apprentissage	270
6.5	Présentation des résultats concernant les perceptions des élèves et des enseignants sur les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope et sur son rôle dans l'apprentissage	282
6.5.1	Conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope	282
6.5.2	Effets cognitifs du simulateur d'oscilloscope dans l'apprentissage des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale	288
6.5.3	Perceptions des élèves concernant le rôle joué par le simulateur d'oscilloscope dans l'apprentissage	289

Chapitre 7 – Discussion et perspectives.....	292
7.1. Vérification des hypothèses de départ	292
7.1.1. Hypothèses en lien avec le gain relatif d'apprentissage, les situations d'enseignement, l'attitude des élèves, et les pratiques de l'enseignant.....	292
7.1.2. Hypothèses concernant l'effet des pratiques didactiques et pédagogique de l'enseignant sur les élèves	294
7.1.3. Hypothèses relatives à l'utilisation et aux conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope	295
7.1.4. Hypothèse relative aux perceptions des élèves et enseignants concernant les effets cognitifs du simulateur d'oscilloscope.....	297
7.2. Confrontation des résultats de la recherche avec les résultats des travaux antérieurs	298
7.2.1. Travaux sur l'efficacité de l'utilisation des simulations informatiques dans l'enseignement de la physique-chimie.....	298
7.2.2. Travaux évoquant des facteurs favorisant l'utilisation de la simulation informatique dans l'enseignant-apprentissage.....	299
7.2.3. Travaux sur les perceptions des élèves et enseignants concernant le rôle et les effets cognitifs des simulations informatiques dans l'enseignant-apprentissage de la physique-chimie	301
7.2.4. Des apports nouveaux	302
7.3. Forces et limites de la méthodologie de recherche	305
7.3.1. Du type de la recherche et du contexte de l'étude.....	305
7.3.2. Du dispositif de l'expérimentation.....	306
7.3.3. Des outils de recueil des données de la recherche.....	309
7.3.4. Du traitement et de l'analyse des données de la recherche.....	312
7.4. Perspectives de recherches futures.....	315
7.4.1. Recherche confirmatoire	315
7.4.2. De l'apport d'une pédagogie inversée axée sur un dispositif hybride	316
7.4.3. Et si on intègre un exerciceur et d'autres outils TIC comme aides didactiques complémentaires ... ?	317
Conclusion générale	321
Bibliographie.....	324
Index	341
Annexes A.....	349

Liste des tableaux

Tableau 1	Quelques indicateurs clés sur les TIC en Côte d'Ivoire.	p. 48
Tableau 2	Fonctionnalités offertes par l'usage des simulations informatiques selon les auteurs de typologies des usages des technologies en éducation.	pp. 62-63
Tableau 3	Les systèmes d'apprentissage, entrée psychologique (Perraudeau, 2006, p. 20).	p. 112
Tableau 4	Plan des variables de l'étude	p. 130
Tableau 5	Description des constituants du simulateur d'oscilloscope et du GBF	pp. 139-140
Tableau 6	Facettes des concepts de fréquence, de période et de tension maximale et des registres associés (tableau inspiré de Tiberghien & Vince (2005, p. 12)).	p. 140
Tableau 7	Différentes représentations des concepts avec le simulateur Oscilloscope AC/DC associé à un GBF (inspiré du cas du logiciel SimulaSon étudié par Tiberghien & Vince (2005, p. 12)).	p. 141
Tableau 8	Répartition des élèves, par enseignant, dans les groupes expérimentaux et témoins	p. 152
Tableau 9	Design de la recherche (tableau inspiré de (Sarabando et al., 2016, p. 114)	p. 154
Tableau 10	Exemple de réponse à la question Q5 du questionnaire élève	p. 163
Tableau 11	Exemple de réponse à la question Q10 du questionnaire élève	p. 164
Tableau 12	Exemple de réponse à la question Q8 du questionnaire d'attitudes Enseignant	p. 166
Tableau 13	Tests de vérification des hypothèses 3 et 4 relatives à la démarche d'investigation POE	p. 179
Tableau 14	Tests de vérification des hypothèses 5 et 6 relatives à la pédagogie de l'apprentissage	p. 180
Tableau 15	Test de vérification de l'hypothèse 7 relative à l'utilisation du simulateur	p. 181
Tableau 16	Analyse qualitative des gains relatifs d'apprentissage par rapport aux conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope pour la vérification de l'hypothèse 8.	p. 182
Tableau 17	Analyse qualitative des gains d'apprentissage selon les perceptions des élèves et des enseignants concernant les effets du simulateur sur le processus enseignement-apprentissage	p. 183
Tableau 18	Répartition des élèves de l'échantillon selon le genre	p. 185
Tableau 19	Répartition des élèves selon le genre dans le groupe expérimental et le groupe témoin	p. 185
Tableau 20	Répartition des élèves de l'échantillon selon le genre dans les groupes-classes	p. 186
Tableau 21	Répartition des élèves de l'échantillon selon la classe d'âges	p. 187
Tableau 22	Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon la classe d'âges	p. 187
Tableau 23	Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la classe d'âges	p. 188
Tableau 24	Répartition des élèves de l'échantillon selon la FHUO	p. 189
Tableau 25	Répartition des élèves dans les groupes, expérimental et témoin, selon la FHUO	p. 189
Tableau 26	Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la FHUO	p. 189
Tableau 27	Répartition des élèves de l'échantillon selon la pratique d'Internet	p. 190
Tableau 28	Répartition des élèves dans les groupes, expérimental et témoin, selon la pratique Internet	p. 191
Tableau 29	Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la pratique d'Internet	p. 191
Tableau 30	Répartition des élèves de l'échantillon selon la Pratique de Communication	p. 192
Tableau 31	Répartition des élèves dans les groupes, expérimental et témoin, selon la Pratique de Communication	p. 192
Tableau 32	Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la pratique de Communication	pp. 192-193
Tableau 33	Répartition des élèves de l'échantillon selon la Pratique de Loisirs	p. 194
Tableau 34	Répartition des élèves dans les groupes, expérimental et témoin, selon la Pratique de Loisirs	p. 194
Tableau 35	Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la Pratique de Loisirs	p. 194
Tableau 36	Répartition des élèves de l'échantillon selon l'Attitude dominante envers la physique	p. 195
Tableau 37	Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon l'Attitude dominante envers la physique	p. 196
Tableau 38	Répartition des élèves dans les groupes-classes selon l'Attitude dominante envers la physique	p.196

Tableau 39	Répartition des élèves de l'échantillon selon le statut de Redoublant	p. 196
Tableau 40	Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon le statut de Redoublant	p. 196
Tableau 41	Répartition des élèves dans les groupes-classes selon le statut de Redoublant ou non	p. 197
Tableau 42	Répartition des élèves selon la csp du père	p. 197
Tableau 43	Répartition des élèves de l'échantillon selon la catégorie de la csp du père	p. 197
Tableau 44	Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon la csp du père	p. 198
Tableau 45	Répartition des élèves dans les groupes-classes selon la csp du père	p. 198
Tableau 46	Répartition des élèves de l'échantillon selon la csp de la mère	p. 199
Tableau 47	Répartition des élèves de l'échantillon selon la csp de la mère	p. 200
Tableau 48	Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon la csp de la mère	p. 200
Tableau 49	Répartition des élèves dans les groupes-classes selon la csp de la mère	p. 200
Tableau 50	Répartition des élèves selon le lieu d'habitation	p. 200
Tableau 51	Répartition des élèves du groupe expérimental et du groupe témoin selon le lieu d'habitation	p. 200
Tableau 52	Répartition des élèves dans les groupes-classes selon le lieu d'habitation	p. 201
Tableau 53	Répartition des élèves selon le type d'établissement	p. 201
Tableau 54	Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon le type d'établissement	p. 202
Tableau 55	Répartition des élèves dans les groupes-classes selon le type d'établissement	p. 203
Tableau 56	Fréquences des déclarations des élèves sur les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope dans l'échantillon global	pp. 203-204
Tableau 57	Fréquence des déclarations sur les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope	p. 203
Tableau 58	Répartition des enseignants selon les variables les caractérisant	p. 205
Tableau 59	Répartition des élèves de l'échantillon selon leur niveau au départ	p. 205
Tableau 60	Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin niveau au départ	p. 206
Tableau 61	Répartition des élèves dans les groupes-classes selon leur niveau au départ	p. 207
Tableau 62	Répartition des élèves de l'échantillon selon leur progression	p. 207
Tableau 63	Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon leur progression	p. 207
Tableau 64	Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon leur progression	p. 208
Tableau 65	Répartition des élèves de l'échantillon selon leur performance	p. 209
Tableau 66	Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon leur performance	p. 209
Tableau 67	Analyse des correspondances multiples entre les variables de contrôle et d'autres variables de l'étude	p. 210
Tableau 68	Récapitulatif des données relatives à la pratique de la démarche d'investigation POE	p. 210
Tableau 69	Occurrences des variables effets-clés de la pratique pédagogique de chaque enseignant dans le groupe classe expérimental et le groupe classe témoin	p. 210
Tableau 70	Nombre d'occurrences des indicateurs de comportement de chaque groupe-classe	pp. 212-213
Tableau 71	Indicateurs d'utilisation du simulateur d'oscilloscope par enseignant	p. 214
Tableau 72	Indicateurs des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope	p. 215
Tableau 73	Comparaison de l'équivalence des niveaux des expérimental et témoin avant l'expérimentation	pp. 216-217
Tableau 74	Comparaison de l'équivalence des niveaux des expérimental et témoin après l'expérimentation	pp. 218-219
Tableau 75	Résultats du test de Wilcoxon de la comparaison de l'équivalence des niveaux au pré-test et au post-test du groupe expérimental	p. 233
Tableau 76	Résultats du test de Wilcoxon de la comparaison de l'équivalence des niveaux au pré-test et au post-test du groupe témoin	p. 233
Tableau 77	Comparaison des moyennes des gains bruts du groupe expérimental et du groupe témoin	p. 235
Tableau 78	Comparaison des moyennes des gains relatifs d'apprentissage du groupe expérimental et du groupe témoin	p. 235
Tableau 79	Corrélation du gain relatif d'apprentissage et du score au pré-test du groupe expérimental	p. 236

Tableau 80	Comparaison des gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves selon leur niveau au départ de l'expérimentation	p. 236
Tableau 81	Comparaison des niveaux des groupes-classes témoins avant l'expérimentation	p. 237
Tableau 82	Comparaison des niveaux des groupes-classes expérimentaux avant l'expérimentation	p. 239
Tableau 83	Progression des groupes-classes témoins entre le pré-test et le post-test	p. 240
Tableau 84	Progression des groupes-classes expérimentaux entre le pré-test et le post-test	p. 242
Tableau 85	Comparaison de l'équivalence des niveaux des groupes-classes de chaque enseignant avant et après l'expérimentation	p. 243
Tableau 86	Comparaison des gains relatifs des groupes-classes expérimentaux et témoins par enseignant	p. 244
Tableau 87	Comparaison des scores au pré-test et au post-test des trois catégories d'élèves selon leur attitude AVANT envers la physique	pp. 244-245
Tableau 88	Comparaison des gains relatifs d'apprentissage selon l'attitude envers la physique des élèves de l'échantillon global avant l'expérimentation	p. 246
Tableau 89	Comparaison des gains relatifs d'apprentissage selon l'attitude AVANT envers la physique des élèves avant et après l'expérimentation	p. 250
Tableau 90	Comparaison des gains relatifs d'apprentissage selon l'attitude envers la physique des élèves du groupe expérimental et du groupe témoin	p. 252
Tableau 91	Effet de l'attitude Avant des trois catégories d'élèves du groupe-classe expérimental et du groupe-classe témoin par enseignant sur le gain relatif	p. 252
Tableau 92	Comparaison des gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves selon leur attitude APRÈS envers la physique	p. 253
Tableau 93	Effet de l'attitude Après envers la physique des trois catégories d'élèves de chaque enseignant du groupe-classe expérimental sur le gain relatif d'apprentissage	p. 254
Tableau 94	Résultats du test d'ANOVA à 1 facteur effectuée sur les gains relatifs d'apprentissage des trois catégories d'élèves du groupe-classe expérimental de l'enseignant E	p. 256
Tableau 95	Comparaison des attitudes Avant et Après envers la physique des élèves du groupe expérimental	p. 257
Tableau 96	Comparaison des nombres d'occurrences des indicateurs de la pratique de la démarche d'investigation mise en œuvre par chaque enseignant dans le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin	p. 258
Tableau 97	Nombres de questions de prédiction et d'explication répondues par les élèves dans les groupes-classes témoins (X) et expérimentaux (Y).	p. 259
Tableau 98	Comparaison des nombres d'occurrences des indicateurs de participation globale du groupe expérimental et du groupe témoin.	p. 263
Tableau 99	Comparaison des nombres d'occurrences des indicateurs de participation globale du groupe expérimental et du groupe témoin.	p. 266
Tableau 100	Comparaison du nombre total d'occurrences des indicateurs de la pratique pédagogique des enseignants dans le groupe expérimental et le groupe témoin	p. 267
Tableau 101	Comparaison des nombres d'occurrences des indicateurs de la pratique pédagogique de chaque enseignant dans son groupe expérimental et dans son groupe témoin	p. 269
Tableau 102	Synthèse des résultats de la recherche	p. 291
Tableau 103	Synthèse du chapitre 7	pp. 318-319

Liste des figures

Figure 1	Schéma présentant les facteurs explicatifs des difficultés d'apprentissage selon une vision systémique de la situation de l'élève. (Source : (Québec (Province) et al., 2003, p. 11).	p. 18
Figure 2	Méthode de travail caractérisée par les 4 étapes d'une démarche d'étude efficace et les stratégies d'apprentissage impliquées, selon Lise Saint-Pierre (1991, p.19)	p. 24
Figure 3	Distinction entre deux mondes, fondée sur la modélisation en physique (Tiberghien & Vince, 2005, p. 4)	p.104
Figure 4	Analyse des savoirs issus des verbalisations ou des gestuelles pour caractériser la mise en relation des concepts entre les deux mondes (Tiberghien & Vince, 2005, p. 7, complété)	p.104
Figure 5	Le simulateur d'oscilloscope et de générateur de basse fréquence (GBF) utilisé pour l'expérimentation	p. 139
Figure 6	Lien d'accès à la session « GR-4èmeA-Apprentissage des caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4ème »	p. 143
Figure 7	Lien d'accès au simulateur d'oscilloscope	p. 143
Figure 8	Enseignement sans simulateur d'oscilloscope en salle de classe (Situation A)	p. 144
Figure 9	Enseignement avec simulateur d'oscilloscope en salle de classe (Situation B)	p. 144
Figure 10	Enseignement avec simulateur d'oscilloscope en salle Informatique (Situation C)	p. 145
Figure 11	Ordre des questions dans le pré-test et le post-test administrés aux élèves	p. 154
Figure 12	Extrait du tableau des relevés des occurrences du cycle POE de la démarche d'investigation (voir tableau complet à l'annexe 0004. NB : Les questions en rouge sont celles répondues par les élèves)	p.178
Figure 13	Variables de discrimination de notre étude	p. 212
Figure 14	Pratique de la démarche POE. ICS Enseignant dans les groupes-classes expérimentaux et témoins	p. 213
Figure 15	Pratique de la démarche POE. SRR dans les groupes-classes expérimentaux et témoins	p. 214
Figure 16	Histogramme des occurrences des actions relatives aux comportements des groupes-classes	p. 216
Figure 17	Graphique présentant la progression du groupe expérimental et du témoin du pré-test au post-test	p. 234
Figure 18	Comparaison des gains relatifs des catégories d'élèves du expérimental et du groupe témoin	p. 239
Figure 19	Diagramme des moyennes des groupes-classes témoins selon le test post hoc LSD	p. 241
Figure 20	Diagramme des moyennes des groupes-classes expérimentaux selon le test post hoc LSD	P. 243
Figure 21	Graphique présentant la progression des groupes-classes expérimentaux et témoins du pré-test au post-test	p. 245
Figure 22	Graphique présentant les gains relatifs des groupes-classes expérimentaux et témoins	p. 247
Figure 23	Graphique présentant les scores au pré-test et au post-test des catégories d'élèves, de l'échantillon global, selon leur attitude AVANT envers la physique	p. 251
Figure 24	Figure 13. Graphique présentant les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves du groupe expérimental et du groupe témoin, selon leur attitude AVANT envers la physique	p. 254
Figure 25	Figure 14. Graphique présentant les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves des groupes-classes expérimentaux et témoins, selon leur attitude AVANT envers la physique	p. 255
Figure 26	Graphique présentant les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves du groupe expérimental selon leur attitude APRES envers la physique	p. 257
Figure 27	Graphique présentant les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves des groupes-classes expérimentaux, selon leur attitude APRÈS envers la physique	p. 258
Figure 28	Graphique présentant la proportion d'attitudes Avant et Après envers la physique des élèves du groupe expérimental	p. 260

Liste des sigles et abréviations

ACE	Adjoint au d'établissement
ACM	Analyses des composantes multiples
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AFD	Agence France Développement
APC	Approche par compétences
APFC	Antenne pédagogique et de la formation Continue
ATCI	Agence des télécommunications de Côte d'Ivoire
AUF	Agence Universitaire de la Francophonie
BEPC	Brevet d'études du premier cycle
C2D	Contrat de désendettement et de développement
CAFOP	Centre d'animation et de formation pédagogique
CCICI	Chambre de commerce et d'industrie de Côte d'Ivoire
CE	Cours élémentaires
CEA	Communauté des États d'Afrique
CEBR	Centre for Economics and Business Research
CEDEAO	Communauté Économique Des États de l'Afrique de l'Ouest
CEPE	Certificat d'études primaires élémentaires
CERTICE/SUP	Certification des compétences tice des enseignants du Supérieur
CM	Cours moyens
CNRTL	Centre national de ressources textuelles et lexicales
CONFEMEN	Conférence des Ministres de l'Éducation des États et gouvernements de la Francophonie
CP	Cours préparatoires
CS	Climat social
DIENA	Délégation interministérielle à l'éducation numérique en Afrique
DPFC	Direction de la pédagogie et de la formation continue
DREN	Direction régionale de l'éducation nationale et de l'enseignement
DRENET	Direction régionale de l'éducation nationale et de l'enseignement technique
DSPS	Direction des Stratégies, de la Planification et des Statistiques
EIAH	Environnement d'apprentissage humain
ENEA	École numérique d'excellence Africaine
ENS	École normale supérieure
EPS	European Physics Society
EPT	Education pour Tous
FAI	Fournisseur d'accès Internet
FOAD	Formation ouverte à distance

GAN	Global Area Network
GESCI	Global E-School and Communities Initiative
ICS	Inquiry cycle score
IDH	Indice du Développement Humain
IET	Implication et engagement dans la tâche
IFADEM	Initiative Francophone pour la formation des maîtres
IGEN	Inspection générale de l'éducation nationale
INI	Indice du niveau d'instruction
IPF	Indice de participation des femmes
IPNETP	Institut Pédagogique National de l'Enseignement Technique et Professionnel
IQCH	Indice qualitatif du capital humain
ISDH	Indice Sexospécifique du Développement Humain
KB	Kilobit
Ko	Kilo-octet
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
MB	Mégabit
MENET-FP	Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement technique et de la formation professionnelle
MESRS	Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
MFS-TST	Model of formative situation for teaching science and technology
Mo	Méga-octet
MOOC	Massive Online Open Course
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ODD	Objectifs du développement durable
OGM	Organisme génétiquement modifié
OIF	Organisation Internationale de la Francophonie
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des nations unies
PASEC	Programme d'analyse des systèmes éducatifs de la confemen
PIB	Produit intérieur brut
PND	Plan national de développement
PNIASE-CI	Programme d'investissement pour l'accès aux services énergétiques en Côte d'Ivoire
PNUD	Programme des nations unies pour le développement
POE	Prédiction - Observation - Explication
PSO	Politique de scolarisation obligatoire
QCM	Question à choix multiples
RER	Renforcement et évaluation des réponses
RITER	Réseau ivoirien de télécommunications pour l'enseignement et le recherche
ROCARE	Réseau Ouest et Centre Africain de Recherche en Education
OGM	Organisme génétiquement modifié

SCM	Stimulation cognitive et motivationnelle
SRR	Student response rate
TAS	Tension alternative sinusoïdale
TB	Téraoctet
TBI	Tableau blanc interactif
TCP/IP	Transport Control Protocol/Internet Protocol
TIC	Technologies de l'information et de la télécommunication
TICE	Technologies de l'information et de la télécommunication à l'école
TNI	Tableau numérique interactif
To	Téraoctet
TP	Travaux Pratiques
UA	Union Africaine
UCP	Université de Cergy-Pontoise
UEMOA	Union Économique et Monétaire de l'Afrique de l'Ouest
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

Introduction générale

La présente recherche porte sur l'utilisation d'un type particulier de technologie de l'information et de la communication (TIC), les simulations informatiques¹, pour l'apprentissage de la physique, un apprentissage que enseignants et élèves trouvent difficile (Venturini, 2004 ; Osborne et al., 2003 ; Milot, 1996 ; Jimoyiannis & Komis, 2001). Elle croise donc deux champs (Etche Ogeli, 2015, p. 11), celui des TIC et celui de la didactique de la physique, dans un contexte d'enseignement-apprentissage.

Peut-on vraiment apprendre la physique avec des simulations informatiques, surtout, dans un contexte comme celui de l'enseignement secondaire en Côte d'Ivoire ?

Les difficultés d'apprentissage de la physique sont une des causes de la désaffection et du désintérêt, des jeunes, pour les études et carrières scientifiques dans presque tous les pays (OCDE, 2016; Déliou, 2014 ; Boilevin, 2013 ; Sane, 2009 ; Bécu-Robinault, 2007 ; Venturini, 2004 ; Osborne et al., 2003 ; Giordan & Girault, 1994 ; Milot, 1996), notamment en Afrique subsaharienne. En Côte d'Ivoire, en 2012-2013, seulement 1,1% des élèves de l'enseignement secondaire général ont été orientés en première scientifique (1^{ère} C) et 1,3% en Terminale scientifique (TC²). Ces proportions sont passées respectivement à 0,9% et 0,8%, en 2016-2017 (Rapport MENET-FP, 2017). Pourtant, l'Afrique subsaharienne, et la Côte d'Ivoire, en particulier, ont besoin d'un grand nombre de techniciens et d'ingénieurs pour leur développement économique et social³ (ONU, 2005), en vue d'atteindre les objectifs du développement durables définis par l'ONU pour 2030 (UNESCO, 2017).

La physique, selon A. Einstein (éd. 1990, pp 77-96) cité par Milot (1996, p. 100), est composée d'un groupe de sciences de la nature qui basent leurs concepts sur des mesures, et dont les concepts et les propositions se prêtent à être formulés mathématiquement. Les difficultés de son apprentissage résident au niveau de la compréhension de ces concepts d'après plusieurs travaux en didactique sur les conceptions et les représentations mentales des élèves (Borst, 2016 ; Nguessan, 2016 ; Jemaa & Boilevin, 2016; Mazouze & Lounis, 2015 ; Masson & Brault Foisly, 2012 ; Kouakou-Innocent, 2010 ; Canal, 2007 ; Tiberghien & Vince, 2005 ; Gaidoz et al., 2004 ; Jimoyiannis & Komis, 2001). Il ressort de ces travaux que ces conceptions, qualifiées de naïves ou alternatives, sont un ensemble de croyances et d'intuitions, que les

¹ Dans l'ensemble de ce document, l'emploi des termes tels que simulations, simulateurs, expérimentation virtuelle, laboratoire virtuel, renvoie au même sens que celui de simulation informatique.

² Les classes de première C et de Terminale C sont des classes de la série scientifique mathématique & Physique-chimie, ou série C, dans le système éducatif en Côte d'Ivoire.

³ En 2005, l'Organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), notait, pour l'Afrique Subsaharienne, un (01) scientifique ou un (01) ingénieur pour dix mille (10.000) habitants contre 20 à 50 scientifiques ou ingénieurs pour 10.000 habitants pour les pays développés, un retard scientifique et technologique considérable au niveau mondial, avec seulement 1,1% de chercheurs, et un besoin en services d'énergie modernes pour 92% de la population en zone rurale, et 48% en zone urbaine. En Côte d'Ivoire, en 2011, sur une population de près de 21 millions d'habitants, ce sont 4 millions et demi de personnes, dont 67% en zone rurale, qui n'avaient pas accès à l'électricité (Rapport PNIASE-CI, 2012).

élèves utilisent pour décrire, interpréter et expliquer les phénomènes de la nature, des conceptions basées sur leurs expériences de la vie quotidienne. Elles sont souvent incompatibles avec les connaissances et les théories scientifiques selon les auteurs.

Pour Tiberghien & Vince (2005), Gaidioz et al. (2004) et Buty (2003), l'une des causes de la difficulté qu'éprouvent les élèves dans la compréhension des concepts de la physique, est le fait qu'ils n'arrivent pas à faire le lien entre les notions et concepts qui leur sont enseignés, et les objets et événements du monde physique. L'un des rôles des expérimentations de laboratoire, à l'école, est d'amener les élèves à observer et manipuler les phénomènes afin de comprendre les notions et les concepts qui les sous-tendent et qui permettent de les expliquer (Marzin et al., 2007, p. 265). Car en effet, l'activité de mise en relation des concepts avec le monde physique, met en tension deux registres, celui des modèles et le registre empirique (ibid., p. 265). Lhoste (2006, p. 83) précise que « *le registre empirique contient des objets, des phénomènes et des expériences quotidiennes. Il contient les éléments que l'on peut vérifier par une observation, une mesure. Les éléments du registre empirique correspondent à « ce qu'il y a à expliquer (...)* » (Marzin et al., 2007, p. 265).

Les expériences pratiques dans les sciences expérimentales et d'observation (physique, chimie, biologie) (Académie des sciences, 2004, p. 3), pour et par les apprenants, sont donc indispensables pour l'apprentissage des concepts de ces disciplines car elles leur permettent de mieux conceptualiser les savoirs et procédures à acquérir (Sall & Kane, 2007, p. 140). Leur pratique pourrait contribuer à améliorer la compréhension de la physique et à faire baisser les taux d'échec élevés en sciences dans les pays africains (Ivowi, 2001 cité par Tessa, 2012, p. 1). Malheureusement, les établissements d'enseignement, au supérieur comme au secondaire, manquent de laboratoires et de matériel d'expérimentation (Sane, 2009, p. 67). Quand ils existent, ils sont obsolètes ou non fonctionnels (Demba, 2013 ; Sall & Kane, 2007). Une situation qui explique, selon le Secrétaire Exécutif de la Commission économique pour l'Afrique (CEA), au 8^{ème} sommet de l'Union africaine, à Addis-Abeba en janvier 2007, la baisse de la qualité de l'enseignement en science et technologie sur le continent.

Les simulations informatiques ont été utilisées en didactique dès les années 1980s (Greca et al., 2014, p. 2), dans les pays du Nord, à la faveur de la proposition d'introduire l'informatique dans l'enseignement scientifique pour soutenir la pratique expérimentale (Beaufils & Richoux, 2003, p. 11). Dans les années 1970 déjà, elles avaient fait l'objet d'intérêt, concernant les cours de physique, pour des auteurs comme Bork & Peckham (1971, p. 3) et Hughes Williams Rodney (1973)⁴.

De nombreux travaux (Droui, & El Hajjami, 2014 ; Greca et al., 2014 ; Lara Kathleen Smetana & Bell, 2012 ; Sarabando et al., 2016 ; Bork & Peckham, 1971) rapportent que les simulations informatiques offrent des avantages indéniables pour l'apprentissage des sciences. Elles permettent, selon les auteurs, de simplifier les systèmes physiques étudiés pour amener les élèves à se focaliser sur les informations critiques liées au concept étudié (Droui, & El Hajjami, 2014 ; Landriscina, 2013), de servir d'alternative aux expérimentations difficiles ou

⁴ Sujet intitulé « *A study of the use of computer simulated experiments in the physics classroom* »

impossibles à réaliser dans un laboratoire scolaire, soit parce que très dangereuses, coûteuses, trop lentes, trop rapides ou simplement impossibles, comme celles relatives aux phénomènes de l'espace ou de l'Univers (Greca et al., 2014 : 898 citant Doerr, 1997 ; Hsu & Thomas, 2002 ; Hennessy, 2006). Elles permettent aussi d'activer les connaissances de base (observer, mesurer, prédire) et les connaissances procédurales intégrées à la démarche scientifique (contrôle de variables, hypothèse, interprétation des données, formulation et expérimentation de modèles) (Beaufils & Richoux, 2003 ; Graca et al, 2014 ; Padilla et al., 1990 cités par Droui & Hajjami, 2014). Dans ce sens, elles se présentent comme des outils d'investigation scientifique permettant d'explorer les phénomènes (hypothèse, expérience, observation, données, conclusion), afin de vérifier les hypothèses émises par les élèves, et les théories scientifiques. Elles seraient également utiles aux élèves avant, pendant et après les Tavaux Pratiques (TP) (Frising & Cardinael, 1998, pp. 115-116). Avant, elles permettraient, selon les auteurs, de préparer le TP avant sa mise en œuvre. Ainsi les élèves découvrent, par anticipation, d'une façon ludique, le matériel d'expérimentation et son fonctionnement. Pendant la réalisation du TP, elles permettraient aux élèves de savoir, par la visualisation, si le résultat de l'expérimentation du laboratoire est bon ou pas, favorisant ainsi le développement de leur esprit critique. Après le TP, elles permettraient, dans le cadre d'un travail individualisé, la continuité de l'activité expérimentale, hors classe, le temps du cours étant limité (Frising & Cardinael, 1998, p. 116). Elles permettraient même de gagner du temps pendant le cours, par exemple, en réduisant la durée de la séance en laboratoire (McKinney, 1997 ; Kennepohl, 2001 cités par Droui, & El Hajjami, 2014), voire, en classe entière, le temps du discours pédagogique par l'utilisation d'un vidéo projecteur (Demba, 2013, pp. 12, 35). Un autre avantage, selon les écrits, serait que les simulations informatiques permettent, grâce à la visualisation du résultat de la manipulation sous diverses formes de représentation à la fois (images, animations, graphiques, données numériques) (Cholmsky, 2003 cité par Droui, & El Hajjami, 2014 ; Frising & Cardinael, 1998), de contourner les formulations mathématiques, parfois lourdes, visant à établir le lien entre la théorie et les résultats expérimentaux (Greca et al., 2014, p. 17) ; (Frising & Cardinael, 1998, p. 118). Pour d'autres auteurs, les expérimentations numériques (Colonna, 1993) peuvent même remplacer les expérimentations de laboratoire (Hughes, 1999; Humphreys, 2004 ; Norton & Suppe, 2001 cités par Greca et al., 2014), notamment en ce qui concerne les activités qui exigent des interactions cognitives, hormis les interactions psychomotrices ou physiques (goût, odeur, contact physique, ...) (Choi et Gennaro, 1987 cités par Droui & El Hajjami, 2014). Pour Beaufils & Richoux (2003), elles constituent un pont cognitif, en tant que modèles intermédiaires, entre les modèles théoriques et les manifestations physiques des phénomènes.

Malheureusement, les simulations informatiques ne présentent pas que des avantages. Elles ont aussi des limites, pour ne pas parler d'inconvénients. En effet, pour Guala (2005) et Morgan (2003) cités par Greca et al. (2014), les expérimentations numériques ne sont pas comparables aux expérimentations de laboratoire car elles manquent de « matérialité ». Dans ce sens, elles ne permettent pas de ressentir certains phénomènes naturels (Winn et al., 2006, p. 13), tels que la sensation de chaud, de froid, ou l'odeur, par exemple. Elles peuvent donc présenter une vision simpliste de la réalité simulée (Droui & El Hajjami, 2014 ; Greca et al., 2014), voire être dangereuses pour l'apprentissage (Colonna, 1993, pp. 91-92). Le fait que les

simulations permettent de réaliser des expérimentations de laboratoire trop lentes ou trop rapides, en accélérant ou en diminuant le temps, peut induire les élèves en erreur sur le fonctionnement de la science (S. Kan, 2008 ; Colonna, 1993). Pour les simulations très réussies, les utilisateurs peuvent, également, être amenés à confondre le phénomène cible simulé avec la simulation réalisée (Hebenstreit, 1992 cité par Droui & El Hajjami, 2014). Citant Mark (1982), Droui et El Hajjami (2014) signalent que le fait d'abandonner certains facteurs, en ne retenant que les facteurs considérés comme essentiels pour la conception des simulations, expose les élèves au risque de perdre de vue des facteurs importants caractérisant le comportement du système cible.

Les limites des simulations renvoient à des problèmes d'ordre épistémologique importants pour l'enseignement et l'apprentissage des sciences (Greca et al., 2014, pp. 8-15). Ces problèmes, dont nous donnons plus de détails dans l'état de la littérature, portent, notamment, sur la crédibilité des modèles des systèmes physiques ou des phénomènes naturels étudiés par simulation, leur [les simulations] statut en tant que modèles dans la construction des connaissances, le sens des « expérimentations » et celui de l'objectif des explications, et enfin la validité des connaissances qu'elles génèrent. Les réactions de certains auteurs montrent que ces problèmes n'empêchent pas les simulations d'être crédibles (Cartwright, 1983, 1999 ; Sismondo, 1999 ; Hacking 1983 ; Winsberg, 1999 ; Packer, 2009 cités par Greca et al., 2014). Pour d'autres, par contre, leurs modes de conception et de développement, pouvant recourir à des artifices (Greca et al., 2014, p. 9), ne permettent pas de garantir que les résultats qu'elles produisent sont fiables.

Les recherches en didactique mettent donc en lumière, deux positions opposées sur l'impact de l'utilisation des simulations informatiques dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences, la physique en particulier. La première position concerne les études empiriques, sur l'amélioration des conceptions des élèves et étudiants, par exemple, dans presque tous les domaines d'enseignement de la physique au secondaire- mécanique (Sarabando et al., 2016 ; Spodniakková Pfefferová, 2015 ; Sarabando, Cravino, & Soares, 2014 ; Droui & El Hajjami, 2014 ; Jimoyiannis & Komis, 2001 ; Zietsman et Hewson, 1986), électricité (Droui, & El Hajjami, 2014 ; Kollöffel & Jong, 2013 ; Chen et al., 2013 ; Ünlü & Dökme, 2011 ; Farrokhnia & Esmailpour, 2010 ; Z. C. Zacharia, 2007 ; Fraga et al., 2006; Jaakkola & Nurmi, 2004), optique (Olympiou & Zacharia, 2012 ; Buty, 2000 ; 2003 ; Frising & Cardinael, 1998), thermodynamique (Zacharias C. Zacharia, Olympiou & Papaevripidou, 2008 ; Chauvet & Duprez, 2003). Ces études ont montré, dans certains cas, l'existence d'une différence significative entre les gains d'apprentissage des élèves ayant été enseignés avec l'aide d'une simulation informatique, et ceux de leurs pairs ayant été enseignés sans l'aide de cette simulation informatique. Cette différence de résultats a été attribuée à la simulation utilisée, par l'effet qu'elle aurait produit sur l'apprentissage. Pour le second groupe d'auteurs, il n'y a aucune différence significative entre les gains d'apprentissage réalisés dans une situation d'enseignement utilisant une simulation informatique par rapport et ceux réalisés dans une situation d'enseignement sans technologie. Dans d'autres cas, le gain d'apprentissage serait même nul, selon Thomas & Hooper (1991) cités par Droui & El Hajjami (2014).

De manière plus générale, pour Russell (2001), qui a analysé plus de 355 articles sur l'utilisation des TIC dans l'enseignement, il n'y a pas de différence significative entre un

enseignement utilisant les TIC et un enseignement traditionnel. Avant lui, Richard E. Clark (1994, p. 21) déclarait, dans son article, *Media Will Never Influence Learning*, que les médias technologiques ne sont que de simples véhicules de contenus d'information. Selon lui, ils n'influencent pas directement le rendement des élèves, pas plus qu'un camion, qui livre nos vivres, ne provoque des changements dans notre alimentation. Pour lui, les bons résultats, constatés à l'issue d'un apprentissage avec les TIC, sont à attribuer à l'efficacité de la pédagogie mise en œuvre par l'enseignant et non à l'outil technologique. La méta-recherche, faite par Christine Barrette sur les effets de l'intégration des TIC en pédagogie collégiale, révèle également qu'il y a beaucoup plus d'interventions avec les TIC qui présentent des effets nuls, voire parfois négatifs (Barrette, 2009, p. 19) que d'interventions à effets positifs. Joy et Garcia (2019, p. 35-36) mettent même en doute les résultats de plusieurs travaux rapportant des effets positifs de l'utilisation des technologies sur l'apprentissage, à travers une analyse de la méthodologie de recherche de ces travaux.

En définitive, il ressort de plusieurs travaux que les simulations sont certes des applications puissantes et utiles pour la compréhension des concepts scientifiques (Greca et al., 2014 ; Colonna, 1993), mais les effets de leur utilisation, dans l'enseignement et l'apprentissage, dépendent des interactions entre l'enseignant, l'apprenant, la nature du contenu, et la simulation utilisée (Sarabando et al., 2016, p. 112). Pour Karsenti (2003, p. 26), le contexte pédagogique dans lequel se déroulent les activités d'enseignement et d'apprentissage, avec les TIC, est aussi déterminant. De nombreuses variables sont alors indexées. Du côté de l'enseignant, il s'agit notamment de la manière dont il les utilise (Greca et al., 2014, p. 16), (Colonna, 1993, pp. 92-93), de ses compétences pour leur mise en œuvre, de la méthode d'enseignement pratiquée, et du moment de leur utilisation (Spodniakovà Pfefferová, 2015, p. 281). Du côté des élèves, il s'agit, non seulement de la manière dont ils interagissent avec elles mais également de leur engagement dans l'apprentissage (Karsenti), de leurs connaissances antérieures, leurs aptitudes, leurs styles d'apprentissage, et leur familiarité avec les technologies (Joy & Garcia, 2019, p. 36). Du côté du contenu, il est nécessaire que la langue du contenu soit la langue d'enseignement (Spodniakovà Pfefferová, 2015, p. 281), et que l'utilité de ce contenu soit avérée (Tricot et al., 2003, p. 391).

Le contexte de l'enseignement secondaire en Côte d'Ivoire est caractérisé, entre autres, par une insuffisance de salles de classes, un manque de matériel de laboratoire, une massification des élèves dans les salles avec des effectifs allant, parfois au-delà de 100 élèves, et un programme d'enseignement avec des volumes horaires réduits (MENET-FP, 2014). C'est dans ce contexte que se déroulent, le plus souvent, l'enseignement de la physique, en classe entière, avec une approche expositive (Sane, 2009, p. 70), en général.

Pour lutter contre les difficultés liées au processus d'enseignement-apprentissage en sciences et technologie, Courtillot et Ruffenach (2006, p. 6) préconisent de modifier les pratiques d'enseignement. Dans ce sens, l'usage des TIC (OCDE, 2016 ; Karsenti, 2016) en classe, semble être une bonne opportunité car celles-ci favoriseraient la motivation, l'attention et la mémorisation (Karsenti, 2008), des piliers de la réussite d'un apprentissage, selon des études en neurosciences (Dehaene, 2013; 2014; Meunier, 2014; Auclair et al., 2006 cités par Squillaci, 2017, 6), en psychologie (Lieury & Fenouillet, 2013 ; Quinton & Chassagne, 2012), et en didactique (Arkhurst, N. P, 2012 ; Berthon, 2007).

Nous nous proposons donc de réfléchir, à la problématique de l'impact de l'utilisation des simulations sur la compréhension des élèves concernant les concepts de physique, à l'issue d'un enseignement en classe entière, dans l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire. Leur utilisation a été fortement recommandée, dans les programmes éducatifs de certains pays comme la France (Milot, 1996, Sarmant, 2000) cités par Demba (2013, p. 35).

Très peu d'études ont été menées sur l'utilisation des simulations en physique en classe entière (Rutten et al., 2015 ; Lara K. Smetana & Bell, 2014). Ces études, réalisées avec de petits groupes d'effectifs (de 7 à 22 élèves) en Hollande, par exemple (Rutten et al., 2015), rapportent que l'utilisation des simulations en classe entière favorise aussi l'apprentissage comme en petits groupes. Nous n'avons pas rencontré de telles études en contexte Africain, en général, ni en Afrique francophone au sud du Sahara, encore moins en Côte d'Ivoire. Les seules études, en notre connaissance, relatives à l'utilisation des simulations dans l'enseignement et l'apprentissage en physique-chimie, sont l'étude exploratoire que nous avons réalisée, en 2013, sur les représentations des enseignants concernant l'usage de la simulation en physique-chimie au secondaire en Côte d'Ivoire (Demba, 2013), et celle de Ze (2017) sur la motivation des élèves, en classe de 3^{ème} au Cameroun, avec 10 élèves répartis en 5 binômes.

En l'absence de travaux de référence africaine, au sud du Sahara, la présente étude est une recherche quasi-expérimentale empirique, exploratoire. Une étude multi-cas multi-sites qui concerne l'apprentissage des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, en classe de 4^{ème}, au cours d'un enseignement officiel utilisant un simulateur d'oscilloscope, en classe entière. Nous cherchons à répondre à la question suivante :

Comment utiliser le simulateur d'oscilloscope, en classe entière, et dans quelles conditions, pour favoriser la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4^{ème}, au collège en Côte d'Ivoire ?

La connaissance des éléments de réponse à cette question de recherche permettra, dans une institution de formation des enseignants des lycées et collèges comme l'école normale supérieure d'Abidjan, de disposer d'indicateurs de terrain pour une meilleure formation des futurs professeurs de physique-chimie, à l'intégration des simulations informatiques, en tant que TIC, dans leur pratique d'enseignement, telle que recommandée par l'État⁵ de Côte d'Ivoire. Pour mener cette étude, nous formulons l'hypothèse principale suivante :

Le simulateur d'oscilloscope favorise la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, en classe entière lorsque l'enseignant l'utilise selon une démarche d'investigation POE, dans une approche socioconstructiviste, à travers une pédagogie d'apprentissage, et dans des conditions d'utilisation définies.

De façon plus spécifique, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope favorisera la compréhension des concepts de fréquence et période si :

⁵ Décret n° 2012-894 portant introduction dans l'enseignement d'une discipline dénommée Technologies de l'Information et de la Communication, en abrégé TICE, et fixant les conditions d'accès aux fonctions de Professeurs de Lycée et Collège de TICE (Journal Officiel N°15 du jeudi 11 avril 2013)

- 1) L'enseignant l'utilise selon une démarche d'investigation POE⁶ (Rutten et al., 2015), au bon moment (Spodniakovà Pfefferová, 2015), en adéquation avec la manipulation du simulateur.
- 2) L'attitude des élèves, au départ, envers la discipline est favorable à l'apprentissage (Venturini, 2004),
- 3) Les groupes-classes expérimentaux s'impliquent dans la pratique de la démarche POE par l'enseignant (Rutten et al., 2015)
- 4) La pratique pédagogique de l'enseignant amène le groupe-classe à participer à la séquence d'enseignement (Altet et al., 2015)
- 5) L'enseignant amène les élèves à faire le lien entre les concepts et les événements du quotidien (Tiberghien & Vince, 2005),
- 6) Les conditions de déroulement du cours (occupation de la salle de classe, température de la salle, qualité de la projection vidéo) sont propices au contexte pédagogique (Karsenti, 2008).

L'objectif de ce travail est de comprendre les facteurs qui peuvent favoriser la compréhension des concepts de fréquence et période, en classe de 4^{ème}, dans une situation d'enseignement utilisant un simulateur d'oscilloscope, en classe entière, à partir d'une analyse comparative des gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes participant à l'étude, et d'une analyse des relations entre ces gains relatifs d'apprentissage et les variables liées aux élèves, puis de celle des relations entre les variables liées aux élèves et celles liées à l'enseignant, ainsi que l'analyse des conditions du déroulement du cours.

Il s'agit, plus concrètement, de :

- 1) comparer les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes ayant été enseignés avec l'aide du simulateur d'oscilloscope avec ceux des groupes-classes enseignés sans le simulateur ;
- 2) déterminer la relation existant entre les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes et les attitudes des élèves envers la discipline, prédicteurs de leur engagement dans l'apprentissage (Venturini, 2004, p. 1) ;
- 3) déterminer la relation entre les gains d'apprentissage et l'implication des groupes-classes dans la démarche d'investigation POE ;
- 4) déterminer la relation entre l'implication des groupes-classes dans la démarche d'investigation et la pratique de la démarche d'investigation de l'enseignant ;
- 5) déterminer la relation entre les gains d'apprentissage et le niveau de participation des groupes-classes ;
- 6) déterminer la relation entre le niveau de participation des groupes-classes et le niveau de pratique de la pédagogie d'apprentissage de l'enseignant ;
- 7) déterminer les perceptions des élèves et des enseignants concernant les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope.

⁶ POE=Prédiction Observation Explication

Nous avons mobilisé un cadre théorique multi-référencé, englobant la théorie des deux mondes (Tiberghien & Vince, 2005 ; Buty, 2003), la théorie d'action conjointe en didactique (Sensevy, 2008, 2012), les connaissances de référence sur les attitudes des élèves envers la sciences (Le Hebel et al., 2014 ; Venturini, 2004 ; Thompson & Shrigley, 1986), la théorie de médiation et de médiatisation d'un contenu, et enfin la théorie d'utilité et d'utilisabilité d'un Environnement Informatique d'Apprentissage Humain (EIAH) (Tricot et al., 2003), afin de déterminer les indicateurs clés de nos variables, et des outils pour collecter des données, aussi bien quantitatives que qualitatives pour notre analyse.

Cette thèse est organisée en sept chapitres. Le premier chapitre porte sur le contexte et la justification de l'étude. Il présente notamment l'importance de la physique pour le développement économique et social de la Côte d'Ivoire, le système éducatif ivoirien et la place de l'enseignement de la physique, les facteurs explicatifs des difficultés d'apprentissage en général et de la physique en particulier, et enfin la place des TIC dans l'éducation en Côte d'Ivoire.

Le deuxième chapitre présente la revue de la littérature sur ce qu'est une simulation informatique, ses avantages et ses inconvénients pour l'enseignement et l'apprentissage en science, les problèmes épistémologiques qu'elles soulèvent, les méthodologies de l'évaluation de leur impact, et enfin les conditions favorisant l'intégration des TIC dans la pédagogie, en général, et de celle des simulations informatiques en particulier.

Le troisième chapitre aborde la problématique de notre recherche. Il présente, d'abord, les faisceaux de résultats de recherche, les éléments du contexte de l'enseignement lié à la leçon de notre étude de cas, puis les questions, les hypothèses et les objectifs de la recherche.

Le quatrième chapitre présente le cadre théorique de référence que nous avons mobilisé. Dans un premier temps, il aborde une clarification conceptuelle des termes de l'intitulé de notre objet de recherche. Dans un deuxième temps, il présente les théories qui nous ont permis d'identifier des indicateurs clés permettant de traiter nos hypothèses de recherche. Dans un troisième temps, il décrit les variables (dépendante, indépendante, de contrôle) de notre étude, et en dernier lieu le plan de ces variables.

Le cinquième chapitre porte sur la méthodologie que nous avons adoptée pour mener notre étude exploratoire multi-cas, multi-site, en contexte naturel, au sens de Baribeau (1996, p. 585)⁷. Il présente la pré-étude effectuée, le terrain de l'expérimentation vraie grandeur, les participants, les outils de collecte des données (questionnaires, observation, entretiens semi-directifs, entretiens de groupe avec la classe), et les outils et méthodes de traitement statistique.

⁷ Ce contexte traduit la « réalité » du terrain permettant d'obtenir des informations « vraies ». Dans ce contexte, la leçon que nous avons choisie pour réaliser notre étude de cas se fait en une seule séance dans l'année, selon le programme officiel de la classe et la progression des leçons fournies par le Ministère de l'éducation nationale. Pour espérer avoir différentes situations à analyser, il nous a fallu recourir à plusieurs établissements afin de pouvoir disposer de plusieurs classes d'expérimentation. De plus, nous avons laissé le libre choix aux enseignants, expérimentés pour la plupart, d'intégrer l'utilisation du simulateur, comme bon leur semblait, dans le déroulement de la leçon, dans le but de voir émerger de leurs pratiques individuelles, des pratiques auxquelles nous n'aurions jamais pensées (Karsenti et al., 2002, p. 466).

Le sixième chapitre concerne les résultats de l'étude. Il présente, d'abord, les données obtenues par outil de collecte, puis les résultats de l'étude, organisés selon nos hypothèses de recherche.

Le septième chapitre porte sur les discussions de nos résultats par rapport à nos hypothèses de recherche, mais également par rapport aux résultats de recherches antérieures.

Une conclusion récapitule l'objectif général de l'étude, ses principaux résultats, ses limites, et les perspectives de recherches futures.

Chapitre 1 – Contexte et justification de l'étude

« Les connaissances scientifiques qui ont triomphé dans l'histoire doivent leur triomphe tout autant à l'intérêt qui leur a été porté par les acteurs potentiellement impactés par ces connaissances que pour leur valeur intrinsèquement épistémologique (...). » (Lapostolle & Mabilon-Bonfils, 2020, p. 2)

Ce chapitre est structuré en quatre sections. Il présente d'abord la Côte d'Ivoire, ses enjeux socioéconomiques et le rôle que la physique pourrait y jouer. Il présente ensuite les facteurs expliquant les difficultés d'apprentissage de la physique, et enfin l'intégration des TIC dans l'éducation pour aider à la compréhension de la physique.

1.1. Présentation de la Côte d'Ivoire : enjeux de développement socioéconomique et place de la physique

1.1.1. Enjeux socioéconomiques de la Côte d'Ivoire

1.1.1.1. Situations géographique, démographique et économique de la Côte d'Ivoire

La Côte d'Ivoire est un État laïc situé en Afrique de l'Ouest. Elle s'étend sur une superficie de 322 462 kilomètres carrés limitée par le Mali et le Burkina Faso au Nord, le Libéria et la Guinée à l'Ouest, le Ghana à l'Est et l'océan atlantique au Sud. (*Voir carte en annexe A3*). Elle comporte 14 districts, 30 régions, 95 départements, 243 sous-préfectures et 197 communes. Cinq groupes ethniques, représentant 70 langues nationales y cohabitent. Mais le français est la langue officielle de l'État et la langue d'enseignement à l'école, vu que le pays a été protectorat français de 1843 à 1893, avant d'être indépendant par rapport à la France le 07 août 1960. La langue étant utilisée pour vérifier le degré de compréhension des savoirs par les élèves (Simard, 2001, p. 32), l'usage du français à l'école constitue donc une donnée importante en ce sens que la non maîtrise du français, au milieu de ces 70 langues locales, pourrait être un facteur défavorable pour l'apprentissage.

La population de la Côte d'Ivoire est estimée, en 2017, à 24 294 750 habitants (*voir annexe A4, figure 4*), avec une population active composée de 42,43% de moins de 15 ans et 54,63% de 15 à 64 ans, selon la Banque mondiale⁸. La population en âge d'aller à l'école (6 à 11 ans) était de 3 353 809 en 2013. Elle augmente d'année en année. Pour le système éducatif

⁸<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.POP.TOTL?locations=CI>

ivoirien, cette augmentation constitue une problématique importante en termes de structures d'accueil et de besoin d'enseignants, vu que ces enfants doivent tous aller à l'école.

Sur le plan économique, la Côte d'Ivoire fait partie de la Communauté Économique des États De l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). Elle est membre de l'Union Africaine (UA), de l'Union Monétaire des États d'Afrique de l'Ouest (UEMOA), et de l'Organisation Internationale de la Francophonie (OIF). Son produit intérieur brut (PIB), en 2017, est 40 39 000 000 USD, d'après la Banque mondiale, avec un PIB par habitant de 1662 USD. Le taux de pauvreté a considérablement augmenté entre 2011 et 2015. En 2015, 46,3% de la population sont en dessous du seuil de pauvreté national avec 1 USD/jour. Cette pauvreté s'observe tant en région urbaine que rurale, mais beaucoup plus en zone rurale où les besoins sociaux de base sont énormes, tels que l'accès à la santé, à l'éducation, à l'eau (hydraulique), et à une agriculture mécanisée (Rapport PNIASE-CI, 2012, p. 5). Ces besoins sociaux de base peuvent trouver solutions grâce aux industries basées sur la physique.

1.1.1.2. De la réduction de la pauvreté

Les difficultés d'accès aux besoins sociaux de base s'expliquent souvent par un faible pouvoir d'achat de la population, traduisant parfois un certain niveau de pauvreté. Dans le cadre de son développement économique et social, la Côte d'Ivoire s'est engagée, lors du Sommet du Millénaire à New York en 2000 (DSRP Gouv.ci, 2009, viii), pour la réduction de la pauvreté, afin d'atteindre les objectifs du développement durable. Cette réduction de la pauvreté devra se sentir au niveau de la longévité et la santé de la population, son savoir, et son niveau de vie, un niveau de vie décent. Ces 3 dimensions constituent l'indicateur (ou indice) de développement humain (IDH) permettant de caractériser le développement d'un pays. L'IDH est l'indicateur le plus utilisé (Altinok, 2007 ; Boulanger, 2004) parmi les indicateurs de développement définis par le programme des nations unies pour le développement (PNUD)⁹. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. En 2017, l'IDH de la Côte d'Ivoire est faible, et vaut 0,49 sur 1. Pour les autres indicateurs, le lecteur pourra se reporter à l'annexe A2 du manuscrit.

Pour réaliser ses objectifs, le pays aspire donc à devenir un pays émergent¹⁰ (PND Côte d'Ivoire, 2015 ; 2016). C'est-à-dire un pays où la qualité de vie tend vers celle des pays développés en termes d'accès à la santé, de sécurité, de gouvernance mais aussi d'ouverture de marché et de conquête de marché extérieur, de sorte que sa part de marché des produits manufacturés puisse s'accroître sur le marché mondial (Sgard, 2008 ; Cortès & Jean, 1996). Cela passe par une industrialisation des secteurs d'activités permettant une économie nationale compétitive, capable de répondre à la demande mondiale, pour assurer une croissance nationale (Lafay, 1976) durable. Pour ce faire, elle peut tirer profit des avantages de la physique au regard de l'implication de l'éducation dans l'économie (Logossah, 1994; Debande & Vincent, 2012 ; Liefoghe, 2010 ; Altinok, 2007).

⁹ <http://ses.ens-lyon.fr/articles/les-indicateurs-de-developpement-du-pnud-47729>

¹⁰ La notion de « *pays émergent* », employée dans le monde de la finance¹⁰ dès les années 1990, désigne les pays en développement ayant une croissance rapide brusque et durable fondée sur l'industrialisation, et l'emploi.

1.1.1.3. Contribution des industries basées sur la physique au développement socioéconomique de la Côte d'Ivoire

La croissance économique d'un pays, et la qualité de vie de la population dépendent du capital humain¹¹, c'est-à-dire de « *l'ensemble des aptitudes, physiques comme intellectuelles, de la main d'œuvre favorables à la production économique* »¹² (Cappelletti, 2010, p. 140). Il s'agit, selon l'OCDE (Keely, 2007, p. 30), des connaissances, des qualifications, des compétences et les autres qualités d'un individu qui favorisent le bien-être social et économique. Le progrès économique et social du pays découle de ce capital humain, stock immatériel d'idées et de connaissances (Keely, 2007 ; Altinok, 2007) ou capital immatériel (Debande & Vincent, 2012), ainsi que de ces ressources naturelles (Albert, 1991).

La science, en général, et la physique en particulier, peuvent contribuer à la construction de ce capital humain « (...) *du fait du rôle de plus en plus grand joué dans la société par les sciences et technologies* » (Sall & Kane, 2007, p. 139). Ce rôle se voit, notamment dans l'économie (cbr, 2013), à travers les industries basées sur la physique. En Europe, par exemple, ces industries ont contribué fortement à l'économie de l'Europe toute entière, et à celles de chaque pays européen, d'après le rapport de cbr (2013). Une contribution majeure qui se traduit par les emplois créés (*Voir graphique à l'annexe A1*). Ainsi, « *la physique a créé plus de 15 millions d'emplois hautement qualifiés en Europe entre 2007 et 2010, soit 13% de l'emploi directement productif. De chacun d'eux découlent 2,7 nouveaux emplois* »¹³ (Fontaine, 2015). Nous attendons par industries basées sur la physique (EPS)¹⁴, « les secteurs de l'économie où l'utilisation de la physique - en termes de technologies et de compétences - est essentielle à leur existence. Cela signifie que les industries considérées sont celles où des travailleurs ayant une formation en physique devraient être employés et où les activités devraient s'appuyer fortement sur les théories et les résultats de la physique pour atteindre leurs objectifs commerciaux ». (*Notre traduction du texte d'EPS, 2013, p. 02*)¹⁵.

Au regard de l'exemple des pays européens, la physique pourrait donc constituer un levier pour le développement socioéconomique de la Côte d'Ivoire. Pour ce faire, il est nécessaire que son enseignement amène les élèves à s'y intéresser.

¹¹ <https://www.oecd.org/fr/lesessentiels/lecapitalhumaincommentlesavoirdeterminernotrevie.htm>

¹² « *Le terme de capital humain trouve son origine dans les travaux des économistes Schultz (1961) et Becker (1964)* » (Cappelletti, 2010)

¹³ www.eps.org/resource/resmgr/policy/EPS_economyExSummary2013.pdf

¹⁴ EPS : European Physical Society

¹⁵ « *Physics-based industries are defined as those sectors of the European economy where the use of physics – in terms of technologies and expertise – is critical to their existence. This means that the industries considered are those where workers with some training in physics would be expected to be employed and where the activities would be expected to rely heavily on the theories and results of physics to achieve their commercial goals* ». (cbr, 2013, p. 02)

1.1.2. Système éducatif ivoirien et l'enseignement de la physique

1.1.2.1. Organisation du système éducatif ivoirien

Le système éducatif de la Côte d'Ivoire comprend globalement quatre ordres ou degrés d'enseignement. Ce sont, l'enseignement préscolaire, l'enseignement primaire, l'enseignement secondaire, et l'enseignement supérieur.

L'enseignement préscolaire concerne les enfants âgés de 3 à 5 ans. Il dure 3 ans. Il comporte trois sections, petite section (PS), moyenne section (MS), et grande section (GS). La scolarisation n'y est pas obligatoire (MENET-FP, 2017a). 65% des établissements préscolaires se trouvent en zone urbaine. Ils accueillent 78% des élèves.

L'enseignement primaire dure 6 ans et concerne les enfants âgés de 6 à 11 ans. Le cycle primaire comprend 3 paliers déclinés en cours préparatoires (CP), cours élémentaires (CE) et cours moyens (CM), avec deux niveaux par cours (CP1, CP2, CE1, CE2 et CM1, CM2). Le cycle primaire est sanctionné par le premier diplôme de l'éducation nationale, le certificat d'études primaires élémentaires (CEPE) et la moyenne au concours d'entrée en sixième. 81% des écoles primaires sont publiques et enregistrent 84% des élèves.

L'enseignement secondaire accueille les enfants de 12 à 18 ans. Il est composé de l'enseignement général, et de l'enseignement technique et la formation professionnelle. L'enseignement secondaire général est divisé en deux cycles. Le premier cycle correspond au collège, avec des enfants âgés de 12 à 15 ans. Il dure 4 ans et comporte quatre classes de niveaux : sixième (6^e), cinquième (5^e), quatrième (4^e), troisième (3^e). Il est sanctionné par le brevet d'études du premier cycle (BEPC) et la moyenne d'entrée en seconde. Le second cycle correspond au lycée. Il concerne les enfants de 16 à 19 ans et comporte huit classes de niveau. Ce sont les classes littéraires (seconde A, première A, terminales A) et les classes scientifiques (seconde C, première C, première D, terminale C, terminale D). Le second cycle est sanctionné par le baccalauréat. L'enseignement secondaire technique et la formation professionnelle comporte deux voies. La première est la voie de l'enseignement technique qui commence après le premier cycle de l'enseignement général. Il part de la seconde à la terminale technique, et sanctionné par le baccalauréat. La deuxième voie concerne les formations qualifiantes en mécanique automobile, électricité automobile, électricité bâtiment, menuiserie, maçonnerie, plomberie, tôlerie, peinture automobile, peinture bâtiment, chaudronnerie, bijouterie, horlogerie avec la micromécanique, couture, etc. Elle reçoit, en général, des élèves de niveaux CM2 à 3^{ème} ayant eu soit des difficultés à suivre le cursus général ou ayant choisi de s'orienter dans un parcours professionnel. Elle est sanctionnée par un certificat de qualification professionnelle (CQP), un brevet d'études professionnelles (BEP) ou un brevet de technicien (BT).

L'enseignement supérieur de la Côte d'Ivoire comporte désormais 3 cycles de formation universitaire: Licence, Master, Doctorat. La licence se fait en 3 ans, le master en 2 ans, et le doctorat en 3 ans. Les formations pour la recherche sont des formations sanctionnées par une licence de recherche, un master de recherche et un doctorat. Après le BAC, cette formation est soit courte (2 ou 3 ans), soit longue (5 ans).

1.1.2.2. Enseignement de la physique dans le système éducatif ivoirien

En Côte d'Ivoire, l'enseignement de la physique¹⁶ est un enseignement transversal, du primaire au secondaire. Il commence au primaire avec la discipline *Sciences et technologie* à partir du niveau Cours élémentaire première année (CE1) (MENET-FP, 2017a) jusqu'au niveau Cours moyen deuxième année (CM2). Il se poursuit dans l'enseignement général dans la discipline *physique-chimie* jusqu'en classe de première dans toutes les séries et en terminales scientifiques. Il est présent dans l'enseignement technique et la formation professionnelle, notamment dans les filières industrielles. Cet enseignement prend tout son sens à travers son importance dans l'industrie et le nombre d'emplois créés ou offerts dans les secteurs basés sur la physique (EPS, 2013). Or aujourd'hui, la réussite professionnelle dépend de la réussite scolaire (Mabilon-Bonfils, 2019), et par conséquent du choix d'orientation de l'individu et des besoins du marché de l'emploi.

Vu que les secteurs d'activités industrielles utilisent des connaissances en physique, l'amélioration de la qualité de l'enseignement de la physique d'une part, et une meilleure articulation de l'enseignement général, et de l'enseignement technique et de la formation professionnelle, de l'autre (Kouadio, 2007), pourrait amener plus d'élèves à embrasser les filières industrielles, surtout que les entreprises industrielles ont fortement besoin de main d'œuvre qualifiée (Mian, 2015).

1.1.3. De la nécessité de mener une étude au niveau collège de l'enseignement général.

1.1.3.1. Donner l'envie aux collégiens de s'orienter dans le domaine des sciences et technique

Plus de la moitié des élèves (54,6%) n'ont pas accès au second cycle de l'enseignement secondaire général (MENET-FP, 2017a). Ils redoublent ou abandonnent leur cursus en classe de 3^{ème}. La classe de 3^{ème}, comme la classe de CM2, se présentent ainsi comme un goulot d'étranglement (Kouadio, 2007). L'amélioration de la compréhension de la physique, nonobstant les lacunes de nombreux élèves arrivant au collège, en français (PASEC, 2016), langue d'enseignement, et en mathématiques (PASEC, 2016) en tant qu'outils utilisés en physique, pourrait permettre à plus d'élèves de rester dans le système. De plus, il pourrait donner l'envie à plus d'élèves de s'orienter vers les sciences et les filières du domaine des sciences et technique. En effet, « *les simulations peuvent permettre aux élèves [...] de surmonter les difficultés de compréhension des phénomènes physiques liées à des connaissances mathématiques et des savoir-faire annexes non maîtrisés (Milot, 1996, Frising & Cardinael, 1998)* » (Demba, 2013).

Le fait de s'orienter dans l'enseignement technique et la formation professionnelle offre l'opportunité, aux élèves concernés, de décrocher un diplôme d'études secondaires; un atout

¹⁶ Voir les programmes et guides d'exécution du primaire et du secondaire

social et économique (Karsenti, 1998), leur permettant d'avoir des chances d'acquérir un emploi dans l'industrie afin d'améliorer leur bien-être.

1.1.3.2. Niveau collège : un choix lié aux contraintes de la recherche

Un environnement informatique d'apprentissage humain (EIAH), n'est pédagogiquement efficace que s'il permet aux personnes d'apprendre ce qu'elles sont censées apprendre (Tricot et al., 2003, p. 391). Nous avons donc choisi d'étudier l'impact du simulateur d'un équipement effectivement recommandé dans le guide d'exécution du programme d'enseignement de la discipline et pour l'enseignement/apprentissage d'un concept précis, en vue d'accorder à ce travail une grande valeur écologique.

Contrairement à l'enseignant du primaire, l'enseignant du secondaire est relativement un peu plus libre dans l'exécution de son programme (Karsenti, 1998, p. 26). Enfin, les jeunes âgés de 12 à 15 ans, correspondant aux années collège (Corroy, 2013, p. 1), utilisent massivement les TIC dans le cadre de leur sociabilité et leur identité (ibid.) ; (Mabilon-Bonfils, 2012), avec un fort investissement dans l'usage du téléphone portable (Corroy, 2013, p. 1). Les échanges qu'ils entretiennent entre eux, le plus souvent en temps réel, « [...] se caractérisent par des modes d'interactions convoquant un nombre plus important de canaux d'échange (texte, voix, vidéo, émoticônes, logos, fichiers [Granjon et al., 2006]) » (Mabilon-Bonfils, 2012, pp. 218-219). Ce qui nous permettrait d'avoir une plus large possibilité de les impliquer dans cette étude qui cherche à voir comment les aider, par l'usage des TIC, à surmonter leurs difficultés de compréhension de la physique ; difficultés dont nous abordons les facteurs explicatifs dans la section qui suit.

1.2. Facteurs expliquant les difficultés de compréhension de la physique

Les facteurs expliquant les difficultés de compréhension de la physique peuvent provenir de diverses sources. Nous les décrivons sous le prisme de l'activité d'enseignement-apprentissage, en tant qu'activité humaine.

1.2.1. Activités d'enseignement-apprentissage, un système complexe d'interactions

Dans un contexte d'apprentissage, l'élève a des interactions avec le savoir, les instruments didactiques, l'enseignant, les autres élèves (groupe d'élèves, et groupe classe), l'administration de l'établissement, l'environnement de l'école, les parents, etc. Tout comme l'enseignant, qui est en interaction avec ses élèves individuellement et collectivement, avec les instruments didactiques qu'il utilise pour médiatiser le savoir, l'administration et l'environnement scolaire, la communauté enseignante, etc. Des interactions sujettes à des contradictions internes aux systèmes d'activités respectifs (Venturini, 2012, p. 130), et objet de tensions. Ces interactions engagent donc plusieurs dimensions (ibid., p. 130). On peut citer, par exemple, les dimensions sociologique, psychologique, culturelle, institutionnelle, matérielle,

d'usage technique des instruments, environnementale, pédagogique, et didactique. Certaines de ces dimensions peuvent expliquer certaines difficultés d'apprentissage en contexte scolaire.

1.2.1.1. Difficultés d'apprentissage, type et définition

Les difficultés d'apprentissage sont « *les difficultés d'un élève à progresser dans les apprentissages en relation avec les attentes du Programme de formation* » (Lapointe, Québec (Province), & Ministère de l'éducation, 2003, p. 3). Ces difficultés sont liées à des troubles de santé neurologique ou non. Le terme « difficultés d'apprentissage » est un terme générique qui désigne donc, à la fois, ce que beaucoup d'auteurs appellent troubles d'apprentissage et difficultés d'apprentissage proprement dites.

1.2.1.2. Troubles d'apprentissage

Les troubles d'apprentissage sont permanents et apparaissent très tôt, en début de scolarité chez près de 2 enfants sur trois par classe (Potvin, 2015, p. 2). Selon Mireille Potvin, ils sont caractérisés par des problèmes dans la façon dont le cerveau reçoit, organise, comprend ou utilise l'information. On peut citer, par exemple, des problèmes neurologiques tels que la dyslexie, la dysorthographe, la dysphasie, la dyscalculie, la dyspraxie, les troubles auditifs, l'autisme (Musial, Pradère, & Tricot, 2012, p. 9). Les troubles d'apprentissage affectent la capacité des enfants à acquérir des connaissances nouvelles. Quels que soient les efforts déployés par ces enfants, et quels que soient l'aide que leur apporte l'enseignant, ces enfants restent démotivés vis-à-vis de l'école, et ont des performances, en général, toujours faibles (Potvin, 2015, p. 2). Ces troubles qui durent la vie entière (Dubé & Rivard, 2009, p. 8), constituent un réel handicap et sont difficiles à éliminer. En revanche, les difficultés d'apprentissage, qui sont des obstacles à l'apprentissage dus à des facteurs socio-affectifs, environnementaux, pédagogiques, et/ou cognitifs, sont passagères et peuvent être corrigées avec le temps et l'aide appropriée, si les facteurs en cause sont identifiés.

1.2.1.3. Difficultés d'apprentissages

Les difficultés d'apprentissage sont souvent temporaires et peuvent apparaître à différentes étapes dans l'apprentissage. Dans ce travail, nous nous intéressons aux facteurs responsables de ces difficultés. Ces facteurs peuvent être classés en trois catégories, dans une perspective d'analyse systémique des difficultés d'apprentissage. Il s'agit des facteurs individuels, des facteurs scolaires et, des facteurs familiaux et sociaux (Lapointe et al., 2003, p. 5 ; Blaya, 2010, p. 2). « *Dans cette perspective, [les difficultés d'apprentissage] sont considérées comme la résultante de l'influence réciproque des caractéristiques personnelles de l'élève et de celles de sa famille, de son milieu social ainsi que de l'école* » (Québec (Province) et al., 2003, p. 10). La figure 1 présente les interactions entre ces trois catégories de facteurs.

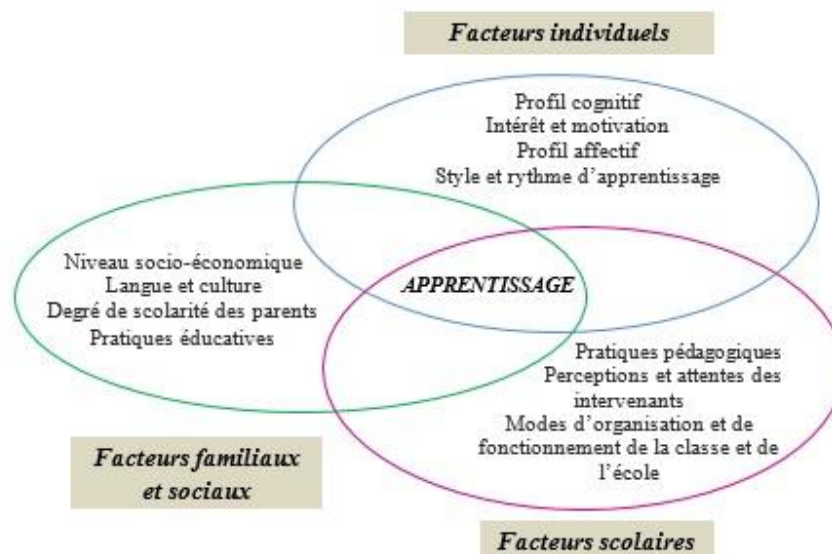


Figure 1. Schéma présentant les facteurs explicatifs des difficultés d'apprentissage selon une vision systémique de la situation de l'élève. (Source : (Québec (Province) et al., 2003, p. 11).

En situation d'apprentissage, la compréhension est le processus d'apprentissage qui conduit à l'élaboration de connaissances déclaratives spécifiques concernant un concept (Musial et al., 2012, p. 5). D'autres processus d'apprentissage existent. Ce sont, selon les auteurs, la conceptualisation, la mémorisation, la procéduralisation, l'automatisation et la prise de conscience (id., p. 12). Ces six processus, la compréhension comprise, sont relatifs à six formats de connaissances que sont les connaissances d'un concept, une représentation, une trace littérale, une méthode, un savoir-faire, et ou un automatisme. Les facteurs expliquant les difficultés de compréhension des concepts de physique ne sont pas exclusifs au processus Compréhension. Ils concernent tous les processus d'apprentissage voire toutes les disciplines. Dans la section qui suit nous présentons, à la lumière de la littérature scientifique, quelques clarifications sur les facteurs pouvant expliquer les difficultés d'apprentissage scolaire ; apprentissage qui se réfère le plus souvent à la compréhension (Perradeau, 2006, p. 16).

1.2.2. Facteurs individuels expliquant les difficultés d'apprentissage

Les facteurs individuels sont des facteurs qui relèvent de l'élève lui-même, en raison de ses caractéristiques personnelles (Québec (Province) et al., 2003) sur les plans affectif, pédagogique, et cognitif, qui font que l'élève (ou le groupe d'élèves) éprouve des difficultés dans l'apprentissage. Ces caractéristiques, ou ces traits qui caractérisent l'élève ou le groupe d'élèves, concernent aussi bien les connaissances, les compétences, les conceptions, que le comportement (Eyssautier, Jean, & Pernin, 2009, p. 2).

1.2.2.1. Sur le plan affectif

Le mot « affectif » renvoie à tout ce qui est lié aux affects, aux sentiments, aux émotions, à la sensibilité, non à la raison (Dictionnaire Larousse en ligne, Le Petit Larousse *illustré*, 2011, p. 18). Le CNRTL le définit en tant que ce qui affecte les réactions de l'être humain c'est-à-

dire des réactions qui affectent la conscience humaine ou des réactions qui affectent le cœur. En ce qui concerne les réactions organiques affectant la conscience humaine, il y a par exemple, les sensations affectives ayant, à postériori, une incidence sur les facultés intellectuelles de l'individu ; des sensations « *capables d'engendrer des images qui persistent ou que l'esprit peut reproduire, après que les objets extérieurs ont cessé d'agir sur les sens.* A. Cournot, *Essai sur les fondements de nos connaissances*, 1851, p. 291. ». Ce qui peut gêner la concentration et par conséquent, l'apprentissage. Mais il y a aussi des réactions qui affectent, ce que les auteurs du CNRTL ont appelé, *la sensibilité élémentaire classificatrice*. Autrement dit, des réactions qui affectent la capacité de l'individu à faire la différence entre le beau et le laid, entre le bien et le mal ou même entre le vrai et le faux. Pour les réactions qui affectent le cœur, il s'agit des sentiments, et des émotions. Affectif désigne donc « *un large domaine qui comprend les sentiments, les émotions, les croyances, les attitudes et qui conditionne de manière significative [le comportement d'une personne]* » (Arnold, 2006, p. 407).

Il ressort de nombreuses études (Blaya, 2010 ; Arnold, 2006 ; Lafortune & Mongeau, 2002) que l'affectivité dans l'apprentissage est un élément important dans la réussite ou l'échec scolaire. Il faut entendre par affectivité, l'ensemble des phénomènes affectifs (émotions, sentiments, passions, etc.) (Petit Larousse *illustré 2011*, p. 19). Au nombre des facteurs affectifs rendant l'apprentissage difficile, il y a l'anxiété, le manque de confiance en soi, le manque de motivation et d'intérêt. Ces facteurs peuvent être dus à des événements particuliers de la vie de l'élève tels que les événements malheureux (deuil, maladie, déménagement, problème de déplacement ou malnutrition pour difficultés économiques, divorce ou séparation des parents, guerre, ...) ou heureux (mariage composé, arrivée d'un nouveau-né, ...), mais aussi à des croyances (Arnold, 2006, p. 418). Pendant ces événements ou avec ces croyances, l'élève vit une situation difficile où il n'est pas disponible pour apprendre (Potvin, 2015, p. 2).

L'anxiété, par exemple, qui est l'expression de sentiments tels que la peur, la frustration, l'insécurité (Arnold, 2006, p. 411), se manifeste souvent à travers une auto-verbalisation de l'individu. Ainsi, « l'apprenant anxieux se parle à lui-même de cette manière : « *Ceci est très difficile... Je n'arriverai jamais à le faire... Ils vont se moquer de moi...* » (Ibid., p. 411). C'est donc un facteur négatif qui inhibe les capacités intellectuelles de l'apprenant et affecte son attitude envers la tâche et, par conséquent, les résultats de ses activités d'apprentissage.

Daniel Martins (1993) rapporte que les travaux de recherche de Mueller (1978, 1979), et de Benjamin, McKeachie, Lin et Holinger (1981), montrent que l'anxiété a un impact négatif sur les performances scolaires des sujets anxieux par rapport à celles des sujets non anxieux. L'état de l'art effectué par Viau (1995) sur l'anxiété, mais aussi des travaux plus récents sur la question confirment cette thèse (Gosselin & Ducharme, 2017 ; Vignoli & Mallet, 2012 ; Embse & Hasson, 2012 ; Owens, Stevenson, Hadwin, & Norgate, 2012 ; Beauchemin, Hutchins, & Patterson, 2008). Les élèves qui développent en permanence des traits d'anxiété manquent de confiance en eux-mêmes et présentent souvent une baisse d'estime de soi.

Pour Oxford (2000, p. 85) cité par (Arnold, 2006, p. 414), traitant de la question de l'apprentissage des langues, il faut faciliter l'estime de soi et la confiance en soi de ces élèves, afin de leur permettre de réussir leur apprentissage. L'estime de soi, telle que définie en psychologie sociale, est « *la valeur que [l'individu s'accorde, s'il s'aime ou ne s'aime pas,*

s'approuve ou se désapprouve] » d'après Rosenberg (1979) dans (Martinot, 2001, p. 484). Ce qui, selon les psychologues sociaux, est d'une grande importance pour l'individu, en ce qui concerne son bien-être psychologique et physique. C'est cette perception de soi-même qui amène l'individu à censurer à tort ou à raison des informations qu'il croit susceptibles de nuire à son estime de soi. Comme le dit Arnold (2006, p. 415), un élève qui a une estime de soi basse va refuser de faire l'effort nécessaire à l'apprentissage parce qu'il va croire qu'il en est incapable. Ainsi, Martinot rapporte que les travaux de Bandura (1982; 1997), établissent qu'il existe un lien important entre ce qu'un individu pense de lui-même dans un domaine (sa perception d'auto-efficacité) et sa performance dans ce domaine. C'est le cas, par exemple, dans le domaine des mathématiques et des sciences, où des études montrent que de nombreux élèves ont des réactions affectives négatives (anxiété ou manque de confiance en soi) dans ces disciplines (Lafortune & Deaudelin, 2003, p. 61).

L'anxiété, le manque de confiance en soi, et ou les croyances conduisent souvent l'élève à adopter une attitude négative envers la discipline ou l'objet de son apprentissage (Arnold, 2006 ; Lafortune & Deaudelin, 2003). Selon Secord et Backman (1964) cités par Arnold (2006, p. 418), les attitudes à l'égard de quelque chose, un objet d'intérêt, ont trois composantes : une composante *affective*, une composante *conductiste*, et une composante *cognitive*. La composante affective réfère aux sentiments de l'individu envers cet objet. La composante conductiste traduit les comportements manifestés vis-à-vis de cet objet, et la composante cognitive se rapporte aux croyances concernant cet objet. De nombreuses études rapportent qu'un grand nombre d'élèves ont des attitudes négatives envers les mathématiques et les sciences (Venturini, 2004 ; Lafortune & Solar, 2003 ; Lafortune & Deaudelin, 2003 ; Osborne, Simon, & Collins, 2003). Les attitudes sont importantes parce qu'elles prédisposent l'élève à faire ou à refuser de faire les efforts nécessaires à l'apprentissage de la discipline (Arnold, 2006, p. 418). Ainsi, les attitudes négatives envers les mathématiques et les sciences expliqueraient le désintérêt et le peu d'engagement de bon nombre d'élèves envers ces disciplines.

1.2.2.2. Sur le plan pédagogique

Il s'agit de la relation de l'élève avec le savoir (Houssaye, 1984), telle qu'elle transparait dans les modèles de médiation pédagogiques (Rézeau, 2002, p. 16), du point de vue de l'apprentissage. Elle a trait notamment au processus d'apprentissage.

Il ressort de nombreuses études (Gaussel, 2016 ; Berthon, 2007 ; Arnold, 2006 ; Québec (Province) et al., 2003) que les manières d'apprendre des élèves peuvent être à l'origine des difficultés qu'ils éprouvent à progresser dans les apprentissages scolaires. Surtout lorsque ces manières sont inefficaces, au sens où elles ne permettent pas à l'élève d'atteindre les objectifs assignés à l'apprentissage. Mais elles peuvent aussi expliquer la réussite de leurs apprentissages. Mais à quoi fait-on allusion lorsqu'on parle de façons ou de manières d'apprendre ? De quoi sont-elles constituées ?

Pour répondre à ces questions, il nous semble important de décrire d'abord ce qu'est un apprenant, à la lumière des théories d'apprentissage (Perraudau, 2006, p. 16), d'un point de vue psychologique. Ces théories sont le comportementalisme (ou behaviorisme), qui a été longtemps mis en œuvre durant la première moitié du XX^e siècle, le cognitivisme apparu aux

États-Unis dès les années 1948, le constructivisme qui a vu le jour en Europe dans les années 1950 avec le psychologue suisse Jean-Piaget, et enfin le socioconstructivisme intégrant au constructivisme une dimension sociale de l'interaction. Nous pouvons également mentionner le « constructionnisme » du mathématicien Papert, concepteur du langage LOGO en informatique, dans le prolongement du constructivisme de Jean-Piaget (Perraudau, 2006, p. 22). Selon Mili (2013, p. 33), l'apprenant est une personne qui doit : écouter, assimiler, répéter, exécuter les consignes de l'enseignant pour les behavioristes ; analyser, traiter l'information reçue et stockée, pour les cognitivistes ; construire et organiser ses connaissances par l'action, pour les constructivistes ou en interaction avec l'environnement matériel et le milieu social, pour les socioconstructivistes. D'un point de vue éducationnel, l'apprenant est l'individu qui s'approprie les savoirs, les savoir-faire et les savoir-être (Perraudau, 2006, p. 20). Quel que soit le courant qu'il emprunte, l'apprenant a besoin d'une façon de faire, de méthode de travail pour réussir son apprentissage.

Des écrits de Gaussel (2016) ; Wang (2015) ; Bourgeois (2003) ; Chartier (2003) ; Flessas (1997) et de bien d'autres auteurs encore, il ressort que les différentes façons d'apprendre renvoient aux concepts tels que stratégies d'apprentissage, styles d'apprentissage, styles cognitifs, préférences d'apprentissage, approches d'apprentissage. Les styles sont « *les façons différentes dont les apprenants perçoivent, stockent, traitent et restituent l'information, la façon dont ils construisent leur base de connaissance* » Chartier (2003, p. 9). Les stratégies d'apprentissage diffèrent des styles d'apprentissages. Elles sont assimilées aux approches d'apprentissage (Bourgeois, 2003, p. 35). Par contre, les termes styles d'apprentissage et préférences d'apprentissages sont utilisés pour désigner le même objet (Woolfolk, 2001) cité par Bourgeois. Même si des auteurs comme Schunk (2000) ne font pas de différence entre style d'apprentissages et styles cognitifs, il faut noter que les styles cognitifs réfèrent au fonctionnement cognitif de l'individu dans un contexte qui n'est pas celui de l'apprentissage scolaire contrairement aux styles d'apprentissages qui s'applique en situation d'apprentissage et en contexte éducatif (Bourgeois, 2003, p. 35).

Qu'est-ce qui caractérise concrètement un style d'apprentissage, d'un point de vue opérationnel ? Wang (2015, p. 1) cite plusieurs études réalisées sur les styles d'apprentissage (Kolb 1976 ; Joy & Kolb 2009 ; Dunn, Griggs & Price 1993 ; Sternberg 1997 ; Zhang & Sternberg 2000).

Selon le modèle théorique de l'apprentissage basé sur l'expérience de Kolb cité par Mili, le style d'apprentissage est caractérisé par un cycle de quatre phases (Mili, 2013, p. 34) : la première phase (1) est celle dite d'expérience concrète. Dans cette phase l'apprenant exécute la tâche sans trop réfléchir. La deuxième phase (2) correspond à la phase d'observation réfléchie. Ici, l'apprenant est attentif. Il réfléchit sur son action en se référant à ses croyances et ses convictions. La troisième phase (3) est celle de la conceptualisation abstraite. Dans cette phase, l'apprenant réfléchit sur ce qu'il va faire. La quatrième phase (4) est celle de l'expérimentation active où l'apprenant réalise la tâche à faire après réflexion et à partir de son expérience passée. Kolb distingue 4 styles d'apprentissage (Mili, 2013, p. 35) en fonction des combinaisons des phases que présente un élève. Ce sont les styles divergent (1,2), assimilateur (2, 3), convergent (3, 4) et accommodateur (1, 4).

D'après une autre théorie, celle de l'inventaire des styles d'apprentissage de Rita Dunn, Shirley Griggs et Gary Price (1993) présentée par Wang (2015, p. 54), les styles d'apprentissages sont liés à cinq facteurs que Wang décline ainsi : « 1) l'environnement de la classe (son ou silence ; éclairage doux ou fort ; température chaude ou froide ; disposition du mobilier) ; 2) l'émotion (motivation ; persévérance ; responsabilité ; structure) ; 3) les préférences sociales (le travail individuel, en binôme, avec des pairs, en groupe avec un adulte autoritaire ou accommodant ; le besoin de variation ou de routine) ; 4) les préférences physiologiques (auditif ; visuel ; kinesthésique ; le besoin de manger/boire ou non lors de l'apprentissage ; le niveau d'énergie pendant la journée ; le besoin de mobilité ou non) ; 5) la tendance de traitement (global ou analytique ; la préférence hémisphérique : l'hémisphère droite du cerveau est identifié comme intuitif, alors que l'hémisphère gauche est logique ; impulsif ou réfléchi) ».

La catégorisation des styles d'apprentissage basés sur les modalités sensorielles (visuelle, auditive, cinétique) est celle qui transparait le plus dans les travaux (Arnold, 2006, p. 420). Pour mieux apprendre, un élève de tendance visuelle préférera, par exemple, regarder/voir les consignes écrites au tableau ou sur tout autre support visuel. Un élève de tendance auditive ne se sentira à l'aise que lorsqu'il entendra des explications orales ou des consignes de la part de l'enseignant, ou à travers un enregistrement audio. Et un élève de tendance cinétique préférera s'impliquer physiquement dans les tâches d'apprentissage (ibid., p. 420). Il peut exister des élèves qui présentent chacune de ces caractéristiques mais selon des granularités différentes.

Une autre catégorisation des styles d'apprentissage est celle de la théorie des Intelligences Multiples de Howard Gardner (1993, 1999) cité par Arnold. Selon cette théorie, l'esprit humain renferme sept voire huit types d'intelligence (Klein, 1997, p. 377) ; (Gardner & Bonin, 2004, pp. 1-3). Gardner et Bonin considèrent qu'il y a l'intelligence verbale/linguistique (*exemple : résumer avec ses propres mots les résultats importants*), l'intelligence musicale/rythmique (*exemples : apprendre des définitions, des règles, des mots-clés sous forme rythmée, mettre des informations importantes sous forme de musique*), l'intelligence corporelle/kinesthésique (*exemple : faire des révisions mentales en marchant*), l'intelligence visuelle/spatiale (*exemple : concevoir des posters pour exprimer des idées*), l'intelligence logique/mathématique (*exemple : décomposer une tâche en parties successives et fixer un ordre de priorité*), l'intelligence interpersonnelle (*exemple : discuter du sujet avec quelqu'un*), l'intelligence intrapersonnelle (*exemple : prendre conscience de ses différentes stratégies de pensée selon les circonstances telles que les stratégies de résolution de problème*), et l'intelligence du naturaliste (*exemple : faire des analogies avec des processus naturels (fonctionnement du corps humain comportements des animaux, etc.)*). D'après Arnold, la théorie des Intelligences Multiples a un caractère positif par rapport aux autres catégorisations pour l'analyse des styles d'apprentissage de par sa nature généraliste des aptitudes humaines.

Nous retenons donc de tout ce qui précède, que la prise en compte des styles d'apprentissage dans la classe, requiert que l'on tienne compte non seulement des caractéristiques personnelles des élèves mais aussi de l'environnement et du contexte de la situation d'apprentissage (Page-Lamarque, 2005, p. 250).

Au-delà de leurs catégorisations, de nombreuses études montrent qu'il existe un lien significatif entre les styles d'apprentissage et les performances des élèves (Chédru, 2015 ; Benoit-Chabot & Denis, 2018 ; Page-Lamarche, 2005). Si la prise en compte des styles d'apprentissage, par l'enseignant, est une aide indispensable à l'élève pour la réussite de son apprentissage, ce sont surtout les stratégies que l'élève met en œuvre qui sont les plus porteuses de résultats car, d'après la psychologie cognitive, elles aident l'élève « à assimiler les nouvelles informations dans [ses] structures mentales existantes, créant ainsi des schémas de plus en plus riches et complexes » (Wang, 2015, p. 2).

Pour aborder la question des stratégies d'apprentissage, en termes d'éléments constitutifs, deux contributions ont retenu notre attention. Il s'agit de celle de Wang, portant sur la taxonomie des stratégies d'apprentissage de Rebecca Oxford (1990, pp. 18-21) relative à l'apprentissage des langues, et celle de Lise Saint-Pierre, dans le cadre de la problématique de l'apprentissage des mathématiques. Certes, nous allons faire par moment référence à certaines définitions données par Wang, mais les éléments de connaissance que nous présentons sont ceux proposés par Saint-Pierre, pour deux raisons. La première, c'est parce que ces éléments sont reliés à une discipline scientifique qui a une forte implication en physique. La seconde se justifie par le fait que les réflexions de Saint-Pierre visent les élèves du collégial au Québec, équivalent à l'enseignement secondaire ivoirien.

Selon Weinstein et Mayer (1986) cité par Saint-Pierre, « [les stratégies d'apprentissage sont] les comportements et les pensées qu'un apprenant met en branle pendant l'apprentissage et qui influencent le processus d'encodage chez l'apprenant. Donc, le but d'une stratégie d'apprentissage peut être d'influencer l'état affectif ou motivationnel de l'apprenant, ou d'utiliser un moyen par lequel l'apprenant sélectionne, acquiert, organise ou intègre une nouvelle connaissance » (Saint-Pierre, 1991, p. 16). Wang (2015) les considère comme étant des techniques ou des méthodes particulières employées par l'apprenant, dans les situations d'apprentissage, pour aborder une tâche d'apprentissage telle que résoudre un problème, participer à des activités en cours, ou mises en œuvre pour préparer un examen. Il y a, selon Saint-Pierre, quatre types de stratégies : les stratégies cognitives, les stratégies métacognitives, les stratégies affectives, et les stratégies de gestion des ressources.

Les stratégies cognitives sont des techniques que l'élève utilise pour favoriser l'exécution des processus d'apprentissage conduisant à l'acquisition des connaissances déclaratives, des connaissances procédurales, et des connaissances conditionnelles (ibid., p. 16). Selon Gagné (1985) cité par Saint-Pierre, l'acquisition de ces trois types de connaissances se fait à travers six processus d'apprentissage : la répétition, l'élaboration, l'organisation, la discrimination, la généralisation, et l'automatisation d'une procédure. Les stratégies cognitives sont donc des techniques qui aident l'élève à acquérir des connaissances ou à développer des habiletés (voir tableau, Annexe A1)

Les stratégies métacognitives sont des techniques qui permettent à l'élève de réfléchir sur ses propres processus de cognition en lien avec tout ce qui s'y rapporte dans le but de déterminer ses forces et ses faiblesses afin d'y remédier éventuellement. Ce sont donc des moyens permettant de gérer l'activité cognitive en planifiant, en évaluant et en contrôlant la progression vers le but cognitif (Eme & Rouet, 2002, p. 3) (voir tableau, Annexe A2).

Les stratégies affectives sont des techniques qui permettent à l'élève de contrôler son affectivité notamment ses sentiments et ses émotions, par exemple (Saint-Pierre, 1991, p. 18),

- se récompenser
- se parler de façon positive
- contrôler son anxiété (techniques de relaxation)
- garder sa concentration
- établir et maintenir sa motivation
- persister plus longtemps
- attribuer la réussite à des facteurs internes et modifiables

Quant aux stratégies de gestion des ressources, elles réfèrent aux techniques qui aident l'élève à organiser son environnement de travail et à choisir les ressources disponibles adaptées à ses besoins (voir Annexe A3).

L'ensemble de ces stratégies d'apprentissage permet à l'élève d'élaborer une bonne méthode de travail (Saint-Pierre, 1991, p. 16) et de la mettre en œuvre. Le schéma de la figure 2 illustre bien cette idée.

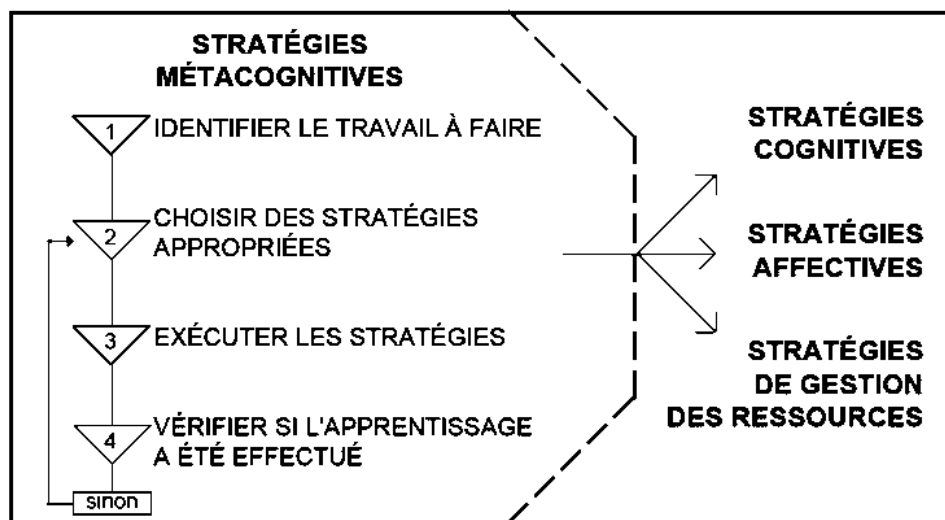


Figure 2. Méthode de travail caractérisée par les 4 étapes d'une démarche d'étude efficace et les stratégies d'apprentissage impliquées, selon Lise Saint-Pierre (1991, p.19)

La figure 2 montre qu'une méthode de travail efficace comporte 4 étapes basées sur des stratégies métacognitives. Celles-ci consistent à identifier le travail à faire, à choisir les stratégies appropriées pour le faire, à exécuter ces stratégies choisies, et à vérifier si l'apprentissage visé a été effectué. Dans le cas où l'apprentissage attendu n'est pas réalisé, il devra revoir le choix des stratégies précédentes en mobilisant l'ensemble de ses stratégies d'apprentissage. Il s'agit, en plus de ses stratégies métacognitives, de ses stratégies cognitives, affectives et de gestion des ressources. Les difficultés d'apprentissage des élèves faibles résultent donc de l'incapacité de ces élèves à mobiliser les stratégies d'apprentissage adéquates. De ce fait, ils ont besoin d'être accompagnés contrairement aux élèves forts (Saint-Pierre, 1991, p. 19). Enfin, il y a la valeur que l'élève accorde aux activités d'apprentissage, un facteur déterminant pour déclencher sa motivation et son engagement à apprendre (Viau, 2000, p. 1).

1.2.2.3. Sur les plans cognitif et métacognitif

Pour comprendre les facteurs cognitifs et métacognitifs qui peuvent rendre l'apprentissage difficile, il est bon de savoir ce qu'il faut entendre par ces deux concepts.

Tout d'abord, d'un point de vue philosophique, cognitif signifie « *qui permet de connaître* » (Le Petit Larousse *illustré*, 2011, p. 218). Par conséquent, il est relié au mot cognition qui, en psychologie cognitive, désigne, selon Codol (1988), « *l'ensemble des activités par lesquelles toutes [les informations auxquelles nous sommes soumis] sont traitées par [notre] appareil psychique: comment il les reçoit, comment il les sélectionne, comment il les transforme et les organise, comment il construit ainsi des représentations de la réalité et élabore des connaissances.* » (Codol, 1988, p. 174).

Ainsi, le cognitif renvoie aux fonctions du cerveau qui traitent les données, c'est-à-dire les informations, pour produire de la connaissance (Perraudau, 2006, p. 55). Il s'agit donc des fonctions qui permettent l'apprentissage (*ibid.*, p. 55). Le traitement de l'information, au sens de la psychologie cognitive, est une suite d'opérations mentales. Ces opérations sont généralement de deux ordres : des opérations cognitives telles que l'anticipation, la compréhension, l'inférence et le contrôle (*id.*, p. 58), et les opérations dites de haut niveau, ou grandes opérations cognitives, que sont la représentation, le raisonnement, la mémorisation et l'attention (*id.*, p. 59).

Pour l'auteur, l'anticipation est un comportement qui indique que l'élève s'apprête à réaliser l'activité ou la tâche d'apprentissage. C'est, par exemple, prendre un cahier et un stylo, ou lire plusieurs fois les consignes d'une tâche avant d'effectuer cette tâche.

La compréhension concerne celle du contexte de la situation d'apprentissage, ou celle des registres sémiotiques utilisés.

L'inférence est la transformation des schèmes et des procédures tandis que le contrôle est la capacité que l'élève a de s'assurer, par exemple, que les réponses qu'il a données à la question posée ou que les procédures qu'il a mobilisées pour y répondre sont valides.

La fonction représentation est la relation que l'individu/l'élève établit mentalement avec un objet extérieur du monde réel. Cette représentation peut s'exprimer de manière physique par un dessin, un schéma, un tableau, etc., ou de manière purement mentale, une idée qu'elle soit implicite ou explicite. Le sujet construit sa représentation d'un objet (même s'il est nouveau pour lui et qu'il n'en a aucune connaissance préalable), à partir de son expérience personnelle bâtie autour de sa culture, ses croyances, son vécu familial et sociétal, et/ou à partir de ce qu'il croit savoir (Perraudau, 2006, p. 60). Il se sert de ses représentations personnelles comme modèle explicatif des objets et phénomènes du monde réel qui l'entoure. Ces représentations peuvent ne pas traduire les faits, « véritablement » observés ou vécus. Elles peuvent être à l'origine des difficultés d'apprentissage des concepts en rapport avec elles, surtout lorsqu'elles ne coïncident pas avec celles de l'apprentissage scolaire. Ce qui fait que, pour Perraudau, « *apprendre consiste, [pour le sujet, en partant de ce qu'il sait ou sait faire], à se dégager de ses représentations initiales et naïves en les déstabilisant* » (Perraudau, 2006, p. 60). Ce qui n'est pas chose facile (Masson et Brault Foisy, 2012, p. 15).

Pour ce qui est de la fonction raisonnement, il désigne un processus inférentiel (Perraudau, 2006, p. 61) qui peut se présenter sous l'une des trois formes importantes suivantes : la déduction, l'induction et l'analogie. La déduction traduit un raisonnement logique. Elle consiste à produire une réponse « vraie » à partir d'une proposition « vraie ». Perraudau rappelle un exemple qui illustre bien le raisonnement déductif. Il s'agit du raisonnement mathématique qui consiste à dire que si deux droites sont parallèles alors toute droite perpendiculaire à l'une est perpendiculaire à l'autre. Quant au raisonnement inductif, il consiste à produire une réponse « vraie » à partir du possible. Par exemple, lorsqu'on émet des hypothèses et qu'on cherche ensuite à les vérifier. C'est le cas de la démarche scientifique dans le domaine des sciences expérimentales. Enfin, le raisonnement par analogie consiste à donner une réponse en identifiant l'objet de sa réponse ou le contexte de la situation à un objet déjà vu/connu ou au contexte d'une ancienne situation que le sujet estime identique à la nouvelle. De nombreux travaux montrent que les individus, de manière générale, ont des difficultés à mener un raisonnement logique (une déduction, une induction ou une analogie), se contentant plutôt de réactions automatisées non réfléchies, selon Perraudau, qu'ils puisent des connaissances ou des jugements de la vie quotidienne.

À l'instar du raisonnement, la mémorisation est une fonction importante dans le processus d'apprentissage (Crahay & Dutrévis, 2015, p. 22) comme le montre le texte ci-dessous de Saint-Pierre (1991, p. 15) :

« Dans le langage courant du milieu collégial, on identifie fréquemment à l'étude tout travail intellectuel visant à faire acquérir des connaissances dans le but, à court terme, de réussir une évaluation et, à long terme, de se préparer à l'exercice d'une profession ou à la poursuite d'études de niveau universitaire. Ces connaissances peuvent être des faits, des définitions, des formules, des principes, etc. à mémoriser ; des règles, des procédures, des techniques, des algorithmes, etc. qu'il faut se pratiquer à appliquer; ou encore des habiletés de résolution de problèmes qu'on veut développer. Pour l'élève du collégial, l'étude est une phase qui peut suivre ou précéder un cours, et pendant laquelle il doit donc mettre en branle certaines activités intellectuelles qui lui permettront soit de mémoriser des informations, soit de pratiquer une procédure, soit de développer des habiletés de résolution de problèmes. C'est ce qu'on entend couramment par *apprendre*. [...] S'il est possible de mémoriser quelque chose sans en rien comprendre, il semble difficile de concevoir qu'on puisse comprendre quelque chose sans en rien retenir. »

L'activité de mémorisation engage essentiellement trois types de mémoire (Crahay & Dutrévis, 2015 ; Perraudau, 2006) : la mémoire à long terme (MLT), la mémoire immédiate (MI), et la mémoire de travail (MdT). La MLT stocke les informations, les données, sur de nombreuses années voire la vie entière (Crahay & Dutrévis, 2015, p. 22). Ces données sont rappelées par la MI (Perraudau, 2006, p. 63) qui ne les garde que pendant quelques secondes pour un traitement dans la MdT ou à court terme (Crahay & Dutrévis 2015, p. 22 ; Corbin, Moissenet & Camos, 2012, p. 6), « *l'instance qui permet de maintenir disponibles les informations perçues et d'activer les connaissances et les procédures [, stockées dans la MLT,] nécessaires à leurs traitements* » (Crahay & Dutrévis, 2015, p. 22).

La réalisation des tâches et des exercices scolaires sont des opérations qui mobilisent la mémoire, en l'occurrence la MdT. Se référant à Gathercole et Pickering (2000), Barrouillet, Camos, Morlaix, et Suchaut (2008, p. 7) rapportent que les tâches assignées à la MdT sont de

bons prédicteurs des performances scolaires des enfants et des adolescents, notamment dans les tâches cognitives de haut niveau telles que celles relatives à la compréhension, au raisonnement ou à l'apprentissage d'habiletés complexes (Gavens & Camos, 2006) cités par Barrouillet et al. (2008). Ainsi, étudiant le rôle de la MdT dans les apprentissages, d'un échantillon de 87 élèves suivis du CE2 à la 5^{ème} à l'École française, ils ont montré qu'il existe un lien entre les capacités de la MdT et l'évolution des performances scolaires de ces élèves (id., p. 9).

Une autre importance de la MdT concerne la gestion de l'attention (Crahay & Dutrévis, 2015, p. 23). En effet, des modèles théoriques (Engel, Cantor & Carullo, 1992 ; Just & Carpenter, 1992 ; Cowan, 1995) cités par Barrouillet et al. (2008, p. 7), établissent que « *la capacité de la MdT [...] est dépendante de la quantité de ressources attentionnelles disponibles pour maintenir actives les informations utiles au traitement.* ». Or les capacités d'attention contrôlée subissent de grandes variations chez un individu (Crahay & Dutrévis, 2015, p. 23). Ce qui impacte fortement les apprentissages (ibid., p. 23).

Il faut noter que l'attention est une fonction cognitive de haut niveau définie comme étant « *un fonctionnement inter et intra psychique qui se développe avec la nécessité du milieu et la volonté de progrès cognitifs.* » (Boujon, 2004) cité par Perraudeau (2006, p. 64). Un sujet non attentionné est soit totalement déconnecté de l'environnement des échanges, soit dispersé, donnant des réponses décalées avec les questions posées (ibid., p. 64) en situation d'apprentissage.

L'attention se présente sous différentes formes (ibid., p. 64) : sélective, conjointe, exogène, endogène, partagée, et divisée. Selon Perraudeau, l'attention sélective est une attention élémentaire, focalisée, de nature visuelle, ou auditive. Elle a trait à l'exploration de l'environnement direct du sujet. L'attention conjointe est celle que l'on retrouve par exemple chez le nourrisson dont le regard suit la même direction que celle du regard de sa mère. Quant à l'attention exogène, elle résulte d'une sollicitation externe auditive, visuelle, contextuelle ou sociale tandis que l'attention endogène est liée à la volonté du sujet.

Enfin, l'attention partagée et l'attention divisée sont les formes d'attention élaborées, d'un niveau plus élevé, qui interviennent dans les apprentissages. Il s'agit surtout de l'attention partagée nécessaire pour la réalisation des tâches plus complexes (telles que la résolution de problèmes) sollicitant de nombreuses fonctions cognitives (anticipation, compréhension, inférence, utilisation de la mémoire, vérification, et contrôle). L'attention divisée, pour sa part, selon Perraudeau, est celle qui est en jeu lorsque, par exemple, l'élève écoute l'enseignant ou regarde le tableau en faisant, dans le même temps, autre chose comme par exemple dessiner sur une feuille, parler à son voisin, penser à un film ou à tout autre événement qui n'a rien à avoir avec l'apprentissage en cours.

Contrairement à l'attention partagée, dans laquelle les fonctions cognitives sont toutes orientées vers un même but relatif à l'apprentissage, dans l'attention divisée les fonctions cognitives sont divisées entre deux buts différents. Ces deux buts engagent l'élève dans deux types de tâches cognitives : une tâche principale et une tâche secondaire. La tâche principale est celle que l'élève traite prioritairement. Ainsi, après la réalisation de la tâche principale, la disponibilité attentionnelle devient insuffisante pour la tâche secondaire. Donc si la tâche

secondaire est celle qui est liée à l'apprentissage alors le risque d'échec de l'apprentissage est réel.

Cependant, l'attention divisée est nécessaire dans l'apprentissage voire utile. Il faut seulement que l'une des deux tâches soit automatisée afin de ne dépenser aucune énergie attentionnelle (id, p. 65) et réserver suffisamment de ressource attentionnelle pour la réalisation de l'autre tâche, celle relative à l'apprentissage visé. C'est par exemple, tout en lisant un texte c'est-à-dire tout en assemblant des lettres, combinant des mots, et se référant à des règles grammaticales et orthographiques, comprendre dans le même temps le sens du texte que l'on est en train de lire. Il en est de même lors de la résolution de problème en physique : par exemple, l'élève ayant mémorisé les modèles théoriques, les lois, les formules, les schémas conventionnels modélisant les phénomènes, et ayant une bonne maîtrise en lecture et en compréhension de la langue d'enseignement, peut disposer de son attention pour comprendre la situation décrite, le phénomène à modéliser, afin d'identifier les procédures à mobiliser pour résoudre le problème.

Comme nous pouvons le remarquer, même s'il elle n'est pas exclusive au cognitif, la maîtrise de la langue d'enseignement est également une condition importante de réussite de l'apprentissage (Perraudau, 2006, p. 26). Ce que confirment les travaux de Astolfi et Develay (2002, p. 12)¹⁷ sur l'importance de la langue d'enseignement dans la compréhension des concepts de physique. Perraudau rapporte que chez l'élève, l'attention se développe entre la maternelle, où elle est plus auditive que visuelle et la fin du collège, où l'attention devient plus visuelle. L'alternance des activités entre plusieurs disciplines, ou dans une même séance de cours, la variation des différents supports, ainsi que les pauses et les courtes ruptures entre les activités d'apprentissage, permettent d'améliorer l'attention des élèves en classe (id., p. 67). Les compétences attentionnelles étant en rapport avec la MLT, en termes d'organisation, de stockage et de rappel des informations, un élève qui a des difficultés à être attentif, éprouvera des difficultés à mémoriser les informations, et par conséquent des difficultés à apprendre (id., pp. 66).

Le concept de métacognitif renvoie à celui de métacognition, une activité cognitive menant le sujet à la prise de conscience d'une action qu'il a engagée ; prise de conscience faisant souvent défaut chez les élèves lors des apprentissages scolaires (Eme & Rouet, 2002, p. 2). En effet, comme le dit Perraudau (2006, p. 68), un élève peut très bien réussir une tâche d'apprentissage sans pour autant avoir bien compris le savoir qui était en jeu, qu'il soit conceptuel ou procédural. La prise de conscience, par l'élève, des actions et des opérations ayant conduit à la réussite des tâches qu'il a effectuées, lui permet de disposer désormais d'outils de réflexion pour refaire ces actions et opérations ou les adapter à d'autres situations (Perraudau, 2006, p. 68). Elle est donc, selon Perraudau, en référence à Piaget (1974), le passage de la connaissance pratique à la connaissance réfléchie des actions et des représentations que le sujet se fait de ces actions.

¹⁷ Dans Astolfi, J-P., Develay, M. (2002). *Didactique des sciences et processus d'apprentissage*. Cairn. Info 65-97. Presses Universitaires de France.

D'après la théorie piagétienne (id, p. 68), la prise de conscience est liée à l'abstraction, dans sa double dimension : l'abstraction empirique et l'abstraction réfléchissante. La première porte sur l'objet et ses propriétés, et la seconde porte sur l'activité cognitive du sujet sur l'objet et la capacité du sujet à transposer une action devenue réfléchie (ibid., p. 68). Ces deux processus sont fondamentaux dans la l'apprentissage des concepts de physique et constituent deux composantes majeures de la finalité de l'enseignement et de celle de l'apprentissage de cette discipline (Halwachs, 1975).

La compréhension, par l'élève, des savoirs scolaires ne sera donc possible que s'il est capable de métacognition, c'est-à-dire s'il a la compétence d'analyser les actions qu'il a faites précédemment (ibid., p. 68) et de disposer, au sens de Flavell dans (Perraudin, 2006, p. 71), de connaissances sur « *ses propres processus cognitifs, de leurs produits et de tout ce qui s'y touche, par exemple les propriétés pertinentes pour l'apprentissage d'informations ou de données* ». Les connaissances qu'il construit sur ces processus (connaissances métacognitives) se rapportent à la fois aux personnes, aux activités d'apprentissage, et aux stratégies d'apprentissage (ibid., p. 71).

Par rapport aux personnes, il y a les connaissances intra-personnelles, c'est-à-dire les connaissances que l'élève a de lui-même, ses compétences personnelles, ses connaissances propres sur le sujet traité, mais aussi les connaissances interpersonnelles, autrement dit, celles qu'il a par rapport aux autres personnes. Il s'agit des connaissances qu'il a de la comparaison qu'il a faite des compétences et connaissances des autres avec les siennes. En ce qui concerne les activités d'apprentissage, il s'agit de connaissance que l'élève a de sa compréhension de la tâche, en termes de signification, de raisonnement, de mémoire, etc. (id, p. 70). Enfin, pour les stratégies d'apprentissage, il s'agit des connaissances qu'il a de ses stratégies d'apprentissage, telles que nous les avons définies.

Comme, nous pouvons le constater, les connaissances métacognitives proviennent d'activités cognitives. Ainsi, tout facteur empêchant l'exécution normale des fonctions cognitives, et donc métacognitives, est un facteur qui rend difficile l'apprentissage en général, et la compréhension des concepts en particulier. En cela, les facteurs liés à l'affectivité, occupent une place prépondérante, à en croire les travaux de Robelin (2010, p. 64), pour qui « *[il existe] une étrange relation entre le sens et l'affectivité : il n'y a compréhension que par saisie affective. Hors des affects, il n'est pas possible de transformer les capacités et ressources intellectuelles en puissance agissantes en culture.* »

Nous venons d'exposer, en détail, les facteurs explicatifs des difficultés d'apprentissage liés à l'élève : facteurs affectifs, conatifs, pédagogiques, cognitifs et métacognitifs, qui s'influencent mutuellement. Ces facteurs peuvent être les conséquences de facteurs d'origines diverses, plus particulièrement de ceux relatifs à l'école et à la famille. Nous abordons dans la section qui suit, les facteurs scolaires.

1.2.3. Facteurs scolaires expliquant les difficultés d'apprentissage

Les facteurs scolaires sont des facteurs liés à ce qui se fait à l'école (Québec (Province) et al., 2003, p. 3). Ils peuvent être dus à l'enseignant mais aussi à l'établissement lui-même.

1.2.3.1. Du côté de l'enseignant. Des styles et des pratiques d'enseignement

Comme le dit Jellab (2018), « *le travail enseignant est un « travail sur autrui » qu'il s'agit de transformer en agissant dans la durée. Son efficacité dépend de l'implication de l'élève, ce qui est loin d'aller de soi* » (ibid., p. e16). Pour cause, la dynamique de la pratique de l'enseignement, en classe, d'une discipline en générale, et de la physique en particulier, revêt plusieurs aspects qui peuvent être des facteurs bloquants. Ce sont, par exemple, des facteurs liés au style de l'enseignant, à son niveau de maîtrise du contenu et sa structuration, la qualité de ses pratiques d'enseignement (pratiques pédagogiques, approches didactiques, exploitation des erreurs d'apprentissage, ...), à la qualité des supports, aides et ressources didactiques qu'il utilise, à la qualité de la relation qu'il entretient avec ses élèves en situation de classe, à sa gestion du groupe classe, à sa maîtrise de la langue d'enseignement, etc. La méconnaissance ou la non-prise en compte de ces aspects peuvent avoir pour effet d'accroître les difficultés d'apprentissage au niveau de l'élève.

S'agissant du style d'enseignement, par exemple, Moustapha-Sabeur (2018), Mili (2013) et bien d'autres chercheurs, de par leurs travaux, montrent qu'il est important dans la réussite de l'apprentissage à l'école. Il faut noter que d'une manière générale, le concept de style désigne la façon particulière d'une personne d'exprimer sa pensée, ses émotions, ses sentiments (Moustapha-Sabeur, 2018, p. 2), citant le dictionnaire Larousse en ligne et Maingueneau. C'est aussi, « *des ensembles de règles tacites [qui différencient les pratiques, les rapportant] à des lieux, à des époques, à des sujets particuliers* » (ibid., p. 2).

Appliqué au domaine de l'enseignement, le style renvoie à la manière dont l'enseignant se prend pour expliquer un mot, donner une consigne, permettre la communication avec les élèves, gérer les interactions en classe selon les règles institutionnelles prescrites, les objectifs poursuivis, les normes pédagogiques, et le temps. Il se rapporte également à la manière de parler de l'enseignant, de nommer les élèves, de tenir compte des contextes, des apprenants, de réagir par rapport aux questions inattendues en fonction de son expérience personnelle, ses désirs, ses préférences, ses émotions, et ses priorités.

La classification de Blake et Mouton (1964) cités par (Mili, 2013, p. 33), montre qu'il existe plusieurs styles d'enseignement. Ce sont le style transmissif, le style incitatif, le style associatif, et le style permissif. Ces styles réfèrent à des pratiques d'enseignement selon que l'élève est considéré, par l'enseignant, comme récepteur du savoir en jeu ou acteur de la construction de ce savoir (ibid., p. 33). Dans le premier cas, la pratique de l'enseignant est centrée sur la matière, l'enseignant est le détenteur exclusif du savoir (style transmissif). Dans le second cas, l'enseignant amène l'élève à construire le savoir en le guidant. Ici, la pratique est dite centrée sur l'élève (style associatif). Entre les deux postures, il y a des variantes constituées des deux pratiques précédentes. Soit la pratique est davantage centrée à la fois sur la matière et sur l'élève (style incitatif) ou très peu centrée à la fois sur la matière et sur l'élève (style permissif).

Selon Mili (2013, p. 34), le type d'enseignement pratiqué par l'enseignant, et la représentation qu'il se fait de l'élève au moment du processus enseignement-apprentissage en classe, peut être à l'origine d'une consolidation ou non de l'apprentissage. En d'autres termes,

un style d'enseignement ne correspondant pas aux styles d'apprentissage des élèves peut être à l'origine des difficultés d'apprentissage.

Des difficultés d'apprentissage peuvent être aussi liées au scénario pédagogique mise en œuvre par l'enseignant, qu'il soit planifié ou non. Le scénario pédagogique est une anticipation des actions pédagogiques à déployer pendant une séquence d'enseignement (Decamps, Lièvre, & Depover, 2009, p. 141). Il comporte deux pans (ibid., p. 141). L'un concerne les actions relatives à l'apprentissage, et est appelé scénario d'apprentissage. L'autre concerne les actions destinées à l'encadrement des apprenants, connu sous la désignation de scénario d'encadrement. Selon les auteurs, citant Paquette (2002), le scénario d'apprentissage décrit les activités prévues pour l'apprentissage des savoirs visés par l'enseignement à dispenser, l'articulation de ces activités dans la séquence d'enseignement, les ressources mises à la disposition des apprenants pour la réalisation de ces activités, mais aussi les productions qui sont attendues des apprenants (Quintin, Depover, & Degache, 2005, p. 336). Il est aussi considéré comme « le résultat du choix d'une stratégie d'apprentissage par rapport à un contenu d'apprentissage particulier » (Christian Depover et al, 2006). « *En pratique, un scénario d'apprentissage est une succession d'étapes, obligatoires ou facultatives [...], que les apprenants auront à franchir dans un but pédagogique explicite* » (ibid., 2009, 142). Pour ce qui est du scénario d'encadrement, il définit les modalités d'intervention de l'enseignant, voire celles des apprenants eux-mêmes (en cas de tutorat par les pairs), dans le cadre d'un soutien à apporter à l'élève lors de son apprentissage (ibid., p. 142).

De nombreuses études établissent qu'il existe un lien entre les performances des élèves et la qualité du scénario pédagogique mise en œuvre, et donc de celle de chacune de ses composantes. En outre, un bon scénario pédagogique permet, non seulement de bien gérer le temps didactique mais aussi et surtout aux élèves de bien structurer et bien organiser les informations qui doivent être stockées dans la mémoire à long terme. Il constitue donc, pour l'élève, un facteur de réussite d'un apprentissage contrairement à un mauvais scénario pédagogique.

Sur le plan de la médiation et de la médiatisation du contenu disciplinaire, les supports didactiques (schémas, photos, images, documentaires, photocopies, ...) sont utilisés pour faciliter la compréhension des explications données aux élèves (Demba, 2013, p. 16). La qualité, en termes de clarté et de lisibilité, de ces supports mais aussi de celle des médias (tableau noir à craie, tableau blanc à marqueur, écran de projection, ...) peuvent être également à l'origine des difficultés d'apprentissage. Par exemple, un tableau noir mal effacé, nuageux, comportant la trace écrite du cours, ne permettra pas à l'élève de déchiffrer facilement les informations qui y sont inscrites. De ce fait, il pourrait avoir des difficultés pour l'acquisition du savoir en jeu dans la mesure où l'activité de mémorisation, nécessaire et importante dans l'acte d'apprendre, ne sera pas facilitée.

Enfin, tout comme pour l'élève, l'affectivité de l'enseignant peut avoir un effet sur son attitude, ses stratégies, et son comportement. Ce qui va impacter son style d'enseignement puis sa pratique enseignante qui, à son tour, impacteront l'apprentissage des élèves. Par exemple, pour Bouffard, ce que pense l'enseignant des capacités de ses élèves, peut avoir un effet positif ou négatif sur les résultats d'apprentissage. En effet, d'après l'auteur, selon une étude finlandaise,

« quand un enseignant croit que tous ses élèves peuvent apprendre, ces derniers réussissent significativement mieux que ceux de la classe où l'enseignant croit que seulement certains élèves peuvent apprendre. » (Bouffard, 2018, p. 10). Cette croyance influence donc le sentiment d'efficacité personnelle des élèves, origine de la motivation et des états émotifs d'une personne selon Bandura (1986) cité par Bouffard (2018, p. 5).

La croyance et la confiance de l'enseignant envers l'élève, permettent à ce dernier de développer sa confiance personnelle et renforcer sa détermination à apprendre (ibid., p. 27). Ce constat transparait également dans la publication de Galand (2017), à propos des effets de la différenciation pédagogique sur les dimensions cognitives et socio-affectives des élèves. Il rapporte que de nombreuses études montrent que beaucoup d'enseignants considèrent leurs élèves en se basant sur leurs performances passées (Galand, 2017, p. 179). Ainsi, ils accordent peu d'intérêt aux élèves ayant eu des performances faibles et n'en attendent pas grand-chose. Ils manifestent, de ce fait, peu de chaleur à leur endroit, les sollicitent moins, leur laissent moins de temps pour répondre aux questions, leur donnent moins d'autonomie, et des feedbacks imprécis sur leurs performances (ibid., p. 179). C'est ce que rapporte également Toure (2018, p. 39), lorsqu'il parle de l'effet pygmalion qu'il définit comme « *le processus par lequel l'enseignant se fait une idée définitive de la valeur d'un élève à partir des impressions qu'il a de lui, ce qui consciemment ou inconsciemment influence par la suite leurs interactions.* ». Or, de nombreux travaux (Virat, 2016, p. 405) montrent, par exemple, qu'une relation chaleureuse et peu conflictuelle entre un enseignant et ses élèves a des effets positifs pour ces derniers.

D'après Galand, en référence à Weinstein (2002), la plupart des élèves sont conscients de cette différence de traitement. Cela exerce un effet défavorable sur leurs jugements par rapport à leurs compétences propres et impacte négativement leur performance scolaire. En revanche, s'agissant de l'enseignant, Bouffard (2018, p. 25) révèle que, un enseignant qui a confiance en lui-même et qui a un sentiment d'efficacité personnelle élevé, croit en ses propres capacités et ses compétences à assurer le cours. Il est enthousiaste, valorise ses élèves, favorise leur autonomie, se préoccupe de leur motivation. Ouvert aux idées et questions de ses élèves, il s'adapte à l'imprévu et est enclin à essayer les nouveaux outils (ibid., p. 25).

Par contre, renchérit Bouffard, lorsque l'enseignant a un sentiment d'efficacité personnelle faible, il développe un pessimisme envers la motivation de ses élèves, craint les questions de la classe et les évite ; une attitude défavorable à l'apprentissage. Une autre facette relative à l'affectivité de l'enseignant est son amour pour son métier. En effet, comme le précise (Perrenoud, 2002, p. 4), « *enseigner est un métier trop difficile pour qu'on s'y engage par dépit, faute de mieux, parce qu'il faut bien gagner sa vie.* ». L'état psychologique de l'enseignant est donc un élément fondamental qui pourrait peser dans l'aide à apporter à ses élèves pour la réussite de leur apprentissage. Ceci est d'autant vrai que les motivations, pour un individu, à embrasser la carrière enseignante sont diverses, et principalement de trois types – altruistes, intrinsèques et extrinsèques - selon Berger et D'Ascoli (2011, p. 115) en référence à la théorie de Kyriacou et Coulthard (2000).

Les motivations altruistes renvoient au désir de travailler avec les enfants ou les adolescents dans le but de les aider à réussir, le désir de contribuer à l'amélioration de la société (ibid.). Les motivations intrinsèques concernent le plaisir ou la satisfaction que l'individu peut

tirer de l'activité enseignante comme, par exemple, trouver intéressant l'enseignement, éprouver de la satisfaction à transmettre ses connaissances, avoir l'amour de la discipline. Les motivations extrinsèques sont, quant à elles, liées à d'éventuelles récompenses que l'individu attendrait du métier d'enseignant (par exemple, de longues vacances, une rémunération attrayante, le prestige lié au statut social de la profession, la possibilité de concilier vie de famille et vie professionnelle). Au titre des motivations extrinsèques, selon l'étude d'Huberman (1989) cité par Berger & D'Ascoli (2011, p. 117), les enseignants du secondaire choisissent la carrière enseignante pour éviter le chômage, faute de trouver mieux sur le plan professionnel. Leurs motivations, dit-il, ne sont pas liées au désir d'être en contact avec les enfants.

Bien que les résultats relatés, ici, proviennent d'études réalisées en Europe, et en Amérique, ils demeurent aussi vrais dans le contexte africain en général, et celui de la Côte d'Ivoire où coexistent deux catégories d'enseignants. La première est représentée par les enseignants des établissements publics, fonctionnaires de l'État, et payés sur le budget de l'État. La seconde est représentée par les enseignants des établissements privés, des vacataires en majorité, payés par les fondateurs des établissements privés avec des salaires dérisoires, correspondant à des volumes horaires facturés souvent, à l'heure, à 1000 ou 1500 F CFA (environ 1,5 à 2,3 euros), sur la période de l'année scolaire estimée à 9 mois voire moins. Dans ces conditions, face à la cherté de la vie, le désir légitime de rechercher des revenus complémentaires du salaire (Rasera, 2005, p. 413) est très présent chez beaucoup d'enseignants, aussi bien des écoles privées que des écoles publiques. Un désir qui prend souvent le pas sur la motivation première du métier d'enseignant.

Les facteurs, à l'origine des difficultés d'apprentissage, que nous avons énumérés précédemment, avec force détails, tant pour l'élève que pour l'enseignant, sont certes individuels. Cependant, il ressort des écrits scientifiques (I. K. Koffi, 2017 ; K. Nguessan & Kouakou, 2016 ; Mathé, Meheut, & De Hosson, 2008) que l'institution d'éducation a également une part de responsabilité, non moins importante, dans les difficultés d'apprentissage.

1.2.3.2. Du côté de l'institution d'éducation. Programmes, manuels et pratiques prescrits

Les savoirs enseignés à l'école sont des savoirs dits formels, par opposition aux savoirs dits non formels c'est-à-dire des « *[savoirs provenant] de toutes les interventions à caractère éducatif qui sont mises en œuvre par des institutions ou des acteurs autres que l'appareil scolaire officiel* » (Jacobi, 2001, p. 171).

Les savoirs formels, selon Jacobi, sont caractérisés par 5 paramètres spécifiques ; à savoir que : 1) ils correspondent toujours à un objectif et/ou une capacité (habileté) parfaitement identifié(e) et résultant du travail de la transposition didactique ; 2) ils correspondent à un découpage conceptuel ; 3) leur acquisition et leur appropriation nécessitent l'adhésion et la participation consciente et volontaire de l'apprenant, en classe, en présence d'un enseignant, sous sa régulation ; 4) vu qu'apprendre ces savoirs est obligatoire, l'enseignant doit éveiller, chez les apprenants, le désir et la motivation de les apprendre ; p. 5) ils sont toujours évalués pour juger qu'ils sont acquis ou maîtrisés.

Les savoirs formels sont donc définis par les institutions en charge de l'éducation dans le pays. Ils sont présentés par les programmes éducatifs conçus et élaborés d'après les finalités du système éducatif, finalités fixées par les textes officiels (constitution, loi, discours officiels, etc.) (DPFC/CND, 2019, p. 17). Cependant, les canevas indiqués par les programmes officiels amènent les enseignants à proposer des activités qui ne traduisent pas toujours les intentions didactiques de ces programmes (Mathé et al., 2008, pp. 66-68). Et cela conduit à des apprentissages divers qui peuvent ne pas forcément faciliter la compréhension des concepts.

En Côte d'Ivoire, les programmes éducatifs de l'enseignement secondaire sont conçus, et produits par le MENET-FP, à travers sa Direction chargée de la pédagogie et de la formation continue (DPFC). Ils doivent, comme le dit la DPFC, répondre aux besoins de l'apprenant (besoins de connaissances en lien avec son âge, son développement intellectuel, ses connaissances disciplinaires, etc.), et aux besoins de la société ivoirienne qui sont des besoins fonctionnels (formation de médecins, de professeurs, d'ingénieurs et techniciens, de scientifiques, etc.), pour son développement socio-économique, mais aussi des besoins systémiques (fonctionnement de l'État, cohésion nationale, etc.). « *[Ce] programme d'enseignement s'impose [donc], à tout enseignant, comme une donnée incontournable [qu'] il doit appliquer rigoureusement* » (ibid., p. 17).

Les programmes éducatifs ivoiriens précisent, dans le cadre de l'Approche par les compétences (APC) adoptée par la Côte d'Ivoire, les compétences et les habiletés à faire acquérir à l'élève, les pratiques pédagogiques à mettre en œuvre, mais également les manuels à utiliser dans les situations d'enseignement-apprentissage. Mis à disposition des enseignants, son application dans les établissements scolaires et la qualité des enseignements qui s'y attachent sont évaluées par l'Inspection de l'enseignement générale (IGEN), un service rattaché au cabinet du MENET-FP (MENET-FP/IGEN, 2018).

Hormis les prescriptions d'ordre didactique, d'autres prescriptions institutionnelles imposent un mode de fonctionnement particulier aux établissements scolaires, publics surtout, en rapport avec la politique de scolarisation obligatoire (PSO) matérialisant l'adhésion de la Côte d'Ivoire aux objectifs de l'éducation pour Tous, au forum mondial sur l'éducation à Dakar, en 2000. Ce mode de fonctionnement, bien que justifié, peut conduire à des difficultés d'apprentissage.

1.2.3.3. Des effets du fonctionnement et de l'environnement des établissements scolaires

La PSO, instituée par la loi n° 2015-635 du 17 septembre 2015 portant modification de la loi n° 95-639 du 7 septembre 1995 relative à l'Enseignement, stipule que « dans le cadre du service public de l'enseignement, la scolarisation est obligatoire pour tous les enfants des deux sexes âgés de 6 à 16 ans ». Le collège constitue le dernier cycle de cette éducation et formation de base qui commence depuis le préscolaire, bien que le préscolaire ne soit pas obligatoire dans le système éducatif ivoirien (MENET-FP/DSPS, 2017, p. 13). Avec la PSO, de plus en plus d'élèves sont scolarisés sans que le nombre de classes ne suive le rythme de cette croissance.

En 2017/2018¹⁸, ce sont 1.967.667 élèves qui ont été recensés dans l'enseignement secondaire en Côte d'Ivoire, pour 11.167 salles de classes, la majorité étant dans les zones urbaines.

L'insuffisance des salles de classes, et d'enseignants, d'une part, et le besoin d'optimiser l'utilisation des ressources existantes et celle d'assurer l'éducation à tous les enfants scolarisés, d'autre part, ont engendré cinq modes de fonctionnement des classes dans les établissements scolaires ivoiriens (MENET-FP/DSPS, 2017 ; Toure, 2018). Il s'agit du mode simple, de la double vacation, du double flux, des classes jumelées, et des classes multigrades. Selon Toure (2018, pp. 43-44), le mode simple correspond à un fonctionnement normal de la classe, avec un enseignant et un groupe pédagogique utilisant la même salle de classe durant toute l'année scolaire. En général, l'effectif de la classe ne dépasse pas 40 élèves. En revanche, avec les effectifs pléthoriques, surtout dans les grandes villes, beaucoup d'établissements fonctionnent avec des classes en double vacation ou en double flux. La double vacation signifie que deux enseignants, A et B, partagent, de façon alternée, une même salle de classe durant toute l'année scolaire, chacun avec son groupe pédagogique de cours. Pendant une semaine, l'enseignant A fait cours le matin avec ses élèves dans la salle. Et l'après-midi, c'est le tour de l'enseignant B. La semaine suivante, l'enseignant B occupe la salle le matin avec ses élèves tandis que l'enseignant A et son groupe viennent l'après-midi. Pour le double flux, un seul enseignant fait la classe avec deux sous-groupes pédagogiques d'un même groupe pédagogique de cours, scindé en deux à cause de son effectif pléthorique. Dans ce mode de fonctionnement, l'enseignant fait le même cours deux fois, une première fois le matin avec un sous-groupe, et la deuxième fois, l'après-midi avec l'autre sous-groupe. La semaine d'après, les deux sous-groupes alternent. Il assure, en fait, le travail de deux enseignants.

Dans les zones rurales, peu d'élèves sont scolarisés, et il y a peu d'enseignants. Les établissements fonctionnent, le plus souvent, avec des classes multigrades et des classes jumelées, surtout dans le primaire. Une classe multigrade, tenue par un seul enseignant, est une classe qui contient plusieurs groupes pédagogiques de cours et de niveaux différents. Une telle classe, dans le primaire, peut contenir, par exemple, des élèves de CP1, de CP2, et de CE2. Dans cet exemple, l'enseignant doit dispenser, chaque jour, trois programmes de cours différents. Quant aux classes jumelées, elles contiennent des élèves de deux groupes pédagogiques de même cours mais de niveaux différents, comme par exemple, des élèves de CM1 et de CM2.

Ainsi, comme le fait remarquer Toure (2018, p. 45), en dehors du fonctionnement des classes en mode simple, les autres modes de fonctionnement ne permettent pas à l'enseignant d'être efficace dans ses enseignements, et de nombreux élèves ne reçoivent que la moitié du programme d'enseignement annuel. Dans de telles conditions, où il y a des inégalités d'apprentissage, l'apprentissage devient difficile, avec un fort taux d'échecs scolaire, voire une déscolarisation de masse (ibid., p. 45). D'autres considérations liées aux fonctionnements des salles de classes, et à l'environnement de l'école, telles que le confort, le bruit, la lumière, la chaleur, ... et, donc au bien-être des enseignants et des élèves (Bacro et al., 2017), ne sont pas

¹⁸ Rapport d'analyse statistique du système éducatif ivoirien 2017/2018.

non plus fortuites dans la réussite des apprentissages scolaires. À côté de ces modes de fonctionnement qui défavorisent l'apprentissage, d'autres facteurs, tels que les conflits à l'école et les violences scolaires, structurent également le fonctionnement de l'école et influent négativement sur l'apprentissage (Mabilon-Bonfils, 2005, p. 75).

Comme nous l'avons signalé auparavant, il n'y a pas que les facteurs individuels et scolaires qui jouent dans la réussite de l'apprentissage de l'élève. Il y a également, la dimension familiale.

1.2.4. Facteurs familiaux et sociaux expliquant les difficultés d'apprentissage

Annie Feyfant (2011, p. 2) a rapporté, dans un article très riche, les effets de l'éducation familiale sur la réussite scolaire de l'enfant, en s'appuyant sur plusieurs travaux. Ces travaux montrent, à propos du rôle de la famille, notamment de celui des parents, que la réussite de l'élève dépend de plusieurs considérations. Nous avons par exemple, les styles éducatifs des parents, le capital culturel des parents, en termes de savoirs et de savoir-faire à transmettre à l'enfant, son accompagnement à la scolarité des enfants, les attentes des parents, etc.

1.2.4.1. Education parentale : styles éducatifs des parents et relations parents-enfants

Trois typologies de styles éducatifs familiaux, les plus référencés pour caractériser l'effet de l'éducation parentale sur la réussite scolaire de l'enfant, ont été identifiés. Il s'agit, selon Feyfant, des typologies de J. Lautrey, de D. Baumrind (1966), et de Kellerhals et Montaudon (1991). La typologie de Lautrey s'intéresse aux différents types d'environnements familiaux (aléatoire, soupagement structuré, ou rigide) tandis que celles de D. Baumrind (« style permissif », « style autoritariste », « style autoritaire ou structurant ») et de Kellerhals et Montaudon (« style contractualiste », « style statutaire », « style maternaliste ») caractérisent les manières de faire des parents. Les styles éducatifs permissifs et contractualistes ont un contrôle faible sur l'enfant mais un soutien élevé. Ils permettent à l'enfant une certaine autonomie. Les méthodes employées ont une tendance à la motivation. En revanche, les styles autoritariste et statutaire, exercent un contrôle élevé et coercitif sur l'enfant, avec un soutien faible. Sur le plan relationnel, ils ont tendance à créer de la distance entre le parent et l'enfant. Quant au style autoritaire ou structurant, et au style maternaliste, ils ont un contrôle direct et un soutien élevé envers l'enfant. Ils créent une proximité parents/enfants.

Selon Duru-Bellat & van Zanten (2009) cité par Feyfant, la permissivité créée, chez l'enfant, des problèmes d'attention et d'apprentissage, ainsi que des attitudes hostiles à l'égard de ses enseignants mais aussi à l'égard de ses camarades. D'autre part, un contrôle trop rigide, à travers une autorité parentale excessive (punition, surveillance accrue), engendre l'anxiété et la passivité de l'enfant (ibid.). L'éducation parentale, à travers les styles éducatifs familiaux, a donc des effets qui ont des implications aussi bien sur l'affectivité de l'enfant que sur son état cognitif. Or, tel que nous l'avons montré dans la section 1.2.2, ces facteurs jouent un rôle important dans la réussite des apprentissages. De plus, Feyfant rapporte que les résultats

scolaires de l'enfant sont moins bons s'il y a une grande différence entre les styles éducatifs des enseignants et ceux des parents. Qu'en est-il du capital culturel des parents ?

1.2.4.2. Capital culturel. Niveau de scolarité des parents et accompagnement scolaire des enfants à la maison

Le capital culturel renvoie aux pratiques des parents qui ont un effet favorable sur l'acquisition des savoirs par l'enfant, depuis sa jeune enfance jusqu'à son adolescence, dans le contexte familial (Duru-Bellat & van Zanten, 2006 ; Pourtois et al., 2008 cités par Feyfant, 2011). Pour Murat (2009), les niveaux de scolarité des parents permettent de traduire ce capital culturel (Feyfant, 2011). Ainsi, d'après les recherches, les apprentissages scolaires des enfants, dont les parents possèdent et utilisent des ressources telles qu'un ordinateur, des livres de lecture, des encyclopédies, des DVD éducatifs, etc. seront facilités. De plus, les niveaux d'instruction des parents et les diplômes qu'ils ont obtenus dans leur scolarisation, peuvent avoir un impact positif sur la réussite scolaire de leurs enfants. À ce propos, d'après Feyfant, l'enquête réalisée par l'INSEE en 2004, sur la vie quotidienne des ménages en France, montre que le niveau d'études de la mère est un des facteurs clés des compétences de l'enfant tandis que celui du père influencerait son niveau scolaire. Cela s'expliquerait par le fait que l'accompagnement scolaire des enfants est plutôt fait par les mères (Feyfant, 2011, p. 7). En revanche, les enfants dont les niveaux de scolarité parents sont faibles ont plus de chance d'avoir de moins bons résultats même si cela n'est pas toujours vérifié, certains pouvant avoir recours à des cours de soutien pour leurs enfants. L'implication ou non des parents dans le suivi scolaire des enfants, à la maison, mais aussi leurs pratiques culturelles quotidiennes sont donc des facteurs qui peuvent aussi expliquer les difficultés ou les réussites des apprentissages de l'élève.

Hormis le rôle de l'accompagnement scolaire dans la réussite de l'enfant, d'autres facteurs, tels que les attentes des parents envers l'école, en termes d'apprentissages et de parcours (Feyfant, 2011, p. 5), les encouragements des parents envers l'enfant à l'endurance et à la compétition, la croyance en ses potentialités, ou encore les aspirations scolaires ou professionnelles qu'ils ont pour leur enfant (Davis-Kean, 2005) cité par Feyfant, sont corrélés à la réussite scolaire. Ces attentes impactent positivement le développement d'un sentiment d'efficacité de chez l'enfant. Or le sentiment d'efficacité personnel est un facteur favorisant l'apprentissage. Car il pousse l'enfant à l'engagement au travail et à la réussite scolaire.

Selon plusieurs études, le rôle du statut socioéconomique des familles dans la réussite scolaire des enfants est aussi déterminant.

1.2.4.3. Situation socioéconomique des parents et environnement favorisant l'apprentissage

De nombreuses études (Lugo-Gil et al., 2008 ; Park, 2008 ; Schneider et al., 2010, Melhuish et al., 2008), toutes citées par Feyfant, établissent, effet, qu'il existe un lien entre le statut socioéconomique et le développement cognitif de l'enfant. Vu que les conditions de vie dans l'enfance sont importantes pour l'acquisition des compétences, la situation économique

des parents sera également importante. Vivre dans un environnement propice aux études, se nourrir correctement, sont, par exemple, des éléments importants. Les enfants de familles économiquement pauvres seront aussi défavorisés pour l'acquisition des jeux éducatifs, supposés aider le développement cognitif des enfants, même si pour Glasman et al. (2004) et Duru-Bellat et van Zanlen (2006), ce développement cognitif n'est pas formellement avéré.

Des études montrent aussi que, les familles qui vivent dans une précarité économique ont tendance à prendre de la distance par rapport à l'école, pour leur enfant contrairement aux familles nanties. Ces familles, instruites, avec une stabilité professionnelle et une situation économique viable, ont une proximité avec l'école. Ainsi, le comportement de la cellule familiale, en tant que « premier système social »¹⁹, par lequel le jeune enfant acquiert et développe des compétences cognitives et sociales, peut être la cause des difficultés d'apprentissage scolaire de l'enfant.

1.2.5. Facteurs spécifiques expliquant les difficultés d'apprentissage de la physique

En plus des facteurs généraux, présentés dans les sections précédentes, les difficultés spécifiques à l'apprentissage de la physique peuvent avoir comme sources les conceptions des élèves sur les phénomènes physiques, leur raisonnement, leur prise de conscience de l'apprentissage réalisé, la méthode d'enseignement du professeur, la transposition didactique de la connaissance visée, les programmes d'enseignement de la discipline, et les manuels scolaires de la discipline.

1.2.5.1. Des conceptions des élèves sur les phénomènes physiques

Certains auteurs, comme Giordan et De Vecchi (1987) cités par Demba (2013, p. 17), assimilent la fonction représentation à conception. Parmi les difficultés d'apprentissage indexées dans l'apprentissage de la physique, les conceptions initiales, qualifiées de naïves, occupent une place importante. Elles sont souvent en désaccord avec les conceptions admises comme scientifiques lors de l'analyse du principe de la causalité chez l'élève (Tiberghien & Vince, 2005; Canal, 2007; Halwachs, 1975).

De nombreuses études (Borst, 2016 ; Nguessan, 2016 ; Jemaa & Boilevin, 2016; Mazouze & Lounis, 2015 ; Masson & Brault Foisy, 2012 ; Kouakou-Innocent, 2010 ; Canal, 2007 ; Tiberghien & Vince, 2005 ; Jimoyiannis & Komis, 2001; etc.), indexent les conceptions naïves comme un facteur majeur de difficulté d'apprentissage de la physique-chimie, notamment en ce qui concerne la compréhension des concepts de physique. D'ailleurs à ce sujet Gil-Perez (1993, p. 51) cité par Mazouze et Lounis (2015, p. 27) affirme que : « [...] un grand nombre de concepts centraux de la science sont assez difficiles à construire par la majorité pour ne pas dire la totalité des adolescents et même des adultes universitaires ».

¹⁹ Le terme est d'Annie Feyfant

Comprendre les concepts de physique, c'est donc, pour l'apprenant (l'élève, l'étudiant, voire l'enseignant) abandonner ses conceptions initiales qui ne sont pas en accord avec les conceptions dites scientifiques. Or, se dégager de cette activité mentale est difficile car les conceptions naïves ont la peau dure, comme le pensent Masson et Brault Foisy (2012, p. 15) à travers leur article concernant les conceptions des élèves en électricité.

Les conceptions naïves de l'élève impactent son raisonnement, mais aussi sa prise de conscience de l'apprentissage réalisé.

1.2.5.2. Du raisonnement logique en physique et de la prise de conscience de l'apprentissage

Parmi les difficultés liées à l'élève, le raisonnement, en tant qu'activité cognitive de l'élève, en physique, est une source de difficulté d'apprentissage de la discipline. Mazouze & Lounis (2015, p. 27) rapportent, par exemple, que pour la résolution des problèmes lors de l'apprentissage des ondes en physique au lycée, les élèves ont des difficultés de raisonnement concernant la traduction du phénomène d'onde en termes d'objet. Ces difficultés se situent notamment au niveau du formalisme mathématique qui permet de décrire l'onde en tant qu'une fonction à deux variables, $f(x, t)$, pour tenir compte du comportement spatio-temporel de l'onde, c'est-à-dire de sa position (x) dans l'espace, et de l'instant (t) correspondant à cette position, vu que les deux variables évoluent simultanément. Il en est de même du raisonnement relatif au circuit électrique, identifié par analogie à un circuit hydraulique (Canal, 2007, p. 797) ou à un fleuve (Canal, 2007, p. 800). Pour (Borst, 2016, p. 26), les raisonnements des adolescents et des adultes comportent des biais systématiques de logiques élémentaires.

Pour rappel, Perraudeau (2006, p. 68) nous apprend qu'un élève peut réussir une tâche d'apprentissage sans avoir bien compris le savoir qui était en jeu. La prise de conscience de l'élève est une activité de métacognition qu'il mène sur ce qu'il a appris, notamment pour en connaître les tenants et les aboutissants. C'est donc après avoir pris conscience du sens du savoir appris et de ses implications, que l'élève pourra transférer ce savoir dans une autre situation, afin de résoudre un problème lié à cette situation. Dans le cas des élèves en sciences, par exemple, et particulièrement en physique, bien souvent, les élèves savent utiliser les formules pour déterminer des grandeurs physiques, tracer des graphes, élaborer des relations vectorielles entre grandeurs physiques, mesurer des grandeurs physiques, etc. Cependant, ils ne savent pas interpréter les résultats qui en découlent (Buty, 2003 ; Beaufils & Richoux, 2003 ; Tiberghien & Vince, 2005). C'est-à-dire qu'ils ne savent pas ce que ces résultats signifient concrètement, de façon pratique. En d'autres termes, ils ne savent pas faire le lien entre le(s) concept(s) en jeu dans l'apprentissage entrepris avec les objets et événements du monde matériel (Gaidioz, Vince, & Tiberghien, 2004, p. 1031).

1.2.5.3. De la méthode d'enseignement

Pour Astolfi et Develay, la manière dont les enseignants font acquérir les connaissances scientifiques aux élèves, peuvent être source de difficulté d'apprentissage. Ils notent, en effet, que « *la compréhension est quelque chose qui ne se transmet pas et qui ne peut s'opérer que*

moyennant la participation centrale de l'apprenant. » (Id., 2002, p. 1). Or, selon L. Resnik cité par J-P. Astolfi et M. Develay, l'enseignant transmet directement aux élèves les processus « d'expert » visant la construction de la compréhension d'un concept ou d'un savoir-faire. Pour Resnik, ces processus ne traduisent pas véritablement l'œuvre de construction des élèves, car leurs représentations mentales de débutants ou de novices ne peuvent leur permettre d'élaborer de tels processus, plutôt basés sur les représentations de personnes expérimentées. Dans ce cheminement vers l'acquisition du savoir, l'enseignant doit donc jouer un rôle d'étayage (Astolfi & Develay, 2002, p. 1) qui consiste, pour lui, dans la vision de Bruner, à canaliser la réflexion de l'élève, lui donner les bonnes orientations et l'y maintenir, lui signaler les caractéristiques déterminantes de cette construction, contrôler ses frustrations au cours de cet apprentissage, faire des démonstrations pour lui permettre de mieux comprendre.

Dans la vision d'Ausubel cité par Astolfi & Develay, il s'agit, pour l'enseignant, d'établir des « ponts cognitifs » (d'intégration et de comparaison) entre ce que l'élève sait déjà et le savoir nouveau à acquérir afin de l'amener à des dépassements intellectuels. La suscitation de conflit cognitif dans la classe, mettant en jeu plusieurs pensées agissantes dans la perspective d'un apprentissage mutuel, se présente également comme un moyen efficace de cette construction du savoir. Ce qui exige de l'enseignant la construction de situations d'apprentissage efficaces ; une compétence faisant parfois défaut chez bon nombre d'enseignants, par exemple, dans la mise en œuvre de l'approche par compétence dans le système éducatif ivoirien. Des difficultés provenant, d'une part, de la compréhension même du sens de *situation d'apprentissage* (K. E. Koffi, 2017, p. 55)²⁰ et d'autre part, de la définition des tâches à soumettre aux apprenants (I. K. Koffi, 2017, p. 98)²¹.

Dans le cas des sciences par exemple, I. K. Koffi montre, à partir d'un exemple de situation d'apprentissage en physique, que « *les pratiques prescrites [dans la situation proposée] ne laissent pas le choix à l'apprenant d'exprimer ses propres idées* » (Fofana, 2017, p. 98) car, comme le souligne l'auteur, toutes les informations lui sont fournies comme un protocole à suivre, l'entraînant ainsi dans une démarche inductive. Ce qui ne permet pas à l'élève, sur le plan cognitif, de développer et consolider le raisonnement d'une démarche hypothético-déductive, raisonnement scientifique permettant la résolution de problèmes. Ce que révèlent également Astolfi et Develay concernant le raisonnement des élèves confrontés à la résolution de problèmes par voie d'investigation expérimentale, à travers l'étude effectuée à ce sujet par Giordan. Cette situation d'inductivisme limite donc « *le développement de la conceptualisation chez l'apprenant et le degré de son implication dans la construction du savoir* » (I. K. Koffi, 2017, p. 93). Or la conceptualisation des élèves est le moteur principal de la progression (Astolfi & Develay, 2002, p. 5). Pour les auteurs, selon Papert, « *chaque fois*

²⁰Voir Koffi, K. E. (2017). Regard critique sur la situation d'apprentissage en Français dans l'approche par compétences à l'école primaire ivoirienne.

²¹Voir Koffi, K. I. (2017). Les contraintes didactiques et épistémologiques de la mise en œuvre de l'approche par les compétences dans l'enseignement des sciences.

Ces deux articles sont l'ouvrage collectif *L'approche par les compétences dans le système éducatif ivoirien*, Dir. Abou Fofana, numéro spécial Revue Ivoirienne des Sciences de l'Éducation, 164 pages.

qu'on explique quelque chose à un enfant, on l'empêche de l'inventer », faisant de l'enseignement magistral une pratique inefficace.

1.2.5.4. De la transposition didactique

Toujours du côté de l'enseignant, les difficultés d'apprentissage pourraient aussi s'expliquer par une difficulté de transposition didactique du savoir. Il faut entendre par là, « *[l']activité qui consiste à transformer un objet de savoir savant en un objet de savoir à enseigner* » (Bécu-Robinault, 2009, p. 8). Cette transposition est dite externe (Paun, 2006, p. 3). Le savoir savant est le savoir qui émane directement de la recherche scientifique (I. K. Koffi, 2017, p. 85), et le savoir à enseigner est le savoir prescrit dans les programmes d'enseignement et les manuels (ibid., p. 85). Ensuite, le savoir à enseigner est transformé en savoir enseigné (Paun, 2006 ; I. K. Koffi, 2017), autrement dit, en savoir effectivement dispensé en classe, que l'on retrouve dans les cahiers des élèves. Cette autre transposition didactique est qualifiée d'interne (Opt. Cit.). Elle requiert de l'enseignant une bonne maîtrise du contenu disciplinaire à enseigner, dans son fondement scientifique, mais aussi de la langue d'enseignement, vu que le savoir savant, malgré son unicité consensuelle, est susceptible d'être formulées de différentes manières (Viennot, 1997, p. 77), surtout par rapport aux objectifs d'enseignement. Là apparaît l'importance de la maîtrise de la langue d'enseignement pour la clarté et la précision de la formulation des consignes d'activités données aux élèves (Giordan cité par Astolfi et Develay, 2002, p. 5). Un défaut de cette compétence transversale, chez l'enseignant, mais aussi chez l'élève en termes de compréhension de la langue (Simard, 2001, p. 32), support de transmission des connaissances, peut être source de difficulté pour l'appropriation des savoirs chez l'élève (ibid., p. 32) dans les situations aussi bien didactiques qu'a-didactiques. Ce qui pourrait avoir un impact négatif sur le contrat didactique matérialisant les attentes de l'enseignant vis-à-vis de ses élèves et vice versa, mais aussi en termes de dévolution²² (Reuter et al., 2013) dans la perspective constructiviste de la construction du savoir.

Nous entendons par situations didactiques (I. K. Koffi, 2017, p. 91) les situations que l'enseignant élabore ou choisit pour susciter l'apprentissage d'un objet du programme d'enseignement et faire acquérir le savoir, et par situations a-didactiques, les formes d'évaluations formatives dans lesquelles l'intention de l'enseignant est davantage de s'informer sur les acquis in situ des élèves afin d'opérer, si nécessaire, des reformulations et des remédiations. Les savoirs à transposer en physique, à l'instar des autres disciplines, trouvent leur justification dans les programmes d'enseignement qui peuvent, eux-mêmes, être sources de difficultés d'apprentissage.

²² « *La dévolution est l'acte par lequel l'enseignant fait accepter à la responsabilité d'une situation d'apprentissage (a-didactique) ou d'un problème et accepte lui-même les conséquences de ce transfert* » (Brousseau, 1998, p. 303 dans (Reuter, Cohen-Azria, Daunay, Delcambre, & Lahanier-Reuter, 2013, p. 61)

1.2.5.5. Du programme d'enseignement de la physique

Dans le système éducatif ivoirien, la physique est enseignée au sein de la discipline physique-chimie. Le programme de son enseignement est donc décliné par le programme de la discipline physique-chimie. Ce programme, comme pour toutes les autres disciplines, est construit autour de l'approche par compétence (APC) (Demba, 2013, p. 10). Il définit, pour le niveau d'enseignement de la discipline physique-chimie, le profil de sortie, le domaine d'appartenance, le régime pédagogique et le corps du programme (MENET-FP, 2014, p. 5).

Le profil de sortie définit les différentes situations que l'élève, de la classe de niveau concernée, doit pouvoir traiter à partir des compétences qu'il aura construites dans cette classe. Par exemple, au collège, pour la classe de niveau que nous avons choisie pour notre étude de cas, la classe de 4^{ème}, les compétences à construire doivent permettre de traiter des situations se rapportant : aux lentilles et aux défauts de l'œil; aux forces, à la masse volumique, à l'énergie et la puissance mécaniques; aux lois des intensités et des tensions, à la loi d'Ohm, à la puissance et à l'énergie électriques; aux réactions chimiques et aux solutions aqueuses (ibid., p. 6).

Pour éviter le cloisonnement des disciplines, celles-ci ont été regroupées par domaine. Il existe 5 domaines : le domaine des langues (Français, Anglais, Espagnole, Allemand) ; le domaine des sciences et Technologie (Mathématiques, Sciences de la Vie et de la Terre, Physique-Chimie, Technologie de l'Information et de la Communication à l'École) ; domaine de l'Univers social (Histoire et Géographie, Education aux Droits de l'Homme et de la Citoyenneté, Philosophie) ; domaine des Arts (Arts Plastiques, Education Musicale) ; domaine du développement éducatif, physique et sportif (Éducation Physique et Sportive).

Comme nous pouvons le voir, la physique appartient aux domaines des sciences. Selon le programme éducatif (MENET-FP, 2014, p. 6), les disciplines de ce domaine doivent permettre à l'apprenant(e) d'acquérir une culture scientifique afin de comprendre son environnement et de s'adapter à l'évolution de la société.

Le régime pédagogique de la discipline, correspond au nombre d'heures prescrites par semaine pour une séance de cours, le nombre annuel de semaines et le pourcentage du nombre d'heures annuelles par rapport aux autres disciplines. Pour la classe de 4^{ème}, le volume horaire hebdomadaire d'une séance de cours de physique-chimie, est de 1h30, sur 32 semaines, soit 48h par année. La discipline représente 7% de l'ensemble des disciplines de la classe.

Le corps du programme est décliné en 5 éléments : la compétence visée, le thème traité, la leçon à faire, un exemple de situation d'apprentissage, et le tableau des habiletés à installer chez l'élève avec les contenus correspondant. Pour la mise en œuvre de ce programme, il est recommandé à l'enseignant de recourir à une pédagogie fondée sur une participation active des élèves.

Un guide d'exécution est associé au programme d'enseignement de la discipline (ibid., p. 17). Il comporte deux sections. La première indique la progression annuelle des leçons, sous forme de tableau, organisé en mois, semaine, thème, titres, et nombre de séances d'exécution de la leçon. La seconde présente des propositions d'activités pour chaque leçon, de techniques pédagogiques, et de moyens et supports didactiques.

Hormis les techniques pédagogiques proposées, aucune démarche spécifique à l'enseignement de la physique, telle que la démarche d'investigation dans les programmes en France (Mathé et al., 2008), n'a été prescrite dans le programme d'enseignement ivoirien.

Ainsi, en jetant un regard critique sur les contraintes didactiques et épistémologiques de la mise en œuvre de l'APC dans l'enseignement des sciences, dans le secondaire ivoirien, I. K. Koffi (2017, p. 101) relève que les textes officiels font fi des implications didactiques des théories constructivistes et socioconstructivistes de l'apprentissage, qu'ils prônent, dans l'élaboration des situations d'entrée ou situation d'apprentissage, telle que nommée dans les programmes et guides d'exécution des enseignements. Ce qui impacte sur la qualité des situations proposées par les enseignants, et donc sur celle du processus enseignement-apprentissage.

Aussi, les canevas indiqués par les programmes officiels amènent les enseignants à proposer des activités qui ne traduisent pas toujours les intentions didactiques de ces programmes (Mathé et al., 2008). Et cela conduit à des apprentissages divers qui peuvent ne pas forcément faciliter la compréhension des concepts. C'est ce qui ressort, par exemple, de l'étude que Mathé, Méheu et De Hosson ont réalisée, en France, sur l'appropriation, par les enseignants, de la démarche d'investigation dans les collèges, notamment en ce qui concerne les situations-problèmes proposées et les types d'activités demandées aux élèves. Elles constatent « *des décalages par rapport aux lignes d'attention suggérées par les textes officiels pour la conception de telles démarches*²³ » (Mathé et al., 2008, p. 68).

Même les ressources, telles que les manuels prescrits, pour aider les enseignants dans la préparation de leurs séquences d'enseignement, sont sources de problème.

1.2.5.6. Des manuels scolaires de physique

En analysant le contenu des manuels scolaires de physique, relatifs à la notion d'énergie, utilisés en classe de première scientifique, dans le secondaire en Côte d'Ivoire, de 1980 à 2016, K. Nguessan et Kouakou (2016) arrivent à la conclusion que « *[ces manuels] seraient peu précis vis-à-vis du concept d'énergie et seraient difficilement exploitables, et constitueraient une source de difficultés pour leurs utilisateurs. [Et] que la manière de conceptualiser la notion d'énergie dans ces manuels ne soit pas adaptée pour décrire efficacement les aspects énergétiques que constitue la mise en relation entre théorie et expérience* » (p. 41039).

Nous venons d'exposer les difficultés qui pourraient expliquer la réussite ou l'échec d'un apprentissage scolaire. Nous nous rendons compte qu'elles font intervenir d'innombrables facteurs. Ces facteurs sont liés soit à l'élève (facteurs individuels), à l'institution scolaire

²³ Le pluriel utilisé, ici, renvoie au fait que « *il est apparu [lors de l'étude] que chaque item du programme pouvait donner lieu à une déclinaison labellisée « démarche d'investigation* » (Mathé, Meheut, & De Hosson, 2008, p. 68).

(facteurs scolaires) ou à la famille (facteurs familiaux et sociaux), mais des facteurs en interaction.

Au regard de ce constat, la réussite d'un apprentissage scolaire peut bien avoir lieu en dehors d'un quelconque usage des technologies numériques à l'école. Cependant, de nombreuses recherches (Karsenti, 2016) montrent que ces technologies peuvent aider à améliorer significativement les processus enseignement-apprentissage en agissant sur certains de ces facteurs. À ce propos de nombreux résultats de recherches existent. Qu'il s'agisse, par exemple, des styles d'apprentissage, des pratiques d'enseignement, de l'autonomisation des apprenants, des scénarios pédagogiques, de la gestion de la massification, de la supervision pédagogique, de la compréhension des concepts, du raisonnement logique, des ressources didactiques pour aider les enseignants (Jeannin, Veillard, & Tiberghien, 2010), du suivi scolaire des enfants en relation avec l'école, etc., des dispositifs technologiques appropriés existent.

Dans ce travail de thèse, nous avons choisi de travailler sur la compréhension des concepts de physique. Pour notre part, nous estimons que cette compréhension, entendue comme étant l'élaboration, par l'élève, d'une connaissance déclarative spécifique (Musial et al., 2012, p. 5), s'acquiert, dans le cadre de l'école, à travers un apprentissage, grâce à l'intervention d'un enseignant. Comme, nous l'avons fait remarquer, cet apprentissage peut être influencé par l'ensemble des facteurs que nous avons indiqués plus haut. Ces facteurs, ainsi que les variables qui les caractérisent, sont extrêmement nombreux comme l'a également constaté Baron (2007, p. 18). Il est donc illusoire de vouloir les considérer tous, pour en déterminer les effets sur la compréhension des concepts à faire apprendre à l'élève, dans l'évaluation de cette compréhension. Il faut nécessairement opérer un choix. Nous n'allons donc nous intéresser qu'aux attitudes des élèves envers les sciences, principalement, envers la physique, à la pratique de la démarche d'investigation par l'enseignant, et à sa pratique de la pédagogie de l'apprentissage.

Le choix que nous avons opéré s'explique par le fait que les attitudes des élèves envers les sciences constituent un bon précurseur de l'intention de s'engager dans des études scientifiques, selon Venturini (2004, p. 1). Elles sont ainsi un prédicteur de la réussite de l'apprentissage, car elles conditionnent la motivation et l'engagement de l'élève à l'apprentissage. La démarche d'investigation est, quant à elle, une pratique d'enseignement en science qui aide l'élève à comprendre les concepts (Mathé et al., 2008). Et enfin la pédagogie de l'apprentissage est une pédagogie qui vise à amener l'élève à être un acteur actif de son apprentissage (Altet et al., 2015), dans un processus enseignement-apprentissage.

Face aux difficultés de compréhension des concepts de physique, les recherches en didactique explorent toujours des voies pour faciliter l'enseignement et l'apprentissage de ces concepts. Pour y arriver, Courtillot & Ruffenach (2006, p. 6) préconisent de modifier les pratiques d'enseignement. Dans ce sens, au regard de nombreux travaux (Karsenti, 2016), l'utilisation des Technologies de l'Information et de la Communications (TIC) semble être un bon paradigme.

1.3. Intégration des TIC dans l'éducation pour aider à la compréhension de la physique

Avant d'aborder l'objet de cette section, il nous paraît important de définir la notion d'intégration des TIC dans l'éducation, puis de donner quelques repères historiques concernant l'introduction des technologies à l'école (TICE), pour servir trois causes. La première est liée à une méconnaissance des TICE, que beaucoup de responsables pédagogiques assimilent purement et simplement à l'informatique. C'est certainement l'une des raisons qui expliquent que cette discipline ne soit pas traitée comme les autres, et à laquelle très peu d'heures de cours sont consacrées en formation (Baron, 2007, p. 21). La deuxième est de montrer son importance, en tant qu'un champ de recherche à part entière, en sciences de l'éducation. Et que, de ce point de vue, les activités d'intégration des TIC dans les pratiques d'enseignement et d'apprentissage, dans les centres de formateurs des formateurs, doivent être menées dans une vision, à la fois de pratique et de recherche, et que celles-ci soient questionnées en vue de leur amélioration, à l'instar des autres disciplines scolaires. Pour la dernière raison, il s'agit de montrer que l'environnement technologique du pays se prête bien à de telles innovations pédagogiques. Ensuite, nous jetterons un regard sur les recherches menées en Afrique dans ce domaine afin de situer l'objet de notre étude par rapport aux autres et son originalité.

1.3.1. Notion d'intégration des TIC dans l'éducation

Comprendre la question de l'intégration des TIC à l'école, c'est d'abord comprendre ce que sont les TIC, leur fonctionnement et le contexte de leur utilisation.

1.3.1.1. Qu'est-ce que les TIC ?

Adoptant la définition de Karsenti (2009, p. 33), les TIC - acronyme de Technologies de l'Information et de la Communication – font référence, selon les propres termes de l'auteur, à une quantité phénoménale de matériels, de logiciels et de services s'appuyant sur l'informatique, la microélectronique, les télécommunications (notamment les réseaux), le multimédia et l'audiovisuel de toute sorte. « *Lorsqu'elles sont combinées et interconnectées, [elles] permettent de rechercher, de stocker, de traiter et de transmettre des informations, sous forme de données de divers types (texte, son, images fixes, images vidéo, etc.), et permettent l'interactivité entre des personnes, et entre des personnes et des machines.* » (Basque, 2005 dans Guyomar, 2011, p. 33).

Nous entendons par interconnexion, « la mise en relation de diverses entités matérielles ou logicielles, [de ces technologies], pour qu'elles travaillent ensemble. » (Le Petit Larousse illustré, 2011, p. 545). Ces équipements interconnectés constituent ainsi un réseau informatique. Selon l'étendue de la zone géographique couverte (Mollenauer, 1988 ; Harasim, 1993), le réseau est dit réseau local (ou d'entreprise (RLE) (Local Area Network (LAN)), réseau métropolitain (Metropolitan Area Network (MAN), réseau étendu (Wide Area Net Work (WAN)), à l'échelle d'un pays ou d'un continent, ou réseau global (Global Area Network (GAN), à l'échelle mondiale). Il y a aussi le petit réseau personnel (Personal Area Network

(PAN)²⁴, monté à domicile pour échanger des données entre des appareils. Ces réseaux peuvent être privés ou publiques. Un réseau ne concernant que les équipements d'une même institution est un intranet. Connecté à des partenaires extérieurs, il devient un extranet. Internet est le réseau des réseaux (Dufour & Ghernaouti-Hélie (D), 2006, p. 5).

Ainsi, font partie des TIC, les équipements matériels que nous utilisons au quotidien tels que les téléphones cellulaires et smartphones, les tablettes numériques, les PDA (Personal Digital Assistant), les ordinateurs de bureau, les ordinateurs portables, les appareils photos et caméras numériques, les téléviseurs, les vidéoprojecteurs, etc., mais aussi les équipements de connexion réseaux (Modem, routeurs, Pocket wifi, etc.), les logiciels de navigation Internet (Google Chrome, Internet Explorer, Firefox, Opera, Safari, etc.), de courriers électroniques (Outlook, Hotmail, Yahoo, Gmail, etc.), de messagerie instantanée (WhatsApp, Messenger, imo, etc.), de réseaux sociaux (Facebook, Twitter, LinkedIn, Instagram, etc.), d'appels téléphoniques ou vidéo via Internet (Skype, Imo, etc.), ou de messagerie instantanée et de vidéoconférences (Google Hangouts) et, encore bien d'autres objets technologiques.

Pour accéder à Internet, l'utilisateur a nécessairement besoin d'une connexion à Internet au moyen d'un abonnement Internet, obtenu grâce à un fournisseur d'accès à Internet (FAI), représenté généralement par les sociétés de téléphonie mobile. Dans l'espace des TIC en Côte d'Ivoire, nous avons trois opérateurs de téléphonie mobile : ORANGE, MTN et MOOV. Nous avons présenté dans l'annexe A5, les tarifs des abonnements Internet en 2018, pour chaque opérateur, selon ARTCI²⁵ (2019). Malgré le taux de pauvreté²⁶ (avec moins de 750 FCA, soit 1,14 €, par jour) et un coût moyen minimum de l'abonnement à Internet (20 555 F CFA soit 31,35 € pour l'Internet fixe, et 2499 F CFA, soit 3,81 €, pour l'Internet mobile), relativement élevés, les TIC en général, Internet en particulier, sont fortement présentes dans la société ivoirienne, avec un taux de pénétration de 135,65% dans le cas de la téléphonie mobile à la fin du mois de juin 2018. Ce fort intérêt pour les TIC trouve sa justification dans le contexte de leur utilisation dans le pays.

1.3.1.2. Contexte d'utilisation des TIC en Côte d'Ivoire

Le contexte d'utilisation des TIC en Côte d'Ivoire est assez riche, contexte au sens de Reuter, Cohen-Azria, Daunay, Delcambre, et Lahanier-Reuter (2013, p. 49), mais aussi de celui de Jean-Paul Bernié (2005, p. 147) cité par les premiers, c'est-à-dire l'ensemble des significations que nous attribuons à l'utilisation des TIC à travers celle d'Internet et tout ce qui fait sens dans l'univers des activités et des tâches qui y sont liées, aussi bien les forces (ou avantages) que les faiblesses (ou inconvénients).

²⁴<https://www.ionos.fr/digitalguide/serveur/know-how/les-types-de-reseaux-informatiques-a-connaître/>

²⁵ Agence Tableau 9. Tarifs d'abonnement mensuel des offres Internet fixe (Fibre Optique) de régulation des télécommunications de Côte d'Ivoire

²⁶<https://www.banquemonde.org/fr/country/cotedivoire/publication/cote-divoire-economic-outlook-understanding-the-challenges-of-urbanization-in-height-charts>

Au regard de sa définition technique, Internet présente plusieurs possibilités d'utilisation. Pour Beuscart, Dagiral, & Parasie (2016), et Baya-Laffite (2018), il peut, au-delà de l'approche technologique, être appréhendé, dans le domaine de la sociologie d'Internet, selon une approche fonctionnelle (c.à.d. les services qu'il offre), une approche économique (la dimension économique au sens des échanges commerciaux et des affaires financières), une approche légale et politique (le cadre réglementaire dans lequel il s'inscrit), et une approche sociale (ses impacts dans la société en fonction des possibilités d'utilisation multiples qu'il offre).

D'un point de vue fonctionnel et social, ailleurs comme ici en Côte d'Ivoire, les TIC ont fortement modifié nos modes de vie quotidienne (Baya-Laffite, 2018, p. 96). Leurs effets sont notables, notamment, sur nos manières de nous rencontrer (par exemple à travers les réseaux sociaux), d'échanger des nouvelles (par téléphones, messagerie Internet, ...), de discuter autour d'un sujet (par exemple dans un forum), de nous informer sur l'actualité, la santé, les cultures d'ici et d'ailleurs, etc. à travers les multimédias (Web TV, texte, son, images, vidéo, ...), de consommer (achats en ligne), de travailler à distance, de faire des conférences en ligne, de nous divertir, de nous déplacer, de nous former, etc. À l'instar des autres pays, les TIC sont présentes dans toutes les sphères de la société ivoirienne (Mian Bi, 2011, p. 1) et constituent un facteur de développement socio-économique et de développement durable .

D'après les rapports de veille technologique de l'ATCI, sur la situation des TIC en Côte d'Ivoire, avec les initiatives engagées par le gouvernement (adoption de la 4G, perspective vers la 5G, large bande passante), le pays s'est inscrit fortement dans l'innovation en matière de technologies. D'ailleurs, en février 2002, un séminaire sur la mise en place d'un schéma directeur avait été initié par le gouvernement, à travers le Ministère des nouvelles technologies de l'information. Le pays ambitionnait l'objectif d'être, en Afrique, parmi les pays phare en matière de télécommunication et de multimédia (Bogui, 2007, p. 375). Depuis cette date, le Gouvernement a demandé que les TIC soient intégrées dans tous les services afin de renforcer leur fonctionnement, dans le cadre de son plan de développement économique et social (ibid., p. 375). Par ailleurs, il ressort du rapport de l'Association for the Development of Education in Africa (ADEA) & ICT Task Force (2014, p. 98), que pour la modernisation de son administration, afin de mieux servir les usagers, et pour améliorer également la qualité de vie des citoyens, le pays a mis en œuvre un schéma directeur de la gouvernance électronique (e-Gouv) sur la période 2012-2017. Ce projet de la gouvernance électronique, porté par le ministère des postes et télécommunications, s'articule autour de deux axes majeurs, selon l'ADEA, un axe e-Administration et un axe e-Service.

- *L'axe e-Administration vise à améliorer les conditions de travail de l'Administration par l'usage des TIC par la mise en place d'un intranet gouvernemental.*
- *L'axe e-Service vise l'amélioration des services publics fournis par l'Administration aux citoyens et aux entreprises par l'usage des TIC.*

L'axe e-Service porte sur plusieurs projets sectoriels dont le projet e-Education qui porte sur l'utilisation des TIC dans le système éducatif en Côte d'Ivoire. Par ailleurs, en 2013, dans

le cadre du projet e-Gouv, le Gouvernement s'est également doté d'un cadre juridique institutionnel fort pour garantir la protection des transactions électroniques et celle des données personnelles, mais aussi, pour lutter contre la cybercriminalité. Enfin, pour terminer, nous rapportons, dans le tableau 1, ci-dessous, d'autres données importantes sur l'usage des TIC en Côte d'Ivoire, mentionnées par l'ADEA (2014, p. 99).

Indice de Développement des TIC (IDI)	1,70 La Côte d'Ivoire est classée 137 ^e sur 157 pays.
Taux de souscription au téléphone fixe	1,30 %
Taux de souscription au téléphone mobile	96, 27 %
Taux de connexion à internet	2,3 %

Tableau 1. Quelques indicateurs clés sur les TIC en Côte d'Ivoire. Source : (ADEA, 2014, p. 99).

Le tableau montre une utilisation presque généralisée du téléphone mobile. Au regard des données présentées, le contexte de la Côte d'Ivoire semble favorable pour une intégration des TIC dans le système éducatif du pays.

1.3.1.3. Notion d'intégration des TIC dans l'éducation

Selon Mangenot (2000, p. 3), « *l'intégration [des TIC dans l'éducation], c'est quand un outil informatique est mis avec efficacité au service des apprentissages.* », efficacité signifiant, pour l'auteur, gain en temps d'apprentissage, réduction du temps d'enseignement, réduction de la taille des groupes d'apprenants, activité accrue pour chaque apprenant, meilleure appropriation du savoir par l'apprenant, grande motivation des apprenants à l'apprentissage et meilleurs performances scolaires.

Karsenti (2009, p. 9), emploie le terme d'intégration pédagogique des TIC, et la définit comme l'usage des TIC par l'enseignant ou par les élèves dans le but de développer des compétences ou favoriser l'apprentissage. Il précise plus sa pensée en ajoutant que, « *l'intégration pédagogique des TIC, c'est dépasser l'enseignement de l'informatique et des logiciels. C'est amener les élèves à faire usage des TIC pour apprendre les sciences, les langues, les mathématiques. Intégrer les TIC, c'est aussi faire usage des TIC pour enseigner diverses disciplines* ».

Dans sa définition, Mangenot semble plutôt privilégier la dimension apprentissage, occultant subtilement, la dimension enseignement mais qui, en réalité, y fait allusion dans le sous-entendu du « mis efficacement au service des apprentissages », le terme efficacement se rapportant à l'enseignant, au regard de la signification qu'il donne au mot efficacité. En revanche, la définition de Karsenti, beaucoup plus directe et précise, fait l'économie de la notion d'efficacité, au sens de Mangenot, qui, pour nous, est également essentielle.

De cette analyse, nous proposons la définition suivante concernant l'intégration pédagogie des TIC, en modifiant légèrement celle de Karsenti, ainsi qu'il suit :

L'intégration pédagogique des TIC, c'est dépasser l'enseignement de l'informatique et des logiciels. C'est amener les élèves à faire efficacement usage des TIC pour apprendre les sciences, les langues, les mathématiques, etc. C'est aussi, pour l'enseignant, faire efficacement, usage des TIC pour enseigner sa discipline. Le mot *efficacement*, renvoyant à celui d'*efficacité* au sens de Mangenot.

Après avoir défini, la notion d'intégration des TIC dans l'éducation, voyons à présent les usages qui ont été faits des TIC en Afrique.

1.3.2. Apparition des TIC dans l'éducation dans le monde et en Afrique

Avant de parler des usages des TIC en Afrique, faisons le rappel de quelques repères indiquant leur entrée en éducation dans l'histoire.

1.3.2.1. Quelques repères sur l'apparition des TIC dans l'éducation

Les technologies ont fait leur entrée dans l'enseignement depuis bien longtemps, avec l'apparition du livre, puis du cinéma après, notamment, au début du 20^e siècle (Jaillet, 2011)²⁷ citant Ponchon (2002) et Perriault (1981). Elle a commencé dans les pays du nord (Ngunu Hungu, 2012, pp. 7-11). La France, par exemple, a connu des moments forts dans l'usage des technologies dans les années 1970. D'abord, les premiers éducateurs, qualifiés d'éducateurs modernes, qui ont cherché à utiliser les TIC comme moyen novateur de travail à l'école, après la Première Guerre Mondiale. Puis la télévision, par le biais des recherches sur les théories de communication. L'objectif étant d'utiliser son potentiel en tant que média de masse pour diffuser les savoirs scolaires. Dans cette année, 1970, l'informatique fait aussi son entrée dans l'enseignement secondaire, des logiciels tels que LOGO, et Cabri-Géomètre sont utilisés dans l'enseignement des mathématiques, notamment en géométrie, en Algèbre et en analyse, dans le but d'amener les élèves à adhérer aux mathématiques, et développer leurs capacités de raisonnement logique, et de résolution de problèmes. Ils avaient également pour but de leur permettre de tester, par exemple, des émissions d'hypothèses en physique. Le logiciel Cabri-Géomètre, par exemple, est utilisé aujourd'hui par plus de 100 millions de personnes. Ensuite, dès 1981, l'introduction de l'informatique s'est ensuite généralisée à tous les niveaux de l'enseignement. Dans le même temps, Internet a fait son entrée avec la familiarisation des ménages à l'utilisation des ordinateurs puis a connu un développement vertigineux à partir des années 1990.

Le manque de clarté sur les objectifs de l'enseignement de l'informatique, dans ces premières heures, et la difficulté pour les enseignants qui avaient été formés à l'utilisation de l'informatique, à transférer le contenu de leur formation dans leurs préparations de cours, ont conduit à des obstacles de l'évolution des usages des technologies à l'école. Pour Papert (1980), selon Ngunu Hungu (2012, p. 10), les problèmes liés à l'utilisation des TIC, en classe,

²⁷ Cours de M2 Acrédite, Actualités de la recherche.

concernent les capacités de réflexion et de conceptualisation des élèves. Ces derniers demeurent plutôt focalisés sur l'écran de l'ordinateur que sur les contenus d'apprentissage.

L'Afrique aussi a suivi ce mouvement d'usage des technologies dans l'éducation, plus particulièrement, la radiodiffusion, après qu'elle a été longuement un instrument de médiation politique au service des leaders africains pour la lutter contre la colonisation dans les années 1950 (Djeumeni Tchamabe, 2011, p. 45). À cette époque, les émissions radiodiffusées avaient pour but de faire prendre conscience, à la population, de la nécessité de mener leur pays à décolonisation (ibid.). Mais elle était aussi utilisée comme moyen de développement socio-économique, à travers la diffusion de messages d'hygiène, de santé ou d'économie pratique selon Djeumeni Tchamabe. Qu'en est-il de leur usage dans l'éducation ?

1.3.2.2. Usage de la radio dans l'éducation en Afrique et en Côte d'Ivoire

D'après Djeumeni Tchamabe (2011, pp. 46-47), la radio a été introduite à l'école, après les années d'indépendance (1960) pour résoudre un problème de scolarisation de masse, en réponse à une forte croissance démographique dans les pays africains. Cette volonté, selon l'auteure, avait été formulée par La Conférence d'Addis-Abeba de 1961 qui recommandait de scolariser tous les enfants de 6 à 11 ans.

Au Kenya la radio a été utilisée, dès 1928, sous la colonisation en tant que média de masse d'informations générales (Ngunu Hungu, 2012, pp. 36-37). Selon l'auteur, sous l'ère de la colonisation, la population kenyane a été catégorisée, stratifiée par le colon, en fonction de son appartenance ethnique et régionale. Ainsi, chaque région avait sa langue d'enseignement à l'école. Des enfants, scolarisés dans la région parlant le Swahili, par exemple, étaient enseignés en Swahili, la langue de l'enseignant, et en même temps la langue d'enseignement. Dans une autre, région, comme celle du Nyanza, par exemple, à l'ouest du Kenya, l'enseignement était dispensé dans une autre langue, le Luo. Une situation non propice à une construction nationale. C'est ainsi que, lorsque vint l'indépendance, en 1963, il a fallu uniformiser la langue d'enseignement partout dans le pays, en formant les enseignants dans une même langue, en l'occurrence, l'anglais. Et, c'est là que l'usage de la radio devient majeur dans la réalisation de cette unification. Sous la gouvernance et le pilotage du Ministère de l'éducation Kenyane, les programmes de formation étaient alors dispensés aux enseignants, en les diffusant sur la radio nationale, à des heures précises. Cependant, dans le but de rendre la formation flexible et efficace par la répétition, les cours ont été enregistrés sur des cassettes audio puis diffusés sur les ondes de la radio. Une stratégie qui s'est avérée très efficace pour atteindre le maximum d'enseignants d'où qu'il soit.

1.3.2.3. Entrée de la télévision éducative dans les écoles africaines

À l'instar de la radio éducative, la télévision scolaire est entrée aussi dans les écoles africaines (Djeumeni Tchamabe, 2011 ; Awokou, 2007 ; Desalmand, 1986 ; Egly, 1986), notamment en Afrique francophone, et principalement au Niger, au Sénégal et en Côte d'Ivoire, de mi-novembre 1964 à fin juin 1984 (Egly, 1986, p. 338). Nous rapportons, ici, les expériences de ces trois pays, en la matière (Egly, 1986, 341-345). Si au Sénégal, l'expérience n'a duré que

6 ans, d'octobre 1978 à juin 1984, au Niger et en Côte d'Ivoire, elle a été beaucoup plus longue ; 15 ans au Niger (de 1964 à 1979) et 12 ans en Côte d'Ivoire (d'octobre 1971 à juin 1983). Certes, les objectifs généraux visés par ces programmes télévisuels n'étaient pas les mêmes. Mais ils ont porté des résultats intéressants. Ils se sont arrêtés pour diverses raisons. Au Niger, bien que la qualité des résultats pédagogiques ait été attestée par des organismes comme l'Unesco, la Banque Mondiale, le projet a été suspendu parce qu'il n'était plus en phase avec la vision des autorités du pays qui l'avaient mis sous le sceau du développement. Ce qui conditionnait certainement les contenus des formations dispensées. Cette vision de départ ayant changé, sous la pression des enseignants traditionnels et des parents qui voulaient que leurs enfants aient des diplômes classiques, les autorités ont abandonné une politique de scolarisation accélérée.

En Côte d'Ivoire, 711.516 élèves, sur un total de 882.922 scolarisés d'élèves, ont été formés sur la durée du projet. Cependant, il a chuté, surtout pour des raisons socio-culturelles. En effet, ce programme d'éducation télévisuel (PETV), d'envergure nationale, n'avait pas été bien préparé car « *les études préliminaires [ont été] rapides, superficielles et peu en rapport avec le contexte ivoirien* » (Desalmand, 1986, p. 92). Il n'avait donc pas été bien accueilli par l'opinion publique, ni par les corporations syndicales (ibid., 1986, p. 93). En outre, les ambitions et les dimensions démesurées du projet ont engendré de nombreux services (conception, réalisation, production télévisuelle, fabrication des documents écrits, etc.), avec un nombre élevé de personnel (plus de 500 agents). Ce qui a entraîné des cloisonnements multiples entre ces services, mais aussi de très grandes difficultés dans l'application des principes d'intégration des contenus et des mises en forme, et des structures. L'exécution du projet nécessitait aussi un nombre important d'assistances techniques, avec beaucoup de mobilité des experts étrangers. La formation des agents ivoiriens, pour le projet, se déroulait sur un temps assez long à l'étranger. Et la recherche d'un perfectionnisme du projet conduit à l'utilisation d'appareils trop sophistiqués, sans amener forcément de résultats significatifs.

En ce qui concerne le Sénégal, nous n'avons pas d'informations, d'après nos lectures, sur un quelconque échec du projet d'usage de la télévision scolaire. En revanche, ce que nous savons, et qu'il nous paraît important de relever, au vu du succès constaté dans ce projet, ce sont les dispositions que le pays a prises pour sa mise en œuvre ; une organisation prudente et rationnelle (Egly, 1986, p. 344), après avoir pris connaissance de ce qui s'est passé dans les cas du Niger et de la Côte d'Ivoire. Ce qui a conduit à retenir cinq principes généraux (globalité, flexibilité, économie, pédagogie télévisuelle, qualité). De ce point de vue, un inventaire de tous les besoins et contraintes à prendre en compte a été fait, la réalisation de vidéo trop lourde et de la cinématographie a été exclue, une limitation du nombre d'agents à 50 personnes, à choisir rigoureusement parmi les enseignants, a été adoptée. La décision de réduire également le nombre des émissions, entre 15 et 17 par semaine, a été arrêtée. Ce qui réduisait le coût de la production. Et enfin, un document bref et clair, accessible à tous ceux qui étaient intéressés par le projet a été rédigé. Il définissait toutes les caractéristiques du projet, et le seul utilisé durant l'exécution du projet.

Pour terminer, en ce qui concerne l'expérience du programme d'éducation télévisuelle de la Côte d'Ivoire (PETV), nous rapportons cette phrase de Desalmand : « *Il s'agissait d'une expérience unique au monde d'utilisation systématique d'une technologie de pointe dans un pays en voie de développement.* » (p. 92), et nous ajoutons que ce qui a manqué, pour sa réussite,

c'est une démarche similaire à celle du Sénégal. Malgré tout, la Côte d'Ivoire n'a pas abandonné son souhait de voir l'informatique, d'abord, les TIC, ensuite, jouer un rôle majeur dans son système éducatif.

1.3.3. Intégration des TIC dans l'éducation en Côte d'Ivoire. Une vision du Président Félix-Houphouët BOIGNY²⁸ au lendemain de l'Indépendance

1.3.3.1. De l'introduction de l'informatique dans l'éducation en Côte d'Ivoire dès 1986.

D'après un rapport rédigé en octobre 1986 par Degni Egni et Touré Saliou (1986), pour le compte de la Commission des Affaires Sociales et Culturelles du Conseil Économique et Social²⁹, l'introduction de l'informatique dans l'éducation en Côte d'Ivoire a été décidée, dès le 5 mai 1986, par le Président Félix Houphouët-Boigny, le premier Président de la Côte d'Ivoire. Cependant l'intérêt des autorités pour l'informatique était réel bien avant, tel que le précise le rapport, en ces termes :

« Depuis la création de l'Office Central de la Mécanographie (OCM) par le Décret n° 67-528 du 28 Novembre 1967, les autorités politiques n'ont jamais cessé de suivre de près le développement de l'informatique et de ses applications dans la vie économique et sociale.

Le 16 Juin 1979, le Président de la République écrivait à tous les membres du Gouvernement : « Comme vous le savez, les sciences de l'informatique prennent un essor de plus en plus grand dans le monde moderne Il est donc indispensable qu'une commission interministérielle se penche attentivement sur l'étude de ces divers problèmes ... ».

Ainsi fut créée la Commission Nationale pour le Traitement de l'Information (CNTI) par le Décret n° 80-63 du 14 Janvier 1980. » (Degni & Touré, 1986, p. 2).

Selon les auteurs, c'était une décision politique capitale, car c'est toute l'éducation nationale qui entrait dans l'ère de l'informatique, depuis l'enseignement primaire. Les autorités estimaient, en effet, qu'il fallait que tous les enfants scolarisés, même les adultes aussi comme nous le verrons plus loin, devaient savoir utiliser l'outil informatique, même s'ils ne devraient pas forcément en être des techniciens spécialistes. Pour cela, il fallait donc adopter une politique audacieuse d'utilisation de l'informatique dans l'enseignement parce qu'elle permettrait, d'une part, à l'école de s'ouvrir aux phénomènes contemporains, et de l'autre, aux élèves de

²⁸ Le premier Président de la Côte d'Ivoire indépendante, dès 1960.

²⁹Dénommée, aujourd'hui, *Conseil économique, social, environnemental et culturel*, est une institution de l'État de Côte d'Ivoire créée, en vertu de la Constitution du pays. Elle contribue à l'élaboration de la politique économique et sociale du Gouvernement.

« maîtriser le développement des techniques nouvelles, informatiques ou télématiques, de traitement, de stockage ou de traitement des informations. » (Degni & Touré, 1986, p. 3).

Ainsi, afin de mettre en place un cadre de réflexion approfondie pour l'adoption d'une stratégie en vue de faciliter l'introduction de l'informatique dans l'école en Côte d'Ivoire, les chargés d'étude, Degni et Touré, ont fait un ensemble de propositions, à partir des expériences des pays développés. Les expériences nord-américaines et européennes, dont nous relevons, ici, quelques arguments forts, sont alors passées en revue.

En Amérique, l'introduction de l'informatique dans l'enseignement primaire et secondaire a été décidée, en 1978, après le constat d'une baisse de niveau des élèves à l'entrée de l'Université. En Europe, et principalement en France, un colloque fut organisé à Sèvres, en 1970, sur le thème « Informatique et enseignement », à l'issue duquel l'introduction de l'informatique dans l'enseignement fut décidée avec deux objectifs majeurs : « *Sensibiliser les élèves du second cycle long du second degré à l'utilisation des ordinateurs* », et, « *familiariser ces élèves avec les formes de raisonnement propres à l'informatique à travers l'enseignement de toutes les disciplines* ». Pour l'exécution du projet, une attention particulière était portée sur la formation des enseignants et un plan d'équipement de toutes les académies, avec le matériel à utiliser. Une opération dénommée « opération 10.000 micros ordinateurs », mise en œuvre, permit alors d'initier rapidement 10.000 enseignants à l'utilisation de l'informatique, de manière à ce que l'informatique soit un facteur d'innovation dans toutes les disciplines.

Partant de ces faits, dont nous n'avons exposé que quelques-uns, Degni et Touré ont donc fait remarquer que l'introduction de l'informatique dans l'enseignement ivoirien, au primaire comme au secondaire, pourrait avoir des avantages, aussi bien pour l'élève que pour l'enseignant. Pour les élèves, selon eux, elle aiderait à faciliter l'introduction de nouveaux concepts dans certaines classes ; permettra de compenser la baisse de niveau des élèves par un enseignement assisté par ordinateur (EAO) ; facilitera l'apprentissage individuel en donnant la possibilité à l'enfant d'apprendre à son rythme et d'être plus actif dans son apprentissage grâce à ses actions sur l'ordinateur ; permettra d'inculquer à l'enfant, dès son plus jeune âge, une démarche algorithmique, afin qu'il acquiert un comportement qui lui permette, à tout moment, d'adopter une méthodologie pour résoudre les problèmes de la vie quotidienne ; permettra d'inculquer à l'enfant le goût de la recherche et du raisonnement scientifique ; et « *les possibilités de visualisation graphiques disponibles sur l'ordinateur (dans le plan, dans l'espace, avec de la couleur, ...) offrent des moyens de représentation permettant à l'élève d'appréhender la quasi-totalité des aspects et du comportement d'un phénomène à étudier et de comprendre des notions qui sous-tendent certaines théories grâce à la modélisation, à la simulation, etc.* » (Degni & Touré, 1986, pp. 10-11). Enfin, ils rapportent, que l'ordinateur suscite la curiosité des enfants, et leur goût de la créativité. Pour, l'enseignant, les auteurs, précisent qu'elle l'assistera dans la préparation de ses cours et du contrôle de l'assimilation des connaissances ; elle lui évitera les exercices répétitifs afin de lui permettre d'assurer une pédagogie de soutien et une pédagogie différenciée ; permettra à l'enseignant, une fois libéré, d'un ensemble d'activité et de contraintes d'être véritablement un médiateur entre les élèves, les supports informatiques, les savoirs, et les savoir-faire. Pour terminer, Degni et Touré font noter qu'au-delà du « rôle pédagogique » de l'informatique à l'école, il serait possible de développer des applications informatiques de gestion pour le suivi scolaire des élèves.

Ainsi que nous pouvons le voir, dans l'exposé de cet historique sur le début de l'introduction de l'informatique dans l'enseignement en Côte d'Ivoire, il y a encore beaucoup à dire, comme par exemple, sur la mission française, conduite en janvier 1985, par Jean Vergnes et André Deledicq du projet d'Université d'été Informatique de Salon de Provence de 1983, dont l'objectif était de « *sensibiliser des personnels à l'usage de l'outil informatique [...] et, de donner une formation à des gens leur conférant « le permis de conduire informatique », (savoir utiliser un clavier) » (Degni & Touré, s. d.). Ou encore, le fait qu'elle fut dispensée bénévolement par des enseignants expatriés, seulement à une élite d'élèves intéressés, pendant leurs temps libres, dans les écoles publiques, ou réservée aux élèves de parents économiquement aisés, dans les établissements privés, ... ; la sensibilisation de la population sur le projet d'introduction pour éviter l'expérience malheureuse du Programme de l'éducation télévisuelle (PETV), etc.*

Nous ne pouvons donc pas tout rapporter. Mais, ce qu'il faut retenir, par contre, c'est de savoir que très tôt, la Côte d'Ivoire avait perçu, l'importance de l'introduction de l'informatique dans l'enseignement de toutes les disciplines scolaires, pour la réussite d'un tel projet les conditions avaient été identifiées. Il s'agit, entre autres, de la formation des enseignants et des élèves à l'utilisation de l'outil informatique, la mise à disposition des équipements nécessaires dans les établissements, la sensibilisation et la concertation de tous les acteurs concernés par le projet, l'importance de l'identification des besoins à partir de la revue d'études antérieures rapportant l'expériences des autres en la matière, l'importance des contenus pédagogiques et des méthodes, l'importance du rôle que l'informatique peut jouer dans le développement économique et social du pays, mais aussi les apports des partenaires nationaux et internationaux, enfin un engagement fort de l'état pour l'informatique scolaire.

1.3.3.2. De l'introduction de l'informatique dans l'éducation aux TICE

L'État poursuit la modernisation de son système éducatif, dans la même dynamique que celle engagée depuis 1986, avec le projet e-Education, monté dans le cadre de la gouvernance électronique du pays, par l'usage des TIC. Ce projet d'e-Education touche tous les ordres d'enseignement de la Côte d'Ivoire (Association for the Development of Education in Africa (ADEA) & ICT Task Force, 2014). Dans ce cadre, plusieurs projets ont été initiés, selon ADEA, dans les ordres d'enseignement primaire et secondaire, pour le MENET-FP, et dans l'enseignement supérieur, pour le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique (MESRS).

Ainsi, au niveau du MENET-FP, plusieurs projets ont vu le jour. Il s'agit des projets IFADEM, SANKORE, UNESCO-CFIT, GÉNÉRATION NUMÉRIQUE, Collecte des statistiques scolaires via le téléphone mobile, Équipement des CAFOP, MOBILE LEARNING, et ENEA Côte d'Ivoire.

Le projet **IFADEM**³⁰ (ou Initiative Francophone pour la formation à distance des Maîtres) a été mis en place et financé, pour une durée de 2 ans, par l'Agence universitaire de la francophonie et l'Organisation Internationale de la francophonie (OIF), à la demande des chefs d'État et de Gouvernement, au XI^{ième} sommet de la Francophonie à Bucarest (en Roumanie) en 2006; réaffirmée au Québec (au Canada) en 2008, à Montreux (en Suisse) en 2010, puis à Kinshasa (en République Démocratique du Congo) en 2012. Ces chefs d'État et de Gouvernement ont demandé à l'AUF et l'OIF, de soutenir, avec les moyens techniques dont elles disposent, leurs politiques nationales de modernisation de leurs systèmes éducatifs. 15 pays ont été concernés par ce projet : le Bénin, le Burkina Faso, le Burundi, le Cameroun, les Comores, la Côte d'Ivoire, Haïti, le Liban, le Madagascar, le Mali, le Niger, la République démocratique du Congo, le Sénégal, le Tchad et le Togo. Chacun des pays ayant ses besoins propres. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, 500 instituteurs adjoints (instituteurs recrutés avec le BEPC), ayant au moins 10 ans d'ancienneté, et utilisant principalement le français comme langue d'enseignement, quel que soit le niveau où ils interviennent, ont pris part à ce projet. Le dispositif mis en place était un dispositif hybride, pour un parcours de formation de 200 heures réparties sur 9 mois comprenant 3 regroupements en présentiel des enseignants concernés par le projet, sur 2 à 3 jours. Le reste de la formation s'est déroulée à distance avec un tutorat, deux fois maximum par mois. Six livrets, contenant les contenus de la formation, ont été mis à la disposition des participants.

Le projet **SANKORE**, l'une des innovations majeures en matière de TICE, à notre sens, fut certainement, dans le dispositif de l'enseignement scolaire ivoirien, l'introduction de la classe numérique SANKORE qui regroupe, dans la salle de classe, en un seul objet, le numérique, le réseau ainsi que l'interactivité de l'ordinateur et de l'écran tactile avec les acteurs en présence. En effet, SANKORE, comporte trois entités : 1- une entité matérielle, composée d'un ordinateur portable, d'un vidéoprojecteur à infra-rouge muni d'un dispositif de pointage, et d'un tableau blanc interactif (TBI) traditionnel, interconnectés entre eux. Hormis le TBI traditionnel, le vidéoprojecteur SANKORE peut transformer n'importe quel mur en un grand TBI interactif ; 2- une entité logicielle, désignée Open-Sankoré, qui est une suite de logiciels libres gratuits de tableau blanc interactif (TBI), compatible avec n'importe quel vidéoprojecteur disposant d'un dispositif de pointage ; 3- une entité ressources qui est une bibliothèque de ressources libres (cours, exercices, illustrations, vidéos, etc.) interactives. La classe numérique SANKORE se compose donc de ce kit-là. SANKORE a été développé par la Délégation Interministérielle à l'Éducation Numérique en Afrique (DIENA) francophone, entre 2010 et 2013. Le projet SANKORE a été lancé en 2013, pour une durée d'un an. Sont partenaires dans ce projet, l'Ambassade de France et la DIENA. Ainsi, dans le cadre du projet, ce sont 481 kits, sur 500 kits reçus, qui ont été distribués dans les 36 Directions Régionales de l'Éducation Nationale et de l'Enseignement Technique (DRENET) du pays, d'après la Sous-direction de l'Innovation Pédagogique (SDIP) du Ministère Ivoirien de l'Éducation Nationale. 1047 enseignants de l'enseignement primaire et de l'enseignement secondaire ont été formés. Globalement, le projet vise la distribution de 600 classes numériques pour l'équipement des établissements

³⁰<https://www.ifadem.org/fr/presentation>

d'enseignement primaire, secondaire, supérieur, les Directions Régionales (DRENET) les Antennes Pédagogiques et de la Formation Continues (APFC), les CAFOP et des ONG.

Le projet **UNESCO-CFIT** a été lancé en 2012, pour une durée de 4 ans. Il est financé par le Gouvernement Chinois et exécuté par l'UNESCO. La devise du projet est « *Améliorer la formation des enseignants pour combler le déficit de la qualité de l'éducation en Afrique* »³¹. Il s'agit de mettre à profit, les TIC pour améliorer la qualité de la formation des enseignants en Afrique subsaharienne. Le projet vise à accélérer la réalisation de l'éducation pour Tous (EPT). Sur la durée du projet, huit pays étaient concernés. Ce sont le Congo, la Côte d'Ivoire, la République Démocratique du Congo, l'Éthiopie, le Liberia, la Namibie, la Tanzanie et l'Ouganda. En Côte d'Ivoire, le projet a consisté au renforcement des capacités des encadreurs pédagogiques, et à la formation des enseignants à travers un dispositif de formation ouverte à distance (FOAD). Les infrastructures et les équipements, utilisés pendant l'exécution du projet, ont été mis en place par le Gouvernement Chinois, à travers son Ambassade.

Le projet **GÉNÉRATION NUMÉRIQUE** est initié par la compagnie de téléphonie mobile MTN Côte d'Ivoire, depuis 2007. À travers ce projet, dont l'objectif est d'intéresser l'école au numérique, cette compagnie de téléphonie dote des établissements d'enseignement secondaire de Côte d'Ivoire de salles multimédia avec connexion à Internet. Ce sont 22 établissements à travers tout le pays qui ont déjà bénéficié de ce don depuis le début de ce projet. L'équipement de 12 autres établissements, à l'intérieur du pays, était prévu pour l'année scolaire 2013-2014.

Le projet de **collecte des statistiques scolaires via le téléphone mobile initié par l'UNESCO, NOKIA et Orange Côte d'Ivoire** consiste à recueillir les statistiques scolaires par l'utilisation des téléphones mobiles. C'est une expérimentation, en cours dans une DRENET, qui est coordonnée par la Direction des Stratégies, de la Planification et des Statistiques (DSPTS) du MENET-FP.

Le projet **d'équipement des Centres d'Animation et de Formation Pédagogique (CAFOP) en matériels informatiques** a été réalisé dans le cadre du contrat de désendettement et de développement (C2D). Ce contrat découle de la reconversion des dettes que la Côte d'Ivoire a contractées vis-à-vis de la France. Cette dette est retournée à la Côte d'Ivoire, par la France, puis réinjectées dans le pays, sous forme d'investissements au bénéfice de la Côte d'Ivoire. Tous les secteurs sont concernés par le C2D, le secteur des routes, de la santé, d'éducation-formation, etc. Ainsi, à la faveur du C2D, 14 Centres d'Animation et Formation Professionnelle (CAFOP) ont été équipés en matériels informatiques.

Le projet **MOBILE LEARNING ou m-Learning** est un projet financé par l'Agence Française de Développement (AFD), à hauteur de 200 millions de francs, et accompagné par l'Agence universitaire de la francophonie (AUF). L'objectif de ce projet était de renforcer les capacités de 400 instituteurs et 600 professeurs de collège de cinq villes pilotes (Agboville, Divo, Bouna, Boundiali et Séguéla), à travers une formation à distance avec des tablettes, sur une durée de 2 ans, de 2015 à 2017. Quatre (04) disciplines fondamentales, Mathématiques,

³¹<https://fr.unesco.org/themes/enseignants/cfit-enseignants>

physique-chimie, Sciences de la vie et de la terre et Français, ont été concernées par l'expérimentation. La stratégie arrêtée, dans le cadre de l'expérimentation, a consisté à télécharger les modules de formation sur les tablettes, et à laisser librement les participants l'autonomie de s'auto-former, où qu'ils soient et selon leur disponibilité sans dépendre de la connexion internet.

Le projet **ENEA** (École Numérique d'Excellence Africaine) **Côte d'Ivoire** est un projet initié par le GESCI (Initiative Global E-Schools and Communities), un groupe fondé par le Groupe de travail des Nations Unies sur les TIC. En partenariat avec la Mastercard foundation (MCF) et les Ministères de l'Éducation du Kenya, de la Tanzanie, et de la Côte d'Ivoire. Il est prévu pour une durée de 5 ans, sur la période 2016-2020. Le programme a déjà eu lieu au Kenya et en Tanzanie. Il se poursuit à présent, pour une durée de 2 ans. L'objectif du projet est de *« mettre en œuvre un modèle efficace, durable et reproductible d'intégration du numérique dans l'enseignement secondaire qui mènera au développement des compétences du 21ème siècle, l'amélioration des résultats d'apprentissage des apprenants et leur préparation pour le milieu de travail dans l'économie du savoir »*, selon les termes de référence du projet, pour lequel nous sommes membre d'un sous-Groupe de Travail d'Expertise. Le projet se focalise essentiellement sur l'utilisation des TIC dans l'enseignement et l'apprentissage, en sciences, technologie, anglais, et mathématiques (STEM), et d'autres domaines tels que les arts et sciences humaines, dans l'enseignement secondaire. Vingt (20) chefs d'établissement, et 200 enseignants, participent à ce projet. Afin d'assurer une réussite durable dans la mise en œuvre du projet, le programme utilise 4 stratégies : l'institutionnalisation, au niveau national, du modèle ENEA dans les institutions éducatives existantes, une planification et un développement intégral de l'intégration des TIC dans l'école, avec la participation des chefs d'établissements et des enseignants STEM, développement professionnel des enseignants au sein de l'établissement, une approche d'apprentissage mixte pour les enseignants, grâce un dispositif hybride de formation.

Au niveau du MESRS, le projet e-Education a permis l'interconnexion de trois Universités et deux grandes écoles publiques, l'équipement d'un Data Center à l'Université Félix Houphouët-Boigny et de trois Amphithéâtres sur chacune des trois Universités publiques pour le télé-enseignement, la mise en place d'un Réseau Ivoirien de Télécommunication pour l'Enseignement et la Recherche (RITER), regroupant les différents Directeurs des Services Informatiques des Universités et Grandes Écoles publiques, dont le rôle est de veiller à la mise en œuvre harmonieuse de la politique e-Education dans l'Enseignement Supérieur ; l'organisation de formations pour les acteurs du monde universitaire (enseignants, gestionnaires de services, etc.). Ainsi, les enseignants des Universités et Grandes Écoles publiques ont reçu une formation d'au moins 40 heures pour la mise en ligne de leurs cours. Les gestionnaires des bibliothèques universitaires, des services de scolarité, les responsables des services informatiques ont aussi été formés. Le projet e-Education, dans les universités, vise l'extension de l'interconnexion des deux Universités publiques et aux centres de recherche, la mise en service du Data Center pour la mise en ligne des cours et favoriser les Formations Ouvertes à Distance (FOAD). Un équipement des Structures du MESRS, par l'AFD, en matériels informatiques, est également prévu dans le cadre du C2D. Il y a aussi le projet du Campus Virtuel Africain (CAV) Abidjan, créé à l'initiative de l'UNSECO pour la formation des

formateurs, tant du primaire, du secondaire que du supérieur à la production et à la mise en ligne de contenus éducatifs. Ce campus est logé à l'Université de Cocody (à Abidjan, Côte d'Ivoire) dans le bâtiment du Data Center des Universités publiques. À côté de ces projets, il y en a eu encore d'autres comme celui du MOOC CERTICE SUP (CERTification des compétences TICE des enseignants du SUPérieur), par exemple, projet mené par l'AUF en partenariat avec l'Université Cergy-Pontoise. L'objectif³² de ce projet, selon les concepteurs, est de « *proposer les ressources nécessaires pour certifier les doctorants, enseignants et formateurs du Supérieur qui le souhaitent à l'utilisation des technologies dans l'éducation.* ». Plusieurs enseignants du supérieur ont participé à ce MOOC, dès son lancement en 2018.

La situation que nous avons décrite concernant les TIC en Côte d'Ivoire, en général, et dans l'éducation, en particulier, montre que la question intéresse au plus haut niveau les pouvoirs publics. Ce qui est un indicateur important quant aux possibilités de réalisation de projets d'intégration des TIC à l'école (Poel, 2010, p. 7), pour innover les pratiques enseignantes et améliorer les apprentissages. À côté des projets d'envergure nationale, la recherche aussi s'est intéressée à la question des TIC dans l'éducation en Afrique. Relevant, en grande partie, d'initiatives individuelles, comme la nôtre, elles visent toutes à produire des connaissances pouvant être utiles aux systèmes éducatifs africains. Voyons, quelques recherches en Afrique subsaharienne afin de montrer où se situe notre contribution dans cette dynamique.

1.3.4. Des recherches sur les TIC dans l'éducation en Afrique

1.3.4.1. Champs disciplinaires des TICE

Comme le dit Alain Jaillet (2011)³³, les technologies de l'éducation ont tellement de potentiel qu'elles peuvent induire de nouvelles pratiques en classe, au point que de nombreux travaux ou projets, s'intéressant à l'usage des technologies dans l'éducation, peuvent ne pas conduire vers la production de connaissances sur les pratiques de classe, ni sur les effets induits au bénéfice de l'éducation. Cela est d'autant vrai que Brigitte Albero relève la confusion qui est parfois faite entre pratique et recherche (Albero, 2004, p. 11). Elle montre en effet, que la recherche en technologie de l'éducation peut avoir différentes orientations selon les disciplines qui s'intéressent aux environnements informatiques d'apprentissage humain (EIAH).

1.3.4.2. Différents domaines de la recherche en TICE

Les quatre grandes orientations que retient Brigitte Albero concernant la recherche en technologie de l'éducation, sont le développement d'outils, leurs usages sociaux, leurs finalités, et les conditions de productions de savoirs. Dans la première orientation, il y a les travaux sur

³²<http://mooc-certice.auf.org/certicesup/objectif/>

³³ Cours M2 Acredite, 2011, Actualités de la recherche en technologie éducative

les études de conception, de développement et d'évaluation des technologies. Ils relèvent, selon l'auteure, de l'informatique.

Dans la deuxième orientation, nous avons les travaux qui s'intéressent aux usages sociaux des technologies. Ils appartiennent au domaine des sciences humaines et sociales (SHS). Nous avons également, les études tendant à faire évoluer et adapter les technologies élaborées. Elles sont du domaine de l'ergonomie, tandis que celles qui s'intéressent aux détails des opérations mentales de l'individu en situation spécifique d'apprentissage ou d'enseignement, mais aussi des stratégies individuelles qu'il met en œuvre, utilisant l'outil, sont du ressort de la psychologie cognitive, souvent partenaire de l'ergonomie (ibid., p. 16).

Une troisième orientation concerne les travaux qui portent sur la question des finalités de l'innovation technique. Ceux-ci sont traités par la philosophie, qui analyse les discours apologiques ou critiques sur la question.

La dernière orientation renvoie aux travaux des sciences de l'éducation, car ce sont des travaux qui concernent l'épistémologie, parce qu'en rapport avec la réflexion sur les cadres de références et les conditions dans lesquelles les savoirs sont produits et diffusés (Albero, 2004, p. 16), ainsi que les travaux sur les pratiques didactiques et pédagogiques (Albero, 2004, p. 17), en lien avec les disciplines dans et pour lesquelles ces technologies sont utilisées et analysées. Les recherches africaines qui nous intéressent sont celles qui s'inscrivent dans cette dernière orientation.

1.3.4.3. Panorama des recherches sur l'intégration des TIC dans l'enseignement en Afrique francophone, et en Côte d'Ivoire

Contrairement à l'occident où les recherches en technologie de l'éducation ont l'âge de l'apparition du livre (Jaillet, 2011, p. 1), elles sont plutôt jeunes en Afrique francophone, même si elles suscitent, depuis maintenant deux décennies, un intérêt grandissant (Tchamabe, Atangana, Lamago, & Nouatcha, 2014, p. 7), tant du côté des partenaires en éducation, des pouvoirs publics, qu'au niveau de quelques personnes du domaine de la formation formelle, non formelle et informelle.

Dans leur ouvrage collectif, tendant à rendre visible les chercheurs en technologie de l'éducation et leurs travaux, à travers une enquête en ligne, réalisée dans 47 pays d'Afrique au sud du Sahara, les auteurs ont identifié trois typologies de recherches (ibid., pp. 38-39). Il s'agit de typologies de recherche centrées, respectivement, sur les recherches en sciences humaines et sociales, les recherches en sciences abstraites (Maths, informatique), et les recherches en sciences expérimentales (SVT, Physique, chimie, etc.). Tchamabe et al. (2014), notent que les recherches en sciences humaines et sociales portent, généralement, sur les recherches qui analysent la place des TIC dans les dispositifs de formation, en ce qui concerne, « *les modalités de formation, l'intégration des TIC, les pratiques d'enseignement avec l'ordinateur au sein de la relation pédagogique- degré d'autonomie de l'apprenant- les usages des TIC selon des stratégies pédagogiques/ les types de connaissances visées- les TIC - les étapes du processus d'enseignement, les usages des TIC selon les types d'activités d'une école et les usages des TIC selon les acteurs de l'école, les usages des TIC selon les impulsions des apprenants, l'orientation scolaire, universitaire et professionnelle, les fonctions cognitives supportées par*

les technologies - recherche sur les comportements et les étapes du processus d'apprentissage. » (Tchamabe et al., 2014, p. 38).

Pour les sciences expérimentales, les recherches se sont intéressées aux thématiques de Formation, E-Learning et pédagogie, de Conception de systèmes E-Learning, de Stratégies sectorielles, de Solutions aux problèmes d'infrastructures et d'accès, de Développement de compétences, de Développement et création de contenus, de Recherche, suivi et évaluation, d'Atteinte des objectifs de l'éducation pour tous, de Mobilisation de ressources et partenariats, de Politique et planification, et de Partenariats et Networking. Les auteurs n'ont rien signalé en ce qui concerne les thématiques en sciences abstraites. Nous n'apercevons pas clairement, de thématiques liées directement à la didactique des disciplines. Dans la même veine, pour avoir également une visibilité sur les TICE en Afrique subsaharienne, Stolwijk et Roy (2011) ont recensé 16 thèses et 02 articles publiés sur les usages des tableaux numériques interactifs (TNI) en Afrique.

À l'instar de Stolwijk et Roy, nous avons également exploré 21 articles dont 10 se rapportent à la Côte d'Ivoire, mais aussi 08 articles de l'ouvrage collectif de Karsenti (2009, pp. 13-122) – articles présentés sous forme de chapitres - sur les stratégies et des pistes de réflexion sur l'intégration des TIC en Afrique. En fonction des objets d'études, nous avons classé ces articles selon différentes problématiques. Il s'agit, notamment, des problématiques liées aux typologies d'usage, à l'évaluation des dispositifs, à l'intégration des TIC en éducation, à la pratique didactique, au rendement scolaire, à l'état des lieux des TICE, et à la supervision pédagogique.

Ainsi, nous avons, pour les typologies d'usages les articles de Attenoukon (2011), Mian Bi (2010; 2013), Ngnoulayé (2011), Roy (2012a ; 2012b), Ngandeu (2016), D. Diallo & Diaoune (2019), Souhaliho & Mian (2018), et N'dede (2012), pour l'évaluation des dispositifs (ex : les dispositifs de Formation à Distance (FAD)), l'article de Coumaré (2010), pour l'Appropriation des TIC, l'article de Cishahayo (2011), pour l'Intégration des TIC en éducation, les articles de A. Diallo (2011), Meyong (2009), Ouédraogo (2011), Dakouré (2012); Ngandeu (2016), Karsenti (2009), Bogui (2007), ADEA (2016), Tamboura (2010), et Djédjé (2007), pour la pratique de la Didactique des disciplines, les articles de Boro (2011), Tchinkap & Jaillet (2018) et **Ze (2017)** ; pour la Formation, les articles de Daniel & Mian (2017), Mian Bi (2015 ; 2011), pour le Sentiment d'efficacité personnelle, l'article de Coulibaly (2010) ; pour le Rendement scolaire et pour les enjeux des TIC, l'article d'Attenoukon (2011) ; pour les représentations/perceptions, les articles de Attenoukon (2011), et de Kouawo (2011) ; pour l'état des lieux des TICE, les travaux de Loiret (2007), de l'Association for the Development of Education in Africa (ADEA) & ICT Task Force (2014), de Tchamabe et al. (2014), et d'Azoh, Koutou, & Soumahoro, s. d.) ; et enfin pour la Supervision pédagogique, nous avons l'article de Nouhou (2017).

En prenant en compte, les articles de l'ouvrage collectif de Karsenti, produits par Pierre Fonkoua (p.13), Thérèse Mungah Shalo Tchombé (p. 21), Mohamed Touré, Moses Mbangwana & Pape Sène (p. 33), Karsenti & Salomon Tchameni Ngamo (p. 57), Salomon Tchameni Ngamo (p. 76), Kathryn Touré (p. 94), Djénéba Traoré (p. 111) et, Papa Amadou Sène, Lamine Diarra, Mohamed Maïga & Djénéba Traoré (p. 122), ce sont une cinquantaine de contributions que

nous avons. Nous constatons, hormis la seule étude de Yannick Stéphane Nleme Ze, portant sur les apports des simulateurs associés à un exerciceur en sciences physiques, sur la motivation, aucune autre de ces publications ne rapporte un travail sur l'utilisation de simulations dans un contexte d'enseignement apprentissage. Comme nous pouvons le voir, très peu d'études abordent donc les questions d'analyse des pratiques d'enseignement, avec simulateurs, selon une perspective didactique, encore moins en physique.

Par ailleurs, il existe une panoplie de dispositifs TIC. Pourquoi avoir choisi, dans le cas de notre recherche, les simulations informatiques et non pas un autre dispositif TIC ? La section qui suit, portant sur les typologies des usages des TIC pour l'enseignement, selon Basque & Lundgren-Cayrol (2003), répond à cette question.

1.3.4.4. Typologies des TIC pour l'acte d'enseignement/apprentissage. Place de notre recherche par rapport aux autres, et originalité

Pour Basque et Lundgren-Cayrol (2003, p. 2), se référant à la définition que Sauvé (1992) a tirée d'une publication de Legendre (1993), à la page 1382, « *une typologie est un « système de description, de comparaison, de classification, voire d'interprétation ou d'explication des éléments d'un ensemble, à partir de critères jugés pertinents, qui [ce système] permet de ramener d'une façon simplifiée à quelques types fondamentaux, une multiplicité d'objets ou de phénomènes distincts* ». Nous retiendrons, simplement, qu'une typologie est un système d'informations fondamentales qui permet de classer des objets ou des phénomènes dans un même groupe, une même catégorie d'objets ou de phénomènes, bien que ces objets ou phénomènes soient différents. Ainsi, un même objet ou un même phénomène peut appartenir à plusieurs typologies différentes, selon les caractéristiques qu'il présente. À partir d'un état de l'art, suffisamment documenté sur les typologies des usages des TIC en éducation, Basque et Lundgren-Cayrol ont dressé un tableau de 24 typologies des usages des TIC en éducation centrées sur l'acte d'enseignement/apprentissage (ibid., pp. 20-35), avec leur auteur, non sans oublier d'indiquer dans leur papier, qu'il existe deux autres typologies que sont les typologies centrées sur l'école, et les typologies centrées sur l'apprenant. Les typologies centrées sur l'acte d'enseignement/apprentissage sont classées d'après plusieurs variables définissant une situation pédagogique. Quatre sous-catégories composent ces typologies. Ce sont, selon Basque et Lundgren-Cayrol (2003, p. 6), pratiquement dans leurs propres termes : (1) les typologies qui s'intéressent au rôle de l'ordinateur au sein de la relation pédagogique, (2) les typologies qui mettent l'accent sur le degré de contrôle qu'exerce l'apprenant sur l'ordinateur par rapport à celui qu'exerce l'ordinateur sur son activité, (3) les typologies qui regroupent les usages des TIC selon les stratégies pédagogiques et (ou) les types de connaissances que les TIC permettent de supporter, (4) les typologies qui associent les TIC à des étapes spécifiques du processus d'enseignement. Les typologies centrées sur l'école renvoient à l'ensemble des usages possibles des TIC au sein de l'établissement d'enseignement, soit par rapport aux activités mêmes de l'école, soit par rapport aux acteurs de l'éducation. Les typologies centrées sur l'apprenant sont, quant à elles, celles qui classifient les usages, soit selon les impulsions naturelles des individus à apprendre, soit selon les fonctions cognitives supportées par les TIC, ou les étapes du processus d'apprentissage, ou celles du processus

humain de traitement de l'information. Les typologies qui nous intéressent sont celles qui sont centrées sur l'acte d'enseignement/apprentissage, mais aussi sur l'apprenant.

Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons à l'analyse des effets produits par l'utilisation d'un objet TIC par l'enseignant, dans une situation d'enseignement-apprentissage, sur la compréhension de concepts de physique par des élèves de niveau collège. C'est donc une situation d'enseignement-apprentissage qui traduit un système d'activités instrumentées au sein duquel enseignant et élèves se trouvent dans une relation pédagogique, où l'objet TIC joue un certain rôle, mais aussi dans une relation didactique. La relation didactique est liée à la construction des savoirs disciplinaires en jeu, qui requiert de l'apprenant une implication active. Comme nous l'avons indiqué dans la section 1.2.1, la physique est une discipline qui cherche à comprendre le monde, et donc les phénomènes naturels. Dans cette discipline, le savoir se construit en référence à la « réalité », et par conséquent, aux lois naturelles. C'est pourquoi, pour son enseignement, en tant que science expérimentale, la réalisation d'expériences, en classe ou en laboratoire scolaire, est recommandée par les programmes éducatifs nationaux (MENET-FP, 2014, p. 25). Ces expériences permettent ainsi à l'élève, de visualiser, d'explorer les phénomènes, pour, en fin de compte, changer éventuellement ses perceptions erronées sur les concepts en jeu, et acquérir les savoirs enseignés. L'objet TIC que l'enseignant doit utiliser devrait donc pouvoir aider à cela. Les typologies des usages en éducation que Josiane Basque et Karin Lundgren-Cayrol ont recensées, et qui sont favorables à cette exigence, sont les typologies de Watts (1981), Dubuc (1982), Plante (1984), Sauvé (1984), Bork (1985), d'Alessi et Trollip (1991), Means (1994), Bruce et Levin (1997), Séguin (1997), Baumgartner et Payr (1998), Jonassen (2000), Vries (2001), et enfin, celle de Denis (http). Pour toutes ces typologies, les simulations ou les simulateurs, se présentent comme les TIC les mieux appropriées pour un enseignement de la physique. Nous résumons, dans le tableau 2, ci-dessous, d'après les informations contenues dans le tableau des 24 typologies présentées par Basque et Lundgren-Cayrol (2003, pp. 20-35), les fonctionnalités visées par l'usage des simulations, ainsi que les auteurs des typologies correspondantes.

Fonctionnalités des simulateurs/simulations	Auteurs des typologies correspondant aux fonctionnalités
<ul style="list-style-type: none"> • Enseignement assisté par ordinateur • Moyen d'enseignement • Média d'enseignement • Enseignement 	<ul style="list-style-type: none"> • Watts (1981) • Sauvé (1984) • Bruce et Levin (1997) • Denis (http)
<ul style="list-style-type: none"> • Instrument de laboratoire 	<ul style="list-style-type: none"> • Dubuc (1982)
<ul style="list-style-type: none"> • Outil intellectuel 	<ul style="list-style-type: none"> • Bork (1985)
<ul style="list-style-type: none"> • Didacticiels • Présenter l'information, guider l'élève 	<ul style="list-style-type: none"> • Plante (1984) • Alessi et Trollip (1991)
<ul style="list-style-type: none"> • Faire faire des exercices à l'élève, évaluer l'apprentissage • Construction de théories • Compréhension • Acquisition de notions ou de démarches 	<ul style="list-style-type: none"> • Alessi et Trollip (1991) • Bruce et Levin (1997) • Séguin (1997), Baumgartner et Payr (1998) • Denis (http)
<ul style="list-style-type: none"> • Exploration [des phénomènes] • Visualisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Means (1994), Séguin (1997), Baumgartner et Payr (1998) • Bruce et Levin (1997), Jonassen (2000)

<ul style="list-style-type: none"> • Perception [du phénomène] • Découverte des lois naturelles, 	<ul style="list-style-type: none"> • Séguin (1997), de Baumgartner et Payr (1998) • Vries (2001), de Jonassen (2000)
--	--

Tableau 2. Fonctionnalités offertes par l'usage des simulations informatiques selon les auteurs de typologies des usages des technologies en éducation.

Au regard de ce qui précède, il serait bon, dans le cadre du projet e-Education dont nous avons parlé dans la session 1.3.1.2, que le MENET-FP, responsable des programmes éducatifs des lycées et collèges, en général, et de la physique-chimie, en particulier, recommande, dans les guides d'exécution du programme éducatif, l'utilisation des simulateurs dans les enseignements de la physique, à l'instar des programmes éducatifs des pays du nord. Mais alors, comment apporter la preuve que cette stratégie est bien porteuse de qualité dans l'acte d'enseignement/apprentissage en physique-chimie dans notre contexte ?

La présente recherche devrait pouvoir apporter quelques éléments de réponse à cette préoccupation. En effet, par son originalité par rapport aux autres recherches - en ce sens qu'aucune des recherches précédentes effectuées jusque-là, aussi bien en Côte d'Ivoire, qu'ailleurs en Afrique francophone, exceptée celle de Ze (2017) au Cameroun, avec seulement 10 élèves, n'a porté, à ce stade de notre lecture scientifique, sur l'étude des simulations dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique, en situation réelle de classe entière, mais également, parce que cette recherche, qui se fait selon une perspective systémique, tenant compte à la fois des dimensions cognitives et affectives de l'élève, et des pratiques didactiques et pédagogiques de l'enseignant, offre l'opportunité d'avoir des indicateurs qui peuvent aider à sa mise en œuvre.

Pour mener ce travail de recherche, nous allons d'abord chercher à savoir ce que les recherches antérieures, sur l'usage des simulations dans l'enseignement/apprentissage, ont apporté comme résultats. Car, comme le dit Voulgre citant Wallet (2001, p. 43), « *il est recommandé de ne pas faire l'amnésie du passé pour mieux comprendre comment se construisent* » les invariants » dans les usages des TICE, [...] dans différents systèmes éducatifs dans le monde, » (Voulgre, 2011, p. 15).

Chapitre 2 – État de la littérature

Ce chapitre porte sur un état des lieux des résultats de recherches antérieures sur l'utilisation des simulations informatiques dans l'apprentissage de la physique. Il présente, d'abord, les définitions concernant les simulations informatiques, et leurs caractéristiques. Il présente ensuite des résultats de travaux sur l'impact de leur utilisation sur la compréhension des concepts de physique, voire des concepts de chimie. Puis, il présente les méthodologies utilisées dans les recherches rapportées. Enfin, il présente les conditions favorisant leur intégration dans la pédagogie.

2.1. Définitions et caractéristiques des simulations informatiques

2.1.1 Définitions

Oren (2011a) a recensé plus de 100 définitions³⁴ de la simulation informatique permettant de définir environ 400 types de simulations (Ören, 2011b), couvrant pratiquement tous les domaines des connaissances. Cependant, pour permettre à tout lecteur d'avoir une représentation claire de ce qu'est une simulation, nous nous référons simplement à certaines définitions.

2.1.1.1 Simulation, selon Bork et Peckham, Depover, Karsenti et Komis

Bork et Peckham (1971, p. 3), parlant des méthodes selon lesquelles l'ordinateur peut être utilisé pour l'enseignement de la physique, définissent la simulation en ces termes : « *A...method for using computers in physics classes is simulation, where the computer behaves like a physical system. Thus students can perform a laboratory experiment for which equipment is not available or possible.* ». Selon Depover, Karsenti et Komis (Depover, Karsenti et Komis, 2007, p. 110) une simulation est « (...) *une représentation ou un modèle d'un événement, d'un dispositif ou d'un phénomène construit pour présenter et faire comprendre comment un système fonctionne* ».

2.1.1.2 Simulation, un modèle simplifié du phénomène physique cible

Landriscina (2013, p. 5) précise, pour sa part, la particularité d'une simulation. Selon elle: « *The main feature of a simulation is the reproduction of a particular aspect of an observed or possible reality. It is not, however, a static reproduction, but an active, or rather, an "interactive" one*»; montrant ainsi le caractère dynamique de la simulation. Pour l'enseignement, « *a simulation is an interactive representation of the system to be studied, based on a model of the system* » (ibid., p. 6). Le modèle étant défini comme une représentation simplifiée d'un système réel ou imaginé (ibid.). Le mot « système » signifiant un ensemble d'éléments différents dont la combinaison donne des résultats qu'il serait impossible à obtenir

³⁴ Il a identifié neuf (09) types d'utilisation de la simulation puis a regroupé, en 3 catégories (A, B, C), les définitions correspondant à ces neuf types d'utilisation. Les types d'utilisation par catégorie sont A : « *experiment* (a1), *training* (a2) (*experience*) et *game* (a3) (*experience*). B : *Modeling* (b1); *model implementation/execution* (b2), *technique* (b3). C: *Similarity/imitation* (c1), *presente/fake* (c2), *other* (c3) ».

avec les seuls éléments, pris individuellement (Le Petit Larousse *illustré*, 2011). Une autre définition nous a particulièrement intéressés. Il s'agit de celle de Jean-François Colonna que nous présentons dans la section suivante.

2.1.1.3 Expérimentation virtuelle selon Jean-François Colonna

En lieu et place du concept de simulation informatique ou numérique, Jean-François Colonna préfère plutôt parler d'expérimentation virtuelle. Nous présentons, ci-après, en intégralité, le texte relatif à la définition et à la justification qu'il en donne :

« À côté de l'expérimentation que nous qualifierons de laboratoire ou de naturelle (afin d'éviter d'employer le qualificatif de réel, sujet de débats épineux, en mécanique quantique en particulier), effectuée soit a priori (c'est l'observation des phénomènes naturels), soit a posteriori (pour vérifier le pouvoir prédictif de la déduction mathématique (...), se trouve l'expérimentation virtuelle ; cette terminologie doit être préférée à celle de simulation numérique, parce que, d'une part, le mot simulation est entaché d'une connotation négative (simuler, c'est bien souvent tromper volontairement, voir le *infra* : les erreurs de calcul), et que, d'autre part, elle situe mieux la place qu'occupe cette nouvelle approche dans la quête de la connaissance. Elle consiste à étudier le modèle mathématique d'un système plutôt que ce système lui-même. Ainsi, il sera, par exemple, possible d'agir, via leurs modèles, sur des objets inaccessibles (les étoiles, les galaxies,...), ou bien encore d'inhiber certains facteurs (la gravitation,...) ou enfin d'essayer des conditions non physiques. ». (Colonna, 1993, p. 83)

2.1.1.4 De la synthèse des définitions

De ces définitions, nous pouvons retenir quatre informations majeures : 1) une simulation informatique, ou expérimentation virtuelle selon Colonna, est une reproduction d'un aspect particulier d'une réalité observée ou possible, 2) cette réalité observée ou possible est un système qui peut être un évènement, un phénomène, un comportement, un dispositif ou un ensemble d'éléments qu'il faut combiner pour obtenir des résultats. 3) Cette réalité observée ou possible est représentée par un modèle sur lequel l'utilisateur peut agir indirectement à l'aide d'un ordinateur. 4) le but de la reproduction de l'aspect particulier du système est d'étudier cet aspect du système afin de le comprendre ou le faire comprendre. Ainsi, nous proposons la définition suivante :

Une simulation informatique est une reproduction d'un modèle³⁵ interactif sur lequel l'on peut agir dans le but d'étudier et comprendre l'aspect particulier d'une réalité observée ou imaginée, qui peut être un évènement, un phénomène, un comportement, un dispositif ou tout autre système.

³⁵Nous attirons l'attention du lecteur que notre souci a été de donner une définition moins complexe et fonctionnelle de la simulation. Sinon, Varenne Franck (Varenne, 2007) estime que « les simulations sur ordinateurs ne partent pas nécessairement d'un modèle formel, et qu'elles sont des stratégies de formalisation prenant la forme d'un processus de traitement dynamique et réparti (représentation dilatée) en vue d'une réplication partielle d'éléments, de comportements et/ou de phénomènes globaux ou locaux (histoires d'états) suivi d'une mesure et/ou d'un rendu visible (visualisations graphiques ...) de cette réplication » (p. 186).

Le développement d'une simulation se déroule selon un processus de modélisation spécifique.

2.1.2 Processus de modélisation des simulations informatiques

Globalement, le processus de modélisation et de simulation comporte les quatre (04) étapes importantes suivantes (Landriscina, 2013, pp. 51-54) : 1. La description du projet de simulation, 2. Le modèle conceptuel, 3. Le modèle informatique, 4. Le programme informatique de la simulation. Nous indiquons, dans les sections suivantes, juste un aperçu de ce à quoi renvoie chacune de ces étapes.

2.1.2.1 Description du projet de simulation

C'est un document qui décrit les objectifs du projet de simulation, le système naturel à modéliser et si possible les données réelles de référence qui permettent de valider le modèle.

2.1.2.2 Modèle conceptuel

D'après Robinson (2004, p. 65), cité par Landriscina (2013, p. 53), le modèle conceptuel est la description spécifique non logicielle du modèle de simulation à développer. Il décrit les objectifs du modèle de simulation, les entrées et les sorties, en termes de données et résultats, le contenu, les hypothèses et les simplifications du modèle. L'élaboration du modèle conceptuel dépend du niveau de connaissance du système cible à modéliser.

2.1.2.3 Modèle informatique ou de calcul

En référence à Landriscina (2013, p. 53), nous pouvons dire que le modèle informatique est un modèle dynamique de codage des équations mathématiques traduisant le comportement visé du système cible. Le modèle de informatique reçoit, en entrée les hypothèses et les indications fournies par le modèle conceptuel. Le processus de développement se faisant de manière itérative, des allers-retours entre le modèle informatique et le modèle conceptuel permettent d'affiner les deux modèles à partir d'ajustements constants. Car en effet, le modèle de calcul doit représenter le plus exactement possible le modèle conceptuel de la simulation visée.

2.1.2.4 Programme informatique de la simulation

Le programme informatique de la simulation comporte à la fois le modèle informatique et les composants logiciels fonctionnels (Landriscina, 2013, p. 54). Ces composants logiciels offrent des mécanismes qui permettent à l'utilisateur de visualiser les processus simulés, de mener les expériences numériques. Elles permettent aussi la vérification et la validation du modèle de calcul.

À chaque étape des tests de vérification et de validation sont effectués en vue d'apporter des améliorations nécessaires. Ce qui conduit à plusieurs paradigmes de simulation débouchant sur différents types de simulations.

2.1.3 Paradigmes de modélisation et de simulation

Un paradigme de modélisation et de simulation est caractérisé par le type d'éléments et de relations qui sont utilisés dans le modèle conceptuel de la simulation (Landriscina, 2013, p. 55). Selon Landriscina, il y a cinq (05) paradigmes scientifiques de modélisation et de simulation. Ce sont : 1. La modélisation basée sur des équations. 2. Les dynamiques moléculaires, 3. La modélisation à base d'agent, 4. Le paradigme des systèmes dynamiques, 5. La modélisation cellulaire et la simulation.

2.1.3.1 Paradigme de modélisation basé sur les équations

Il s'agit des équations différentielles dont la résolution utilise les méthodes de l'analyse numérique (Greca, Seoane, Arriasecq, 2014). Dans ce type de modélisation et de simulation, l'intérêt est porté sur l'état des variables simulées.

2.1.3.2 Paradigme de modélisation basé sur la dynamique moléculaire

Ce paradigme porte sur la modélisation des forces intermoléculaires pour l'étude de particules de molécules.

2.1.3.3 Paradigme de modélisation à base d'agent

Bousquet F., Barreteau, O., Mullon, C. et Weber, J. (2013, p. 3) définissent un agent comme suit : « *Un agent est [...] un processus informatique, quelque chose entre un programme informatique et un robot, au sujet duquel on peut parler d'autonomie parce qu'il dispose de possibilité d'adaptation quand son environnement change.* ».

La modélisation à base d'agents s'intéresse aux règles d'interactions locales pour l'étude d'agents et leur environnement (Landriscina, 2013, p. 72). C'est un paradigme qui permet d'étudier le comportement des systèmes physiques, biologiques, informatiques et sociaux.

2.1.3.4 Paradigme des systèmes dynamiques

Le paradigme des systèmes dynamiques est une modélisation permettant, par rétroaction, d'avoir une visibilité permanente sur des stocks et des flux.

2.1.3.5 Modélisation cellulaire et simulation

Ce paradigme de modélisation est destiné à l'étude du comportement des cellules et des modules.

Au final, le choix³⁶ du paradigme dépend de la simulation que l'on veut avoir. Par exemple, simuler le comportement des molécules d'une substance S pour les étudier ne convoquera pas le même paradigme de modélisation et de simulation que simuler le mouvement de la substance S elle-même, en termes de viscosité. Par ailleurs, le paradigme de simulation le mieux connu et le plus utilisé pour les systèmes dynamiques - comme les systèmes étudiés en physique - est le paradigme basé sur les équations différentielles (Landriscina, 2013, p. 56).

2.1.4 Modèles de simulations pour l'apprentissage des sciences

2.1.4.1 De la simulation destinée à la recherche scientifique à la simulation pour l'apprentissage des sciences

Il existe deux catégories de simulations : les simulations pour la recherche scientifique et les simulations pour l'enseignement de la science. La différence fondamentale entre les deux catégories est que les simulations destinées à la recherche scientifique cherchent à mieux comprendre les phénomènes et les processus complexes. Elles sont basées sur la construction de modèles informatiques complexes qui utilisent des théories bien connues (ou des considérations théoriques) et d'autres sources d'informations (Greca et al., 2014, p. 16), voire des artifices. En revanche, les simulations pour l'enseignement de la science sont basées sur des modèles simplifiés du système cible. Elles s'intéressent à un aspect particulier du phénomène simulé (Landriscina, 2013, p. 5) et vise à faire comprendre les concepts de science, mais au aussi les modèles théoriques qui sous-tendent la simulation (Greca et al., 2014, p. 16). Selon les auteures, une telle simulation a besoin du guidage de l'enseignant.

Les simulations ou modèles de simulation conçus pour l'apprentissage sont désignés, dans la littérature anglo-saxonne par Simulation-Based Learning (Landriscina, 2013, p. 99) ou Model-Based Learning (MBL) (Greca, Seoane, Arriasecq, 2014, p. 18).

2.1.4.2 Types de simulations efficaces pour l'apprentissage des sciences

Les caractéristiques des simulations et des logiciels de modélisation dynamique font deux, comme le disent Papert, Senge et Jonassen cités par Landriscina (2013), des outils pour la pensée (Papert, 1980), pour les apprentissages de laboratoires (Senge, 1991) et des outils cognitifs (Jonassen 2000b). Ainsi, selon Smetana et Bell (2012) les simulations les plus efficaces pour l'apprentissage sont celles qui permettent d'améliorer la compréhension des concepts, le changement conceptuel et développement les habilités procédurales.

2.1.4.3 Faire apprendre des concepts de physique à partir de modèle basé sur le développement de simulations personnelles

Faire développer, à l'apprenant lui-même, sa propre simulation (Beaufils & Richoux, 2003, p. 21) permet de lui faire découvrir toutes les étapes du développement afin qu'il

³⁶ La simulation d'un phénomène très complexe peut faire appel à plusieurs paradigmes.

comprenne les modèles (ou les paradigmes) utilisés, c'est-à-dire, le modèle conceptuel (modèle formalisant l'idée-projet de la simulation ou modèle de simulation), et le modèle informatique, en d'autres termes, le programme informatique traduisant le modèle de simulation. Ainsi l'apprenant comprendra que la simulation est elle-même un modèle (Varenne, 2007) - créé pour expliquer un autre modèle, celui de l'objet de l'apprentissage envisagé- et que par conséquent, il a fallu élaguer certaines caractéristiques du système « réel ou imaginé » modélisé (Greca, Seoane & Arriassecq, 2014), pour pouvoir trouver un modèle mathématique acceptable et arriver au résultat qu'est la simulation du système visé. L'approche est certes intéressante et vivement encouragée par nombre de scientifiques. Mais elle est difficile à mettre en œuvre pour plusieurs raisons inhérent à l'élève ou à l'étudiant (incertitude au niveau de la pertinence de la conceptualisation au départ, difficultés de détermination du modèle mathématique (qui tiennent compte à la fois de la théorie scientifique expliquant la « réalité observée ou imaginée » à simuler et des données expérimentales attendues ainsi que des règles de traitement), faisant office de paradigme de la simulation, insuffisance de compétences en informatique, le temps de développement, etc.).

2.1.4.4 Faire apprendre les concepts de physique à l'aide d'une simulation existante

La deuxième voie est celle qui consiste à utiliser une simulation déjà existante (Beaufils & Richoux, 2003, p. 18). C'est l'option la plus utilisée (Greca, Seoane & Arriassecq, 2014). Selon l'auteur, deux types de simulations sont à distinguer³⁷ dans le cas de l'utilisation d'une simulation existante : 1). Les simulations permettant à l'apprenant de faire varier les valeurs des variables et voir, par la visualisation sur l'écran de l'ordinateur, ce qui se passe au niveau de la représentation sémiotique du phénomène étudié ; 2). Les simulations constituant des environnements d'apprentissage structuré comportant plusieurs ressources pédagogiques (aides à l'utilisation, questions usuelles, informations sur les prérequis, exercices, guides, etc.) destinées à faciliter le processus d'apprentissage. Mais le plus souvent, la plupart des simulations développées pour l'enseignement et l'apprentissage des sciences, disponibles sur Internet, ne disposent pas d'indication sur leurs utilisations pédagogiques (Beaufils & Richoux, 2003, Chalak, 2012).

En ce qui concerne les simulations, particulièrement, leur utilisation dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences, soulève des problèmes d'ordre épistémologique (Greca et al., 2014, pp. 8-15)

2.2 Problèmes épistémologiques liés aux caractéristiques des simulations informatiques

Ces problèmes portent, notamment, sur la crédibilité des modèles des systèmes physiques ou des phénomènes naturels étudiés par simulation, le statut des simulations en tant que modèles, ainsi que dans la construction des connaissances, le sens des « expérimentations »

³⁷ Selon la classification proposée par Landriscina (Landriscina, 2013, P. 100)

et celui de l'objectif des explications avec les simulations, et enfin la validité des connaissances générées par les simulations.

2.2.1 De la crédibilité des modèles des systèmes physique et des phénomènes naturels simulés

Certains auteurs mettent en cause le formalisme mathématique qui sous-tend les simulations informatiques (Fox Keller, 2003 cité par Greca et al. 2014, p. 9). Ainsi, ils doutent que les simulations puissent être des méthodes³⁸ analytiques. En d'autres termes, pour eux, les modèles mathématiques qui caractérisent les simulations ne sont pas des modèles sûrs pour faire découvrir ou démontrer une vérité (par exemple voir à propos des erreurs de modélisation, Colonna, 1993, p. 89). D'autres auteurs, en revanche, suggèrent que l'analyse des résultats obtenus par simulation ne soit pas portée sur les modèles mathématiques sous-jacents (Greca et al., 2014), mais plutôt sur la simulation elle-même, celle-ci étant caractérisée par les deux états, entrée et sortie, des variables simulées (Landriscina, 2013, p. 96).

2.2.2 Du rôle des modèles qui sous-tendent les simulations informatiques

Le rôle, par rapport à la théorie, des modèles qui sous-tendent les simulations, d'une part, en tant que modèle, et d'autre part, en tant que moyen de production des connaissances, sont également discutés.

En tant que modèle, des auteurs les considèrent comme de simples modèles, dans le sens de modèle traditionnel. C'est-à-dire qu'elles ne sont rien d'autres qu'une représentation pour donner du sens au formalisme mathématique du fonctionnement du phénomène ou de celui du comportement du système physique visé. Pour d'autres, comme Cartwright (1999) et Sismondo (1999) cités par Greca et al. (2014, p. 9), les modèles sont « autres choses que des théories et des données » (ibid.). Ils sont, selon eux, partiellement indépendants des théories et du monde. De ce fait, ils auraient une composante autonome qui les transforme, non seulement, en instruments d'exploration des théories et du monde matériel mais aussi en outils d'intervention et de manipulation des phénomènes (Cartwright 1983; Hacking 1983 cités par Greca et al. (2014, p. 9)). Ce qui permet, l'utilisateur (chercheur, enseignant, ou élève) de manipuler et de comprendre de nombreux phénomènes pouvant être expliqués (Greca et al., 2014, p. 9), faisant des simulations des instruments de médiation (ibid.).

2.2.3 Du statut des simulations informatiques en tant que moyens de productions des connaissances

En tant que moyen de production des connaissances, Greca et al., (2014), citant Suarez (1999) rapporte que pour certains auteurs, la finalité d'une simulation est la création de modèles instrumentaux fiables, représentatifs du système étudié, et non pas de créer des modèles réalistes du système lui-même et de son comportement. La manière dont les simulations sont

³⁸ Nous nous référons à la définition de « méthode » du dictionnaire français en ligne Reverso : <https://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/methode+analytique>

conçues ne permet donc pas de savoir exactement si elles sont réussies, au point de considérer que les informations qu'elles mettent à notre disposition puissent être retenues comme exactes. Pour d'autres, par contre, comme Winsberg, (1999, p. 275), cité par Greca et al. (2014), les simulations impliquent une chaîne d'inférences qui servent à transformer les structures théoriques en connaissances concrètes spécifiques des systèmes physiques. Pour Winsberg, ce processus de transformation est un processus de création de connaissances.

2.2.4 De la relation des simulations avec les expérimentations de laboratoire

Les scientifiques créent des modèles de calcul afin de produire des prédictions vérifiables (Greca et al., 2014), par l'expérimentation. Pour certains auteurs, les « expériences numériques » faites à l'aide des simulations, peuvent être assimilées à des expériences de laboratoires ordinaires car elles permettent, à la fois, de représenter le système physique, de faire varier les paramètres étudiés et de tester les hypothèses théoriques ainsi que les résultats de « l'expérience numérique ». Pour des auteurs comme Hughes (1999); Humphreys (2004), Norton & Suppe (2001) cités par Greca et al. (2014), il n'y a aucune différence entre l'expérience naturelle et la simulation.

En revanche, pour d'autres tels que Guala (2005) et Morgan (2003) cités par Greca et al. (2014), les expériences avec les simulations ne sont pas comparables aux expériences naturelles car elles manquent de « matérialité ». Greca et al. (2014) souligne que la différence fondamentale, entre les deux, est que, les « expériences numériques » sont effectuées sur des symboles et des chiffres. Il n'y a donc aucun contact avec le matériel physique, contrairement à l'expérimentation ordinaire qui, elle, se fait sur le système physique. En outre, dans le cas des expériences naturelles, le comportement du système naturel, et donc de la nature, n'est pas connu d'avance (Turkle, 2009, p. 40) cité par Greca et al. (2014). Dans le cas des simulations, le comportement que le système physique doit avoir est connu et intégré dans le programme de la simulation, pour être ensuite restitué par la simulation. Elle ne produit donc aucun fait objectif.

2.3 De l'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts

2.3.1 Des recherches rapportant une différence significative entre les gains d'apprentissage des situations d'apprentissage avec simulation et sans simulation

2.3.1.1 Travaux concernant la compréhension de concepts en mécanique

Pour Miriam Spodniakková Pfefferová (2015), le problème majeur avec l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'enseignement - lorsque cet usage ne produit pas l'effet attendu - est de savoir ce qui pose problème. Elle évoque au passage la problématique de la langue dans laquelle le contenu de la simulation est livré et fait remarquer que dans un tel contexte, les apprenants ont tendance à se focaliser plus sur la traduction et la compréhension de la langue que sur l'objet même de la simulation informatique. Dans ces

conditions, les objectifs d'apprentissage avec une telle simulation ne peuvent être atteints. Elle entreprend alors une autre étude avec un ensemble de simulations informatiques conçues en langue slovaque, la langue d'enseignement, et selon le programme officiel en vigueur en Slovaquie sur les *ondes* et *oscillations* en mécanique, et accessible par Internet. Elle fait l'hypothèse que l'utilisation de ces simulations aura un impact positif sur les aptitudes des élèves à travailler avec les graphes et y relever les informations pertinentes ; impact en termes de mémorisation, de compréhension, et de résolution de problème avec un transfert spécifique et non spécifique de connaissances selon la taxonomie de Niemierko (Spodniakovà Pfefferová, 2015, p. 285).

Les résultats de l'apprentissage du groupe expérimental (n =32) (groupe ayant utilisé le matériel réel et la simulation informatique) ont été positifs dans chaque catégorie de la taxonomie de Niemierko, avec une différence significative par rapport à ceux du groupe de contrôle (n=31) (groupe ayant travaillé avec le matériel réel seul).

Pour l'auteur, ce qui semble avoir posé problème est le fait de n'avoir pas donné suffisamment de tâches d'apprentissage avec les graphes pour permettre aux apprenants de se focaliser plus sur cet objet d'apprentissage. Cette présomption n'a pas fait l'objet d'étude. Elle note également que l'utilisation des simulations informatiques ne sera efficace que si elles sont utilisées au moment où cela est nécessaire, avec un temps suffisant mais aussi si la simulation utilisée est directement appropriée à l'apprentissage visé. Elle souligne la nécessité d'un soutien aux enseignants par la création et la mise à disposition de ressources et d'instructions sur les expériences réelles avec ou sans utilisation de la simulation informatique pouvant rendre efficaces les méthodes d'enseignement. Cependant, elle se demande - malgré l'avantage des simulations informatiques pour l'apprentissage qu'elle relève - comment les intégrer dans un programme d'enseignement ?

Sarabando et al (2016, 2014) portent leur préoccupation sur l'impact des approches pédagogiques sur les résultats des apprentissages utilisant les simulations informatiques. Cette volonté vise à confronter la position d'autres chercheurs, selon laquelle les résultats positifs des apprentissages avec les simulations informatiques ne seraient pas le fait des simulations utilisées (Winn et al., 2006b) mais plutôt de celui de l'approche pédagogique mise en œuvre par l'enseignant, une question peu étudiée dans les recherches antérieures. Ils mènent alors une recherche, d'une part pour mesurer l'impact de 3 stratégies d'enseignement ; une utilisant le matériel réel seul, une autre utilisant le matériel réel et la simulation informatique, et une dernière utilisant la simulation informatique seule, afin de déterminer laquelle de ces 3 stratégies est la plus favorable à l'apprentissage des concepts de masse et poids, selon le curriculum officiel du Portugal. La finalité étant de chercher à savoir si effectivement l'utilisation de la simulation, plus particulièrement, a un impact positif sur les résultats d'apprentissage.

D'autre part, ils cherchent à déterminer également, au cours de cette expérimentation avec les approches d'enseignement utilisant la simulation informatique, les caractéristiques de l'approche pédagogique de l'enseignant qui améliorent le plus l'apprentissage dans le contexte d'utilisation des simulations informatiques. Ils analysent notamment, dans le rôle de médiation de l'enseignant, les caractéristiques d'interactions entre l'enseignant et les apprenants en

activités avec les simulations, celles qui améliorent le plus l'apprentissage ; Les éléments de repère, pour cette analyse, étant ceux des 5 dimensions du modèle MFS-TST (Model of Formative Situation for Teaching Science and Technology) de Lopes et al., 2010 (Sarabando et al., 2016, p.114). L'expérimentation a été menée dans 3 établissements secondaires du Portugal situés dans la zone géographique de l'institution de la recherche, avec une leçon de 90 min. 3 enseignants A, B, C et 142 élèves (12 - 13 ans) en classe de niveau 7 y ont participé. Chaque enseignant a tenu 2 classes, soit 06 au total, représentant les groupes de l'étude. Dans l'une des classes de A (n=25), de B (n=27) et de C (n=19), les élèves ont travaillé avec le matériel réel de laboratoire seul. Dans l'autre classe de A (n=27), les élèves ont travaillé avec le matériel réel et la simulation informatique tandis que dans l'autre classe de B (n=24) et de C (n=20), les élèves ont travaillé avec la simulation informatique seule. Les résultats des tests statistiques (Wilcoxon, Kruskal-Wallis, test de Fisher), réalisés sur les scores obtenus au pré-test et au post-test administrés aux groupes de l'étude, et l'analyse des gains totaux montrent que dans les stratégies où la simulation informatique a été utilisée les résultats d'apprentissage sont significativement meilleurs. Ils le sont plus là où la simulation informatique a été utilisée seule. Ceux des élèves de B le sont d'avantage. De l'analyse du contenu des discours des enseignants interrogés après l'expérimentation, Sarabando et al. (2016) estiment que, dans son rôle de médiation, B a donné plus d'opportunités à ses élèves de s'exprimer sur leurs conceptions et d'y réfléchir, leur a donné plus de temps et d'autonomie de trouver les réponses aux questions posées, d'accompagner les explications de guidage des élèves par la visualisation, s'est assuré à chaque fois que les élèves avaient bien compris la tâche à réaliser et l'objectif de cette tâche, et a aussi favorisé les discussions entre les élèves eux-mêmes, et avec lui-même. De plus, les élèves de B mais aussi ceux de A avaient déjà à leur disposition toutes les ressources dont ils avaient besoin pour réaliser les tâches. Par exemple, la simulation à utiliser était déjà installée sur les ordinateurs et prête à l'emploi contrairement aux élèves de C qui ont dû venir avec leur propre ordinateur. Et l'enseignant y a installé la simulation, poste après poste. D'une manière générale, cette recherche a montré une connexion entre l'efficacité de la simulation informatique et les approches pédagogiques mise en œuvre.

2.3.1.2 Travaux concernant de la compréhension de concepts en électricité

En électricité, Kollöffel et Jong (2013) au Pays-Bas; Ünlü et Dökme (2011) en Turquie ; Farrokhnia et Esmailpour (2010) en Iran, Z. C. Zacharia (2007) à Chypre, Jaakkola et Nurmi (2004) en Finlande, se sont préoccupés, en termes de pratique expérimentale, de l'approche d'enseignement qui pourrait le mieux faciliter ou améliorer la compréhension conceptuelle du concept de circuit électrique chez les apprenants mais aussi qui pourrait améliorer leurs compétences procédurales. Pour étudier cette problématique, ils partent de l'hypothèse que l'utilisation combinée de l'expérimentation réelle en laboratoire et de la simulation informatique serait la stratégie la plus efficace.

Ils ont alors comparé 3 approches d'enseignement basées respectivement sur l'utilisation du matériel physique ou réel (MR) seul, de la simulation informatique (SI) seule, ou de la combinaison du matériel physique et de la simulation informatique (MR+SI). Kollöffel & Jong (2013) ont fait l'expérimentation sur 1 semestre en 9 sessions par semaine avec 2 groupes, un groupe MR+SI (n=23) et un groupe SI (n=20). Ünlü & Dökme (2011) ont étudié 3

groupes respectifs sur 3 semaines en 12 sessions, un groupe MR (n=27), un groupe SI (n=21) et groupe MR+SI (n=18). Farrokhnia & Esmailpour (2010) ont également étudié 3 groupes d'étudiants sur 1 semestre avec 1 session chaque semaine, un groupe MR (n=30), un groupe SI (n=35) et un groupe MR+SI (n=35). Pour Z. C. Zacharia (2007), 2 groupes ont participé à l'étude pendant un semestre de cours, un groupe MR (n=45) et un groupe MR+SI (n=43). Enfin, dans le cas de Jaakkola & Nurmi (2004), 3 groupes d'élèves (10 – 11 ans) ont été examinés, un groupe MR (n=24), un groupe SI (n=20) et un groupe MR+SI (n=22). Un pré-test et un post-test ont été administrés aux apprenants, respectivement avant et après l'expérimentation. La différence des scores obtenus au pré-test et au post-test, ont permis de déterminer les gains éventuels. L'application de tests statistiques, notamment le t-test (test de Student) et l'ANOVA, sur les scores au pré-test de chaque groupe, avant l'expérimentation, et entre les scores du pré-test et du post-test après l'expérimentation, a montré que les élèves ayant travaillé avec les approches impliquant la simulation informatique ont obtenu des résultats significativement meilleurs par rapport à l'approche utilisant le matériel réel seul. Le cas d'utilisation du matériel réel seul n'a pas été étudié par Kollöffel et Jong (2013). Un résultat mitigé entre l'utilisation combinée du matériel réel et de la simulation informatique et celle de la simulation informatique seule en tant que laboratoire virtuel transparaît de ces travaux. En effet, l'étude menée par Ünlü et Dökme (2011) n'a pas trouvé de différence significative entre ces 2 méthodes tandis que dans celle réalisée par Kollöffel et Jong (2013) les résultats du groupe qui a travaillé avec le laboratoire virtuel seul ont été significativement meilleurs que ceux du groupe ayant travaillé avec la méthode combinée contrairement à leur hypothèse initiale. Les chercheurs pensent que cette différence serait due au fait que les apprenants de ce groupe n'aient pas eu suffisamment de temps pour travailler avec la simulation informatique mise à leur disposition. Une motivation élevée des apprenants ayant travaillé avec la méthode combinée a été également constatée au cours de l'étude de Ünlü & Dökme (2011), et qui mériterait, selon les auteurs, d'être effectivement étudiée. Dans aucun des travaux présentés ici, le rôle de médiation de l'enseignant lors des activités impliquant l'utilisation de la simulation informatique n'a pas été examiné. De manière générale, les variables dépendantes étudiées sont la performance aux tests de compréhension conceptuelle, et la performance aux tests de compétence procédurale. Les variables indépendantes sont l'approche utilisant le matériel seul, l'approche utilisant la simulation informatique seule, l'approche utilisant la combinaison du matériel réel et la simulation informatique. Dans l'étude de Kollöffel et Jong (2013), 3 autres variables indépendantes sont mises en évidence. Il s'agit de la performance au test sur la théorie de l'Électricité, la performance au test de mesure, la performance au test d'organisation du poste de travail (Workplace). Ces dernières variables indépendantes ont été croisées avec les performances de compréhension conceptuelle et de compétence procédurale.

2.3.1.3 Travaux concernant la compréhension de concepts en optique

Christian Buty (Buty, 2003 ; 2000) s'est préoccupé de la capacité des élèves à mettre en relation les concepts, et les lois physique qu'ils apprennent en classe, avec les objets et les événements du quotidien. Car c'est un problème majeur dans l'apprentissage de la physique. Les élèves ont du mal à donner du sens aux concepts de physique qu'ils apprennent par rapport

au monde matériel, ou à donner un sens théorique aux résultats des manipulations expérimentales qu'ils réalisent.

La recherche s'est déroulée dans un établissement secondaire en France, sur 8 semaines en classe de Terminale scientifique avec une leçon portant sur la formation de l'image optique d'un objet sur un écran de projection. Deux dispositifs ont été mis en œuvre pour cette expérimentation. Il s'agit du dispositif réel constitué d'un banc optique avec le matériel nécessaire (objet, lentille, écran de projection), et d'un modèle informatique matérialisant le dispositif réel précédent d'expérimentation, les éléments constitutifs du dispositif réel étant matérialisés par leur schéma conventionnel. L'objet est une source de lumière et la lentille est une lentille convergente mince.

Les élèves avaient la possibilité d'agir sur ce « modèle matérialisé » informatisé, notamment en déplaçant à l'aide de la souris « la lentille » entre l'objet et l'écran pour trouver les deux positions possibles³⁹, OA1 et OA2, de la lentille qui permettent d'obtenir une image sur l'écran, l'objet et l'écran étant fixes. Il existe une relation entre ces deux positions possibles de la lentille et sa distance focale D qui est à établir. Le « modèle matérialisé » informatisé a été créé à l'aide du logiciel Geogebra. Des tracés avaient déjà été mis en place, et pouvaient être cachés ou affichés avec la commande « montrer-cacher » du logiciel.

Deux types d'activités ont fait l'objet de cette expérimentation. Dans le premier type d'activités, les élèves ont travaillé par paire à l'interprétation puis à la construction d'image optique, et avaient à confronter leurs réponses à la construction préétablie. Dans le deuxième type d'activités, les élèves ont manipulé le dispositif réel d'expérimentation, et avaient à comparer ce dispositif réel au modèle matérialisé informatisé en essayant de faire des mises en relation entre les deux dispositifs, caractérisées par des allers-retours entre le modèle et le dispositif expérimental. Durant toute la séquence, les discussions pendant les activités, entre les élèves d'une paire ont été enregistrées, les interventions de l'enseignant également. Les interventions de l'enseignant ont consisté à donner des explications à toute la classe sur le principe de construction de l'image sur l'écran, en l'exécutant, mais aussi à donner des consignes.

Pour comprendre le processus de modélisation chez l'élève, et des mécanismes de mise en relation du concept avec la « réalité », les verbalisations de l'un des deux élèves de la paire étudiée ont été analysées. Les productions verbales de l'élève ont été catégorisées à partir d'une visualisation directe de la vidéo de l'expérimentation. Toutes les productions des élèves et de leur enseignant ont été transcrites ainsi que certains gestes permettant de comprendre certaines verbalisations. Le corpus des transcriptions a été découpé en situations d'enseignement, elles-mêmes découpées en épisodes, découpés à leur tour en étapes. Les catégories identifiées dans les verbalisations de l'élève permettent de comparer les deux types d'activités grâce au décompte, dans chaque type d'activités, des éléments catégorisés. Les données recueillies ont été analysées semi-quantitativement et qualitativement.

³⁹ O est le centre de la lentille, placé sur l'axe optique ; A1 et A2 les 2 positions possibles occupées par la lentille.

L'étude a montré, à travers une analyse fine, situation par situation, que le « modèle matérialisé » informatisé a facilité la construction de sens du concept d'image en optique géométrique par les élèves, et aussi leur processus de modélisation. Dans ce processus de modélisation, les élèves ont plusieurs fois fait le lien constant entre les schémas conventionnels (modèles) et les objets réels (source de lumière, lentille, écran) correspondant mis à leur disposition. Ce qui est un résultat très important au plan cognitif. L'étude a montré également que l'impact positif du « modèle matérialisé » informatisé est lié à ses conditions d'utilisation et surtout à l'intervention de l'enseignant. Malheureusement, les actions de l'enseignant sont peu étudiées dans ce travail. La meilleure articulation du « modèle matérialisé » informatisé avec les interactions entre les élèves et l'enseignant doit être également étudiée, selon l'auteur.

2.3.1.4 Travaux concernant la compréhension de concepts en chimie

Samia Khan (2011), partant de ce que les techniques relatives à l'utilisation des simulations sont très peu abordées dans les recherches sur l'enseignement des sciences avec les simulations informatiques, s'est intéressée à trois préoccupations majeures. Il s'agit notamment de comment l'enseignant utilise les simulations informatiques pour enseigner ? Quelles sont les éléments caractéristiques de l'approche pédagogiques de l'enseignant qui sont au centre de l'amélioration de l'apprentissage avec les simulations informatiques ? Quel est l'impact de l'enseignement avec les simulations informatiques sur les apprenants ? Les éléments caractéristiques recherchés dans la pédagogie de l'enseignant concernent le rôle de l'enseignant dans l'utilisation de cette technologie pour l'enseignement considéré, les affordances utilisées de cette technologie pour l'enseignement visé et les limites de l'utilisation des simulations pour cet enseignement ?

L'expérimentation s'est déroulée sur 3 semestres pendant des séances de 75 min d'activités 2 fois par semaine avec les technologies informatiques. Un enseignant expérimenté et 11 apprenants, d'une université nord-américaine, ont participé à cette étude. 3 outils de recueil de données ont été utilisés. Il s'agit de l'observation directe de classe pour recueillir toutes les interactions entre l'enseignant, ses apprenants et la simulation informatique ; d'un questionnaire comportant des items sur une échelle de Likert à 5 niveaux, administré au début et à la fin de l'expérimentation pour jauger l'expérience informatique des apprenants, et trianguler les données sur la pédagogie de l'enseignant mais comportant aussi un pré-test et un post-test afin d'évaluer la performance des apprenants avant et après l'expérimentation. Enfin, un entretien a été réalisé avec l'enseignant pour déterminer ses perceptions sur son rôle dans la classe, sur la façon dont les élèves apprennent les sciences, sur le rôle des simulations informatiques dans son approche d'enseignement, et sur le moment propice/le meilleur moment à enseigner avec les simulations informatiques.

Toutes les séances de cours ont été filmées. Les apprenants ont travaillé, par paire ou par groupes de 3, dans une salle de 26 ordinateurs sur lesquels étaient installées Chemland, une suite de simulations informatiques de la chimie. L'identification des éléments de l'approche pédagogiques de l'enseignant ainsi que l'impact de cette approche sur les apprenants s'est effectuée par comparaison à un modèle d'approche existant (GEM, generating (G), evaluating

(E), modifying (M)). L'analyse des données a porté sur les interactions entre l'enseignant, les apprenants et les simulations informatiques.

Il ressort de ce travail que l'enseignant expérimenté a amené les apprenants à utiliser les simulations informatiques selon une démarche scientifique (prédictions, manipulations, observations, interprétations, résultats) dans toutes les 3 phases du modèle GEM. Les affordances des simulations utilisées ont donné l'occasion aux apprenants de modifier des paramètres, de visualiser des animations, les valeurs et les graphes afin de comprendre les relations existant entre différentes variables. L'approche pédagogique utilisée par l'enseignant avec les simulations informatiques a mis en avant surtout un rôle de guidage des apprenants par l'enseignant pour les amener à réfléchir et à établir les mises en relation des concepts. Cette approche a eu un impact positif sur l'apprentissage réalisé par les apprenants en termes de motivation, d'engagement dans l'apprentissage, et de compréhension des concepts. Cependant, contrairement à l'utilisation des simulations qui permet d'obtenir des résultats rapidement, l'auteur fait remarquer que, dans la démarche scientifique telle que pratiquée réellement par la communauté scientifique, le temps est beaucoup plus long et les données collectées sont beaucoup plus nombreuses. De ce point de vue, l'utilisation des simulations pourrait engendrer une conception erronée du fonctionnement de la science. Ce qui nécessite absolument l'intervention de l'enseignant.

Lara K. Smetana et Bell (2014), ainsi que Rutten, Veen et Joolingen (2016; 2015) ont porté leur intérêt sur des problématiques de l'utilisation des simulations informatiques en petits groupes ou en classe entière, selon des orientations différentes. Les travaux de Lara K. Smetana & Bell (2014) ont montré, à partir de statistiques descriptives réalisées sur les scores des étudiants au pré-test et au post-test, et d'analyses qualitatives, que l'utilisation des simulations informatiques en petits groupes comme en classe entière permet d'améliorer les résultats d'apprentissage des étudiants. Ils notent en revanche que l'utilisation des simulations informatiques en classe entière occasionne beaucoup plus d'interactions significatives entre l'enseignant et ses étudiants. L'expérimentation a été menée en chimie avec une enseignante et ses élèves appartenant à 2 de ses classes ; chaque classe constituant un groupe pour l'étude.

Rutten et al. (2015) ont, quant à eux, focalisé leur recherche sur l'utilisation des simulations informatiques dans un contexte d'enseignement en classe entière. Ils ont cherché à savoir, d'une part, s'il existait une relation entre les attitudes et les objectifs d'apprentissage des élèves et de leur enseignant au regard de l'utilisation des simulations informatiques dans un enseignement en classe entière, et d'autre part, comment l'enseignant mettait-il en œuvre ces simulations informatiques dans ses pratiques pédagogiques. Les attitudes des élèves sont mesurées en termes de motivation caractérisée par la fréquence de la participation de l'élève ou du groupe classe à la construction du savoir. L'approche pédagogique de l'enseignant est référée à l'approche P-O-E (Rutten et al., 2015 ; Chen et al., 2013), Prédictions-Observation-Explication, considérée comme l'approche favorable à l'apprentissage des sciences avec les simulations informatiques. Cette approche consiste, par un jeu de questions-réponses, à faire prédire aux élèves le comportement du phénomène lié au concept étudié au cas où des paramètres étaient modifiés, à leur faire observer le résultat de l'expérimentation par rapport aux hypothèses ou prédictions émises, et à leur faire expliquer ces résultats.

Les enseignants considérés comme efficaces sont, non seulement ceux qui posent beaucoup de questions de réflexion critique (Rutten et al., 2015, p. 1227) ou des questions de processus (Creemers & Kyriades, 2006, p. 19) c'est-à-dire des questions amenant les élèves à expliquer leurs réponses. Les questions de rappel (Rutten et al., 2015, p. 1227) ou les questions de produit (Creemers & Kyriades, 2006, p. 19), autrement dit les questions à réponses simples, sont certes importantes – car l'apprentissage s'appuie sur les connaissances antérieures - mais seules, elles sont moins efficaces pour un changement conceptuel précédant toute compréhension conceptuelle. L'expérimentation s'est déroulée dans des établissements secondaires répartis sur tout le territoire des Pays-Bas. 24 enseignants de physique du secondaire, dont 3 femmes, répartis sur l'ensemble du pays, ont participé à cette étude. Ils ont entre 23 et 59 ans d'âge, et des expériences professionnelles allant de 1 et 35 ans.

Au total, 501 élèves (12 – 19 ans) appartenant à des classes de 7 à 27 élèves, ont été étudiés. Les enseignants ont utilisé librement des simulations en ligne de la suite PhET (2014) ou des simulations d'autres sites internet portant sur des leçons de mécanique, d'électricité, ou des phénomènes ondulatoires. Ils ont eu également la liberté d'utiliser leurs approches pédagogiques personnelles lors de l'utilisation des simulations informatiques. Pour recueillir les données de l'expérimentation, Rutten et al. (2015, pp. 1229-1230) ont utilisé l'observation de classe filmée, le questionnaire- élèves, et l'entretien semi-directif.

L'observation de classe avait pour but de relever toutes les réponses des élèves aux questions de l'enseignant. Elle l'avait également pour objet de noter les types de questions (rappel, prédiction, observation, explication, autres) posées par l'enseignant. Le questionnaire-élèves, comportant 27 items, a servi à relever les données sur les attitudes des élèves (réponses des élèves aux items), la réponse de l'élève sur l'objectif de l'apprentissage avec les simulations informatiques utilisées. L'entretien semi-directif, comportant 12 questions, était destiné à recueillir des données sur les attitudes des enseignants face à l'utilisation des simulations dans l'enseignement de la physique, mais aussi à repérer l'objectif d'apprentissage visé par l'enseignant.

Les chercheurs ont examiné plusieurs relations. Il s'agit notamment des relations entre, le taux de réponses des élèves (SRR, *Student Response Rate*) et leur motivation pour caractériser leur participation active à la leçon, entre le score du cycle P-O-E (dans cet ordre) (ICS, *Inquiry Cycle Score*) et les idées des élèves, entre le nombre d'occurrences de conformité des objectifs d'apprentissage des élèves avec celui de l'enseignant.

L'étude a montré que l'utilisation des simulations informatiques motive les élèves à participer activement au cours. Que cette participation active est plus présente chez les élèves positifs à l'utilisation des simulations informatiques et dont l'enseignant utilise une approche pédagogique proche de l'approche P-O-E. Que l'utilisation des simulations informatiques selon une approche pédagogique semblable à celle de l'approche P-O-E, favorise les idées des élèves. Qu'il y a une coïncidence entre l'objectif d'apprentissage visé par l'enseignant et l'objectif d'apprentissage perçu par les élèves ayant trouvé que les simulations informatiques contribuent positivement à leur apprentissage.

Ce travail n'a pas trouvé de lien positif entre les résultats d'apprentissage et l'expérience professionnelle de l'enseignant, ni entre la fréquence des réponses-élèves et le nombre de cycles P-O-E.

D'autres études, plus élaborées, comme celles de De Jong, Linn, et Acharias (2013), et de Lara Kathleen Smetana & Bell (2012), ou encore celles de (Droui, & El Hajjami, 2014), (Kukkonen et al., 2014), (Özmen, 2008), (Beaufils & Richoux, 2003b), (Bernard, 2006), (Hennessy et al., 2007), (Hennessy, 2006), non rapportées ici, ont également montré que l'utilisation des simulations informatiques avait des effets positifs sur l'apprentissage de la physique et de la chimie.

Certains travaux, effectivement, ont montré que leur utilisation a un effet positif par rapport à une situation d'enseignement-apprentissage traditionnelle (Spodniakková Pfefferová, 2015 ; Ünlü & Dökme, 2011 ; Jimoyiannis & Komis, 2001 ; Lara K. Smetana & Bell, 2012, 2014 ; Rutten et al., 2015 ; Sarabando, Cravino, & Soares, 2014 ; Sarabando et al., 2016), même en classe entière (Rutten et al., 2015) ; (Lara K. Smetana & Bell, 2014). Mieux, certains de ces travaux ont même montré que, utilisée seule, elle avait plus d'effet sur l'apprentissage que lorsqu'elle est utilisée en combinaison avec le matériel réel. Ces effets s'expriment en termes de compréhension des concepts, de construction de sens des concepts, et de modélisation.

2.3.2 Des recherches rapportant une différence non significative entre les gains d'apprentissage des situations d'apprentissage avec simulation et sans simulation

Des travaux ont montré que l'utilisation de la simulation n'a pas eu d'effet concernant l'apprentissage visé. Par exemple, dans l'étude menée par Ünlü & Dökme (2011), ou celle effectuée par Spodniakková Pfefferová, (2015), les résultats des tests n'ont pas été significatifs avec le travail avec les graphes dans l'apprentissage des ondes et oscillations mécaniques.

D'autres ont même trouvé que les résultats positifs des apprentissages rapportés ne leur incombent pas, et les mettent plutôt à l'actif de la pédagogie de l'enseignant (Win, 2006). Leur simplicité pourrait même favoriser une conception erronée du fonctionnement de la science (Khan, 2011).

2.3.3 Des résultats significatifs de recherches concernant des facteurs favorisant la compréhension des concepts

2.3.3.1 Impact positif sur la motivation des élèves à l'apprentissage

Ze (2017) a mené une étude multi-cas sur la motivation, chez les élèves de 3^{ème}, à apprendre les sciences physiques (c'est-à-dire la physique et la chimie), à l'aide des simulateurs informatiques associés à un exerciceur *Hot Potatoes*, dans le contexte Camerounais de l'enseignement secondaire. Les chapitres de physique ont porté, respectivement, sur le mouvement de l'homme, et sur les forces. Pour le chapitre sur le mouvement de l'homme, 2 activités d'apprentissage ont été prévues, chacune reliée à un simulateur PhET de l'Université du Colorado. Pour le chapitre sur les forces, 3 activités d'apprentissage ont été proposées, chacune liée à un simulateur PhET. Un ordinateur a été affecté, dans la salle informatique du

lycée, à chaque binôme. Chaque binôme a travaillé sur l'ordinateur qui lui a été attribué à l'aide des simulateurs associés à l'exerciseur Hot Potatoes6.

Les résultats ont montré que les simulateurs et l'exerciseur ont favorisé le processus d'acquisition des connaissances chez les élèves à travers un processus de communication. Ils les ont guidés, les ont conduit à consulter mieux leurs ressources matérielles (cahiers de cours, livres, ..) et humaines (leurs pairs, l'enseignante) pour mieux comprendre les concepts, en cas de difficultés rencontrées. Ils ont permis de favoriser le conflit sociocognitif avec les pairs. Ils ont permis aux apprenants d'être rassurés, d'acquérir des automatismes, de persister dans l'apprentissage des concepts. En revanche, deux élèves, semblent n'avoir pas acquis de connaissances sur les concepts en jeu. Ils ont plutôt passé le temps à jouer que d'apprendre. Il y a donc un problème de vigilance à avoir lors de l'utilisation de ces TIC.

L'étude a montré que les deux élèves qui n'ont rien appris semblent plutôt préoccupés par des difficultés d'ordre familiale (capital scolaire des parents, manque d'aide scolaires, besoin de base comme avoir des ressources financières pour manger, etc.). L'étude nous révèle ainsi que l'impact de l'utilisation des simulateurs associés à l'exerciseur n'est favorable qu'à certaines conditions. Dans cette étude, ce sont les élèves qui étaient au centre de l'apprentissage. L'enseignant n'était qu'un accompagnateur. Cependant, l'accompagnement différencié était difficile car l'enseignant ne pouvait pas être auprès de deux binômes, en cas de difficultés, en même temps.

2.3.3.2 Impact positif sur les attitudes des élèves envers la physique

Ulukök et Sari (2016) ont étudié l'effet de deux simulations informatiques destinées à l'enseignement de la physique, la simulation *PhET Direct Current Kit* et la simulation *Crocodile Physic*, sur les attitudes de futurs enseignants de physique. Ils ont également recueilli les opinions de ces futurs enseignants sur ce que doit être une bonne simulation pour l'enseignement et l'apprentissage de la science. 46 élèves-professeurs⁴⁰ d'une Université des Sciences de l'Éducation en Turquie ont volontairement accepté de participer à cette étude. Ces étudiants ont été répartis en 10 groupes composés de 6 groupes de 5 étudiants et 4 groupes de 4 étudiants. Un questionnaire d'attitudes avec une échelle de Likert à 5 niveaux, comportant des items, a été utilisé pour évaluer les attitudes des élèves-professeurs avant (pré-test) et après (post-test) l'expérimentation avec les 2 simulations utilisées.

Un entretien semi-directif a été effectué avec les futurs enseignants en vue de recueillir les données concernant leurs opinions sur les simulations favorables à l'enseignement et à l'apprentissage des sciences. Les traitements statistiques (statistiques descriptives, t-test) effectués sur les points obtenus sur l'échelle de Likert, et l'analyse qualitative, avec la technique de l'analyse de contenu des déclarations des futurs enseignants, ont montré que les simulations informatiques avaient des effets positifs sur leurs attitudes. La majorité des participants estiment qu'elles sont utiles pour l'enseignement de la physique, qu'elles favorisent la motivation, le

⁴⁰ Nous appelons élèves-professeurs de physique, les étudiants en formation pour devenir des professeurs de physique.

renforcement de la compréhension conceptuelles des concepts, la facilitation de l'apprentissage, la concrétisation des informations, la mise en relation des concepts avec le quotidien c'est-à-dire le monde matériel.

Cependant, d'autres participants ont trouvé que leur utilisation prend beaucoup de temps et ne les envisagent pas dans leurs pratiques d'enseignement. Il s'agit notamment des participants (40%) qui ont eu du mal à les utiliser. Concernant les simulations favorables, il ressort que ce sont celles qui sont ludiques, faciles à utiliser et qui donnent la possibilité à l'apprenant de concevoir son dispositif expérimental, et d'améliorer sa créativité.

Pour Ulukök et Sari (2016), l'intérêt d'une étude sur les attitudes et opinions des enseignants et futurs répond au besoin de connaissances en vue de concevoir des simulations informatiques pertinentes et adaptées à l'enseignement et à l'apprentissage des sciences.

2.3.3.3 De l'impact sur l'engagement de l'élève dans la tâche

Des études rapportent également que, s'agissant les effets de l'utilisation des simulateurs lors de l'apprentissage, les élèves sont plus activement engagés dans les tâches d'apprentissage. Ils participent aussi fortement au déroulement cours. Pour certains élèves et enseignants, avec l'utilisation des simulations les informations sont rendues concrètes.

2.3.4 De la méthodologie des recherches rapportées sur l'impact de l'utilisation des simulations informatiques pour l'apprentissage

2.3.4.1 Contexte et terrain d'expérimentation

Les contextes des études relevés dans la littérature, portant sur l'utilisation des simulations informatiques pour l'enseignement et l'apprentissage des sciences, la physique en particulier, sont divers. Tous les ordres d'enseignement ont été concernés. Les groupes participant à l'expérimentation sont de petites tailles. Les élèves sont placés, en général, par binôme. Très peu d'études ont été réalisées en grand groupe, en classe entière. Les situations didactiques comparées concernent, soit l'utilisation de la simulation et l'utilisation du matériel réel, soit l'utilisation de la simulation et du matériel, et l'utilisation du matériel, soit l'utilisation de la simulation seule.

2.3.4.2 Participants à l'étude

Dans l'étude de Ze (2017) dix élèves volontaires sur 64 élèves de la classe de 3^{ème} d'un lycée rural et leur enseignante ont participé à l'étude. Les dix élèves ont été répartis, par affinité, en 5 binômes, formant ainsi 5 cas. L'expérimentation s'est déroulée sur des leçons du programme Camerounais de la classe de 3^{ème}. Trois chapitres ont fait l'objet d'apprentissage, 2 en physique et 1 en chimie.

2.3.4.3 Variables étudiées et outils de collecte des données

Dans l'étude de Ze (2017), les données de l'expérimentation ont été recueillies par observation directe participante de toutes les séances d'apprentissage, par entretiens de groupe

semi-directif d'une durée de 20 à 30 min, avec chacun des 5 binômes, et 1 entretien individuel semi-directif de 25 min avec l'enseignante. Les résultats ont porté, d'abord, sur l'accompagnement offert par les simulateurs et l'exerciseur, ensuite sur l'acquisition de nouvelles connaissances par les élèves et leurs erreurs, et enfin, sur les comportements et attitudes inculqués, tous déterminés à partir de l'analyse de contenu des déclarations des élèves et de l'enseignante.

2.3.4.4 Déroulement de l'expérimentation dans les études rapportées

Dans l'étude de (Ze, 2017), l'expérimentation s'est déroulée sur 48 heures, en 2 séances d'apprentissage, de 2h chacune. Dans la première séance de 8h, les élèves ont été initiés à l'utilisation de l'ordinateur afin qu'ils puissent utiliser aisément le simulateur associé à l'exerciseur. Pendant ces 8h, ils ont bénéficié d'un enseignement classique. La recherche réalisée est une recherche exploratoire, purement qualitative, qui vise à mieux comprendre l'expérience que les élèves ont vécue au cours de l'expérimentation, avec l'utilisation des simulateurs associés à un exerciseur.

Chapitre 3 – Problématique, questions hypothèses et objectifs de la recherche

Ce chapitre présente d'abord la problématique de l'étude, d'après les faisceaux de recherches, le problème et le questionnement que posent l'utilisation des simulations informatiques pour l'enseignement et l'apprentissage de la physique dans le contexte éducatif ivoirien. Il présente, ensuite, les hypothèses de la recherche, les questions, et les objectifs de la recherche. Pour finir, il présente la pertinence scientifique, institutionnelle, didactique et sociale de cette étude.

3.1. Problématique de la recherche

3.1.1. Faisceaux de résultats de la recherche en didactique sur l'usage des simulations informatiques

Plusieurs faisceaux de résultats de recherche se dégagent de l'état de la littérature. D'un côté, l'utilisation des simulations informatiques favorise l'apprentissage des concepts de physique. D'un autre côté, leur utilisation n'a aucun effet sur l'apprentissage visé.

D'un côté, les simulations informatiques améliorent la compréhension des concepts (Droui, & El Hajjami, 2014 ; Kollöffel & Jong, 2013 ; Gratch et al, 2007), et le processus de conceptualisation, en permettant aux élèves de faire des mises en relation constantes entre les concepts étudiés et les objets et événements du monde matériel (Buty, 2003, 2000). Elles favoriseraient aussi le processus de modélisation du concept (Beaufils & Richoux, 2003). D'un autre côté, elles peuvent développer chez l'apprenant une conception erronée de la science, en ce sens qu'elles ne traduisent pas la réalité du fonctionnement de la science, par leur simplicité.

D'un côté, les résultats positifs de l'apprentissage, en cas d'utilisation, leur sont attribués, d'un autre côté, les résultats leur sont réfutés et attribués à l'approche pédagogique mise en œuvre par l'enseignant (Winn et al., 2006b).

Le rôle essentiel et important de médiation de l'enseignant, dans les résultats obtenus avec les simulations, et la mise en œuvre de ces simulations dans le déroulement d'une leçon ont été très peu étudiés, au regard de la littérature scientifique ; encore moins dans un contexte d'utilisation en classe entière, en situation réelle, avec des groupes classes d'effectifs pléthoriques, comme c'est le cas en Côte d'Ivoire.

3.1.2. Des contraintes de l'enseignement liées au contexte ivoirien

La leçon que nous expérimentons, dans le cadre de cette recherche, avec l'utilisation d'un simulateur d'oscilloscope, vise à mettre en place, selon les prescriptions du programme officiel (MENET, 2014, p. 11), les habiletés qui concernent la visualisation d'une tension alternative sinusoïdale ; la définition de cette tension, la définition de la période et de celle de

la fréquence de cette tension, la détermination des caractéristiques de cette tension et l'utilisation de la relation entre la période et la tension. En raison du nombre d'heure limite de cours, du manque d'oscilloscope dans la plupart des laboratoires scolaires et des effectifs pléthoriques, les enseignements ont lieu en classe entière, et souvent en double vacation. Ces habiletés peuvent être mises en place grâce aux simulations informatiques, au regard des possibilités qu'elles offrent d'après la revue de la littérature.

Utilisées en classe entière (Rutten et al., 2016; 2015 ; Lara K. Smetana & Bell, 2014), les simulations peuvent permettre d'améliorer l'apprentissage des concepts en physique. Dans ce contexte, la stratégie de la réussite repose sur l'enseignant. Et donc sur sa méthode d'enseignement, malheureusement, très peu étudiée dans les recherches antérieures (Op. cit). L'étude effectuée par Rutten et al. (2015) est une référence intéressante, en ce sens que non seulement elle se rapporte à l'utilisation de simulations informatiques, en classe entière, par différents enseignants, mais elle se penche en plus sur la mise en œuvre de l'approche d'investigation POE par ces derniers.

3.1.3. Problème à résoudre

Les contextes de réalisation des études, en didactique, portant sur l'utilisation des simulations informatiques dans une séquence d'enseignement-apprentissage en classe entière diffèrent de ceux de la Côte d'Ivoire. En effet, le contexte de l'expérimentation réalisée par Rutten et al. (2015), par exemple, est caractérisé par l'utilisation de deux simulations au choix, par l'enseignant, des classes de 7 à 22 élèves, des prises de vue vidéo couvrant toute la classe, avec des enseignants ayant l'habitude d'utiliser les simulations dans leurs cours.

Dans le contexte de la Côte d'Ivoire, d'une manière générale, les classes ont des effectifs pléthoriques à tel point qu'il est parfois difficile, voire impossible de circuler entre les rangées des tables bancs, les enseignants n'ont pas l'habitude d'utiliser les simulations en classe (Demba, 2013, pp. 30-33), les salles de classes n'ont pas été conçues pour une utilisation alternée du tableau à craie, et d'un écran de projection, les cours se déroulent dans les classes surchargées dans lesquelles il fait souvent chaud, beaucoup de salles manquent d'électricité aussi bien dans les prises que les interrupteurs, et en outre, les élèves, en général, n'aiment pas beaucoup la physique (Venturini, 2004). Tous ces détails participent des conditions défavorables à l'utilisation des simulations dans le contexte ivoirien, et constituent un réel problème.

Certes, de nombreuses études, réalisées dans des contextes occidentaux, ont montré, de manière générale, que l'usage des simulations peut améliorer la compréhension des concepts. Cependant, les bonnes pratiques n'étant pas toujours transférables (Voulgre, 2011, p. 2), nous nous trouvons face à la problématique suivante : ***Faut-il utiliser les simulations informatiques pour faire comprendre les concepts de physique dans le contexte naturel de l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire? Si oui, comment et dans quelles conditions?***

Pour la leçon que nous avons choisie pour notre étude, la problématique est donc la suivante : *Faut-il utiliser un simulateur d'oscilloscope pour faire comprendre les concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4^{ème}, dans le contexte*

naturel de l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire? Si oui, comment et dans quelles conditions? Nous présentons dans les sections qui suivent un certain nombre de questions de recherche pour tenter de trouver des éléments de réponse à cette problématique.

3.2. Questions de recherche

3.2.1. Question générale

Un enseignement utilisant un simulateur d'oscilloscope, en classe entière, dans le contexte naturel de l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire, affecte-t-il significativement la compréhension des élèves de 4^{ème}, concernant les concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale? Quels en sont les facteurs explicatifs ?

3.2.2. Questions spécifiques

Cinq (05) questions spécifiques de recherche :

- 1) Y-a-t'il une différence significative entre le gain relatif d'apprentissage des élèves enseignés avec le simulateur d'oscilloscope et le gain relatif d'apprentissage des élèves enseignés sans le simulateur d'oscilloscope ?
- 2) Quelles relations existe-t-il entre le gain relatif d'apprentissage et l'attitude des élèves, l'engagement des élèves dans la construction de la compréhension des notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, en termes d'implication dans le jeu didactique, et la participation globale dans le déroulement du cours ?
- 3) Quelles relations existe-t-il entre l'engagement des élèves dans la construction de la compréhension des notions en jeu et les pratiques de l'enseignant, en termes de démarche d'investigation POE, et de pédagogie centrée sur l'apprentissage ?
- 4) La manière d'utiliser le simulateur d'oscilloscope, pour la construction de la compréhension des notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, et les conditions de cet apprentissage, expliquent-elles les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes expérimentaux ?
- 5) Quels effets élèves et enseignants perçoivent-ils de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope par rapport à leurs activités cognitives lors du processus enseignement-apprentissage ?

Pour pouvoir apporter des éléments de réponse à ces questions, nous émettons les hypothèses de la section suivante.

3.3. Hypothèses de recherche

3.3.1. Hypothèse principale

L'utilisation, par l'enseignant, du simulateur d'oscilloscope, au bon moment, selon une démarche d'investigation POE, dans une approche socioconstructiviste, à travers une pédagogie

d'apprentissage, et dans de bonnes conditions d'utilisation favorise la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, en classe entière.

3.3.2. Hypothèses secondaires (H)

H1 : Les groupes-classes ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope (groupes-classes expérimentaux) réalisent un gain relatif d'apprentissage significativement plus élevé que les groupes-classes n'ayant pas été enseignés avec le simulateur (groupes-classes témoins).

H2 : L'attitude envers les sciences étant un prédicteur de l'engagement de l'élève dans l'apprentissage des sciences, selon Venturini (2004, p. 1), nous amène à stipuler que le gain relatif d'apprentissage dépend de l'attitude envers la discipline des élèves des groupes-classes, au départ de l'apprentissage.

H3 : Étant donné que la compréhension est quelque chose qui ne peut s'opérer que moyennant la participation centrale de l'apprenant (Astolfi & Develay, 2002, p. 1), nous affirmons que le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend de leur niveau d'implication dans la pratique de la démarche POE de l'enseignant pendant la séquence de cours. Ce niveau d'implication est caractérisé par leur taux de réponses (*Student Response Rate* (SRR)) aux questions posées par l'enseignant lors de la pratique de cette démarche.

H4 : En considérant l'importance du rôle de l'enseignant dans le jeu didactique (Sensevy, 2008, p. 42), nous stipulons que le niveau d'implication des groupes-classes dans la pratique de la démarche d'investigation POE (SRR) dépend du niveau de pratique de cette démarche par l'enseignant, pratique caractérisée par le nombre du cycle de questions prédiction-observation-explication (ou *Inquiry Cycle Score* (ICS)) mis en œuvre.

H5 : En tenant compte du rôle central de l'apprenant, en tant qu'acteur de son apprentissage (Altet et al., 2015 ; Astolfi & Develay, 2002), nous stipulons que le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend également de leur niveau de participation globale dans le cours.

H6 : Pour que l'élève soit actif dans son apprentissage, l'enseignant devra mettre en œuvre une pédagogie efficace. Ce qui nous fonde à dire que le niveau de participation globale des groupes-classes dépend également du niveau de pratique de la pédagogie de l'apprentissage⁴¹ de l'enseignant (Altet et al., 2015, p. 61).

H7 : Les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes dépendent de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope par l'enseignant, pendant la construction des connaissances sur les concepts de physique en jeu (moment d'utilisation (Spodniakovà Pfefferová, 2015, p. 281), mise relation des concepts avec les évènements du monde matériel (Tiberghien & Vince, 2005, pp. 4-5), etc.). Dans le cas de notre étude, il s'agit des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale.

⁴¹ Pédagogie centrée sur une logique de l'apprentissage

H8 : Les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes dépendent des conditions d'utilisation du simulateur. Nous entendons par là, les conditions d'apprentissage (gestion de l'espace, gestion des supports, conditions d'exécution, qualité du simulateur (Tricot et al., 2003, p. 391).

H9 : L'utilisation du simulateur d'oscilloscope favorise l'apprentissage des notions de fréquence et période parce qu'elle aide à mémoriser les éléments de savoirs, et facilite leur explication et leur compréhension (Spodniakovà Pfefferová, 2015, pp. 286-287).

Pour vérifier les hypothèses de nos hypothèses nous fixons les objectifs de la section suivante.

3.4. Objectifs de la recherche

3.4.1. Objectif principal

Notre objectif principal est d'évaluer l'efficacité de l'utilisation d'un simulateur d'oscilloscope dans la compréhension des élèves concernant les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4^{ème}, à l'issue d'une situation d'enseignement en classe entière, à partir d'une analyse comparative des gains relatifs d'apprentissage d'un groupe expérimental et d'un groupe témoin, et de mettre en évidence la nature des relations existant entre ce gain relatif d'apprentissage et des facteurs explicatifs liés aux attitudes et comportements des élèves envers la physique, aux pratiques de l'enseignant, et aux conditions de l'environnement de la classe.

3.4.2. Objectifs opérationnels

Notre objectif principal se décline en 7 objectifs opérationnels. Il s'agira donc pour nous d'analyser:

- l'écart existant les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes ayant été enseignés avec l'aide du simulateur d'oscilloscope avec ceux des groupes-classes enseignés sans le simulateur ;
- la nature de la relation existant entre les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes et les attitudes des élèves envers la discipline, prédicteurs de leur engagement dans l'apprentissage (Venturini, 2004, p. 1) ;
- la nature de la relation existant entre les gains d'apprentissage et l'implication des groupes-classes dans la démarche d'investigation POE ;
- la nature de la relation entre l'implication des groupes-classes dans la démarche d'investigation et la pratique de la démarche d'investigation de l'enseignant ;
- la nature de la relation entre les gains d'apprentissage et le niveau de participation des groupes-classes ;

- la nature de la relation entre le niveau de participation des groupes-classes et le niveau de pratique de la pédagogie d'apprentissage de l'enseignant ;
- les perceptions des élèves et des enseignants concernant les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope.

La pertinence de cette étude est à saisir à plusieurs niveaux tels que nous le présentons dans la section suivante.

3.5. Pertinence de notre recherche

Se référant à Maykut et Morehouse (1994, pp. 63-4), T. Karsenti (1998, p. 30), estime que la problématique d'une recherche traduit, en réalité, la pertinence scientifique et sociale de cette recherche. Pour Legendre (1993, p. 1017) cité par Karsenti, le but d'une problématique est de « *circonscrire un problème ou un réseau de problèmes à résoudre dans un domaine particulier et de démontrer la pertinence ainsi que les bénéfices prévisibles par la recherche entreprise* ». C'est le cas pour la présente recherche.

3.5.1. Pertinence scientifique

Une recherche scientifique a principalement trois visées (ou finalités)⁴² [1]: une finalité pédagogique, une finalité épistémologique, et une finalité technique ou technologique.

3.5.1.1. D'un point de vue pédagogique. La formation des professeurs des lycées et collèges à l'intégration des simulations dans leurs pratiques d'enseignement

La première finalité de ce travail de recherche est, d'abord, de comprendre exactement comment se déroule la mise en œuvre de l'utilisation d'une simulation informatique, dans le contexte naturel de l'enseignement secondaire général, afin de mieux l'expliquer aux futurs enseignants de physique-chimie, en formation initiale à l'ENS d'Abidjan. Cette préoccupation semble être également partagée par Rutten et al. (2016), parlant de l'étude qu'ils ont menée, en ces termes : « *this study focused on improving our understanding about pedagogical interaction during whole class teaching involving computer simulations [...]* » (Rutten et al., 2016, p. 29).

3.5.1.2. D'un point de vue épistémologique : de la production des connaissances

Il existe très peu d'études sur l'usage des simulations informatiques en classe en entière (Lara K. Smetana & Bell, 2014 ; Rutten et al., 2015), encore moins avec des classes d'effectifs pléthoriques (ex. de 50 à 80 élèves ou plus). Celles qui existent relèvent du monde anglophone,

⁴² [1] (2003). Chapitre 1. La recherche scientifique et les recherches en éducation. Dans : J. Van Der Maren, *La recherche appliquée en pédagogie: Des modèles pour l'enseignement* (pp. 15-38). Louvain-la-Neuve, Belgique: De Boeck Supérieur.

en général. Notre recherche contribuera donc à produire de nouvelles connaissances pour documenter la littérature scientifique sur cet objet de recherche, dans un contexte francophone.

3.5.1.3. Du point de vue technologique

Il s'agit de la dimension pragmatico-économique qui consiste à mettre au point un bien ou produit ([1], p. 18) destiné à la consommation. En ce qui concerne notre recherche, il s'agit de mettre au point l'utilisation d'une simulation informatique dans l'environnement de la classe, pour servir l'efficacité du processus enseignement-apprentissage. Ce travail permettra de décrire des scénarios possibles d'une telle utilisation au bénéfice d'une pédagogie appropriée.

3.5.2. Pertinence institutionnelle et didactique

3.5.2.1. Pertinence institutionnelle

La pertinence de cette recherche - pour l'institution d'éducation, en charge de l'enseignement secondaire, qu'est le ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement technique et de la formation professionnelle (MENET-FP) - peut être saisie à deux niveaux: au niveau de la pratique des TICE en classe, et au niveau curriculaire.

Sur le plan de l'utilisation des TIC en classe, Karsenti (2009, p. 9), en collaboration avec le ROCARE, constate qu'en Afrique, « *l'intégration pédagogique des TIC pose problème et, surtout, elle est mal comprise* ». Il a trouvé que, de manière générale, dans les écoles d'Afrique, les TIC sont enseignées comme une discipline à enseigner, et « à prendre par cœur », avec un contenu anachronique. Pour lui, l'enseignement des TIC à l'école doit amener les élèves et les enseignants à utiliser, de manière appropriée, ces technologies dont ils connaissent, en général, assez bien le fonctionnement technique. Pour les élèves, il s'agit de les utiliser pour apprendre la discipline de l'enseignant (par exemple, accéder à un exerciceur pour faire des exercices relatifs à la discipline, ou utiliser des simulations pour visualiser des phénomènes, explorer des relations entre concepts, etc.). Pour l'enseignant, il s'agit de les utiliser, par exemple, pour illustrer une idée, une explication, faire observer un phénomène, montrer les relations entre des concepts, différents registres du concept enseigné, etc. ou encore pour faire la classe inversée afin d'apporter une réponse à la problématique de la réduction des temps didactiques, ou encore pour assurer, éventuellement, un suivi différencié des élèves. Même si l'utilisation des simulations ne remplace pas les expériences réelles, notre étude pourrait montrer que leur utilisation réfléchie et adéquate se présente, à l'institution, comme une solution à l'absence de matériel physique pour la réalisation des expériences en classe. Elle constituerait ainsi un levier pour l'intégration des TIC dans les pratiques des enseignants, intégration recommandée par un décret, mais qui n'en définit pas un contenu précis.

Sur le plan curriculaire, des pays du nord, comme la France, ont préconisé dans leur curriculum, l'utilisation de l'informatique pour soutenir les sciences expérimentales (Beaufils & Richoux, 2003, p. 12). En effet, comme le dit I. Koffi (2017, p. 85), le curriculum exprime les intentions institutionnelles à travers les programmes éducatifs et leur guide d'exécution. La présente recherche permettra au MENET-FP de disposer d'arguments scientifiques pour justifier une éventuelle recommandation d'intégration pédagogique des simulations

informatiques dans les pratiques d'enseignants. Une telle intégration aidera probablement les enseignants de plusieurs disciplines à la fois, telles que Physique-Chimie/Sciences de la Vie et de la Terre (PC/SVT)⁴³, en réduisant leur charge cognitive, dans la préparation et la dispensation des activités d'apprentissage. Elle réduirait également celle des élèves (Najjar, 2015, p. 198). Nous entendons par charge cognitive, « [...] l'intensité du traitement cognitif mis en œuvre par un individu lorsqu'il réalise une tâche donnée dans un contexte particulier » (Tricot, 2009, p.1) ».

3.5.2.2. Pertinence didactique

L'utilisation des simulations, dans le processus enseignement-apprentissage, facilitera la compréhension des concepts de physique et de chimie à travers les possibilités qu'elles offrent dans le cadre de l'apprentissage comme expliqué dans la section précédente. Cette utilisation, si elle est bien menée, facilitera également les tâches de l'enseignant (comme, par exemple, parler moins (Demba, 2013, p. 158), faciliter les explications, contourner éventuellement quelques difficultés liées à la maîtrise de la langue d'enseignement, ou encore, liées aux formulations mathématiques, etc.). La suscitation d'une grande motivation des élèves à l'apprentissage, et la facilitation de la compréhension des concepts de physique pourrait les amener à s'intéresser d'avantage à la discipline.

3.5.3. Pertinence sociale

3.5.3.1. Réduction de la pauvreté et bien-être social

La compréhension de la physique et, l'orientation des jeunes vers les activités basées sur la physique permettront la création de petites unités de production d'objets techniques, comme le montre l'exemple des pays européens, utiles à la population, surtout rurale. Près de la moitié (46,9%) de la population du pays vit dans ces zones où l'électricité fait défaut. La population y est majoritairement pauvre. Elle a, en général, recours au bois de chauffe pour faire cuire les aliments. La majorité des écoles n'ont pas d'électricité dans les salles de classes. Elles n'ont pas non plus de cantines (pour les élèves habitant souvent loin de l'école, 4 à 5 km). Plusieurs centres de santé manquent également d'électricité. Dans ces zones, l'eau potable aussi est rare. Le travail agricole, après 60 ans d'indépendance, y est encore manuel. L'existence de dispositifs techniques, tels que les fours électriques, les panneaux solaires, etc., grâce à la transformation de l'énergie solaire, offriront une vie meilleure à la population. Ces dispositifs, à produire, et à commercialiser à moindre coût, engendreront le développement d'autres activités connexes, comme par exemple, les activités de réparation, de vente de l'objet ou de pièces, etc., qui contribueront à réduire le chômage. Ainsi, la physique permettra à la population d'accéder aux services sociaux de base : santé, éducation, énergie de cuisson, et eau potable.

⁴³ Ces enseignants sont dits bivalents. Leur formation a été décidée afin d'apporter une réponse au manque d'enseignants surtout dans les collèges situés dans les zones rurales.

C'est un objectif majeur visé par le PNIASE-CI, mais aussi par l'ONU, en termes d'ODD. Ces inventions engendreront, assurément, un bien-être social.

3.5.3.2. Développement économique et émergence du pays.

Le développement de la Côte d'Ivoire a longtemps été basé sur l'agriculture, selon un modèle dit « *des vingt glorieuses* »(Hugon, 2003), de 1960 à 1980, grâce à une politique du Président Félix Houphouët-Boigny, axée sur une main d'œuvre agricole provenant fortement de l'immigration. Une industrialisation de masse du pays, à travers les sociétés basées sur la physique à l'image des pays occidentaux (Cbr, 2013), produira une croissance plus rapide de l'économie, et plus durable. Ce qui permettra au pays d'aller plus vite à l'émergence (Côte d'Ivoire, Groupe Consultatif PND 2016-2020, pp. 1-4), avec une qualité de vie à sa population, tendant vers celle des pays développés (une population majoritairement alphabétisée ayant un meilleur accès à la santé, à l'électricité, à l'eau potable et courante, à l'éducation, à une agriculture mécanisée, aux biens de consommation, etc.).

Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons montré, à travers l'exemple des pays développés européens, que comprendre la physique pouvait permettre de créer des emplois et améliorer les conditions de vie de la population. Et que pour cela, il faudrait que plus d'élèves s'orientent vers les filières et carrières scientifiques, actuellement délaissées (moins de 1% des élèves dans le secondaire général (MENET-FP/DSPS, 2017)). Nous avons vu que le recours aux TIC pouvait aider les élèves, en difficultés d'apprentissage (d'ordres affectif, conatif, pédagogique, cognitif, familiale, ou scolaires), à mieux comprendre les concepts de la physique, une discipline que beaucoup parmi eux trouvent difficile, et envers laquelle ils ont, en majorité, des attitudes négatives. En raison de l'importance des activités expérimentales dans l'apprentissage de la physique, nous avons porté notre intérêt sur les simulations informatiques, un type particulier des TIC, pouvant permettre la visualisation, et l'exploration des phénomènes physiques modélisés. Cependant son impact sur l'apprentissage des concepts de physique, en termes de gains significatifs, est encore discuté dans la littérature scientifique. De plus, les recherches en didactique de la physique, généralement occidentales et anglophones, qui rapportent les effets de leurs utilisations en classe entière, sont très rares. Nous n'en avons pas rencontrées en ce qui concerne l'Afrique au Sud du Sahara. Malgré tout, pour nous, leur utilisation dans le contexte ivoirien sera bénéfique à l'apprentissage de la physique. Mais sur quelles données scientifiques allons-nous fonder pour vérifier nos hypothèses ? Quels indicateurs faut-il chercher ? Pour cela nous allons nous référer à un ensemble de théories, que nous présentons dans le chapitre suivant.

Chapitre 4 – Cadre théorique

« Toute théorie scientifique est considérée comme un système d'énoncés non hiérarchisé, mais en interconnexion. Rescher appelle ces énoncés théoriques, les « données pures », « filtrées » avec lesquelles l'esprit travaille pour interpréter les événements du monde ». (En référence aux travaux de Nicholas Rescher sur la systématisation cognitive) ([1], p. 21).

Nous présentons dans ce chapitre les éléments de connaissances théoriques qui vont nous permettre de vérifier nos hypothèses de recherche. Ces éléments proviennent à la fois de théories et modèles pures, de travaux de référence effectués par différents chercheurs, et des concepts en jeu dans notre recherche (Dansereau, Gaudreau, Goyette, Séguin et Thibert, 1997, p. 17) cités par Karsenti et Savoie-Zajc (2011, p. 86).

4.1. Quelques clarifications conceptuelles liées à la formulation de notre sujet de recherche

Selon Émile Durkheim (1895) cité par (Djeumeni Tchamabe, 2011, p. 80) *« le savant doit toujours définir les choses dont il traite, afin que l'on sache et qu'il sache de quoi il est question. »*. C'est pourquoi, il nous a paru opportun de préciser le sens des concepts et notions que revêt l'intitulé de notre sujet, ci-après :

« L'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de physique en situation d'enseignement en classe entière au collège en Côte d'Ivoire. Étude du cas d'un simulateur d'oscilloscope ».

4.1.1 Des termes Impact, utilisation, et concept

4.1.1.1 Quelle différence entre « impact » et « effet » ?

Le dictionnaire français Le Petit Robert 2014 définit « effet » comme *« [le] résultat d'une action ; ce qui est produit par une cause. [C'est] une conséquence ... »* ou encore *« l'impression produite sur quelqu'un par quelque chose ou par quelqu'un »* (Le Petit Robert, 2014, p. 824). Des définitions qu'il donne du mot « impact » (voir p. 1283), nous pouvons retenir que l'impact est la trace que laisse un projectile sur l'endroit qu'il vient de frapper. Toujours selon Le Petit Robert, « impact » signifie aussi l'effet d'une action forte, brutale, ou encore, effet et influence, même si, selon lui, ces acceptions sont critiquées. Pour illustrer la définition donnée, il explique que « une étude d'impact » est, par exemple, l'étude des conséquences d'un aménagement sur l'environnement.

Les termes « effet » et « impact » sont beaucoup utilisés dans le domaine de l'évaluation des projets. Dans le cadre d'un cours sur l'évaluation d'impacts des projets, Rémi Bachelet (2013, p. 10), définit l'*effet* comme une « *incidence directe et indirecte de l'action* », et l'*impact* comme « *un changement durable à la suite de l'action, ce qui reste quand le projet est terminé* ». Pour lui, l'impact d'un projet désignerait aussi « *l'ensemble des changements durables, positifs et négatifs, prévus et imprévus, sur les personnes, les groupes et l'environnement, ayant un lien de causalité avec le projet.* » (p. 18), tout en précisant que le temps joue un rôle majeur dans l'évaluation de l'impact, puisque c'est après la fin du projet que l'impact est évalué. Les *effets* peuvent être prévisibles tandis qu'il est difficile de prévoir l'impact car lié également à des facteurs extérieurs, selon l'auteur.

Comme nous pouvons le voir, *effet* et *impact* désignent, tous les deux, un changement d'état, une modification constatée, soit directement ou indirectement, sur quelqu'un ou quelque chose, suite à une action de quelque chose ou une action (ou une activité) de quelqu'un. Ils sont la conséquence d'une cause. La différence entre *effet* et *impact* n'est donc pas très visible, si ce n'est que *impact* est l'ensemble des effets, en lien avec l'objet ou la situation étudiée, qui s'observe sur une durée relativement longue après l'extinction (ou la disparition) de la cause tandis que l'*effet* s'observe tout de suite après la cause. Il reste donc à savoir s'il persistera après un temps relativement long.

Ceci étant, puisque dans le cadre de notre recherche nous visons à mettre en évidence la modification (ou le changement) intervenue dans la compréhension des concepts, juste après la séquence d'enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope, il peut donc s'agir d'effet, c'est-à-dire, l'effet de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur la modification du score de départ de l'élève, après la séquence d'enseignement. Ce qui caractériserait une amélioration dans la compréhension des savoirs chez l'apprenant. Cependant, cet effet peut être également la conséquence d'autres effets produits par d'autres causes, comme, par la qualité de la pratique enseignante, celle de la motivation de l'apprenant grâce à changement positif d'attitude, par exemple, elles aussi provoquées par cette même utilisation du simulateur d'oscilloscope. Il s'agit donc là, d'un ensemble d'effets imbriqués. De ce point de vue, l'on pourrait penser à l'*impact* de l'utilisation de l'objet technologique. Les deux termes pourraient donc être employés indifféremment, l'un au sens de l'autre et vice versa, vu que Le Petit Robert 2014, lui-même, le signale. Mais comme la durée, de l'ensemble des effets à évaluer, est un facteur déterminant en ce qui concerne l'*impact*, et que dans le cas de notre étude, nous n'évaluons pas les effets après une durée relativement longue, consécutive à la fin de l'expérimentation, nous comprendrons le terme *impact*, employé dans la formulation de l'intitulé de notre sujet, au sens d'« *effets* », au pluriel.

Dans notre explication de l'*effet* ou de l'*impact*, nous avons employé le terme « utilisation » plutôt que celui d'« usage ». Que fallait-il dire ? La section suivante tentera de répondre à cette question.

4.1.1.2 « Utilisation » et « usage » sont-ils synonymes ?

Tout comme dans le cas des mots « effet » et « impact », les termes « utilisation » et « usage », sont aussi, bien souvent, employés dans le même sens, car, en général, même la définition du dictionnaire, Le Petit Robert 2014, par exemple, ne marque pas bien clairement la ligne de démarcation. Pour preuve, voici ce qu'il en dit : « « Utilisation » désigne « action, manière d'utiliser » et « usage » [signifie], action d'utiliser, d'exploiter quelque chose ; le fait d'appliquer, de faire agir un objet, une matière, pour obtenir un effet [...] » (Le Petit Robert 2014, p. 2665). Il précise même que le mot « usage » est parfois employé à la place d'utilisation, et en guise d'illustration, donne l'exemple suivant : « usage de la roue, de la boussole ». C'est justement cette ambiguïté que ne veut pas Alain Chaptal (2007, p.7), pour qui, scientifiquement, il faut écarter le doute, en faisant bien la différence entre « utilisation », « usages » et « pratiques ». Car en effet, avant lui, Chambat (1994, p. 249) faisait remarquer que, pour le sens commun, la notion d'usage avait plusieurs significations en sociologie des TIC, un continuum qui part de l'emploi à l'appropriation de l'objet, en passant par l'utilisation et la pratique.

Selon Chaptal (2007, p. 82), « « utilisation » renvoie à la fois à une action ponctuelle et aux aspects manipulatoires ». En revanche, citant Baron et Bruillard (1996), il définit les « usages » en tant qu'usages sociaux, c'est-à-dire une « action communément observée dans un groupe. ».

Dans le cadre de notre étude, nous employons le terme « utilisation » au sens de Chaptal (2007, p. 82), pour faire allusion à la manipulation du simulateur informatique utilisé.

4.1.1.3 Notion ou concept, une question de vocabulaire ?

Soucieux de la cohérence et de la rigueur de l'enseignement du français, à travers la clarté terminologique, Chartrand et De Koninck (2009, p. 154), se sont intéressés aux termes de concept et notion, employés, selon eux, sans distinction alors qu'ils ne sont pas synonymes. Pour ces auteurs, « un concept est une représentation mentale générale et abstraite d'un objet (abstrait ou concret), stabilisée dans une communauté de savoirs à un moment déterminé (concept de poids en physique, de raison en philosophie, de verbe en grammaire). » tandis que « la notion est une connaissance intuitive générale (Le nouveau Petit Robert, 2008) qui synthétise les caractères essentiels d'un objet mais ne prétend pas à la scientificité ». Ils précisent alors que le terme de concept fait référence à un objet construit dans le monde scientifique, le monde savant. Ce sont donc les chercheurs qui construisent les concepts. En revanche, la notion fait référence à un objet construit dans le cadre scolaire, en classe par l'élève. Ainsi, Chartrand et De Koninck considère qu'en classe, les productions des élèves sont à prendre comme des notions et non comme des concepts, celle des concepts étant du ressort des chercheurs.

Dans notre étude, nous avons pris le cas des termes de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, des concepts de physique qui font l'objet d'enseignement en classe de 4^{ème}, dans le programme éducatif du pays. Dans le cadre scolaire, partant de la clarification de

Chartrand et De Koninck, il s'agira donc pour l'enseignant, de faire construire aux élèves, une notion de ces deux concepts. Comme dans le cas de la construction de la notion d'adjectif, donnée comme exemple par eux, les élèves doivent être amenés progressivement à « *[construire la notion de fréquence (respectivement celle de période)] afin qu'elle désigne de plus en plus précisément l'ensemble des caractéristiques [de la fréquence (resp. de la période)] afin de les reconnaître systématiquement* ». Se référant au domaine de la psychologie cognitive et du développement, les auteurs définissent ce processus de construction comme étant la conceptualisation, qui est, soit le fait de produire des concepts, soit le fait de construire des conceptions. Dans notre cas, il s'agit de construire des conceptions scientifiques concernant la fréquence et la période d'une tension alternative sinusoïdale.

4.1.2 Notion de situation d'enseignement

Une situation est l'ensemble des circonstances dans lesquelles une personne se trouve (Le Petit Robert, 2014, p. 2375). Elle est comprise au sens de condition, d'état, de place, de position, etc. Il existe, dans le cadre de l'enseignement, deux grands types de situations selon Brousseau (2011, p. 2), l'une liée à la discipline et l'autre liée à la didactique de cette discipline.

4.1.2.1 Situations de la discipline

Prenant l'exemple des mathématiques, Brousseau parle de « *situations mathématiques* ». Pour lui, « *les situations mathématiques ont pour objet de représenter les conditions minimales nécessaires pour expliquer ou justifier la mise en œuvre d'un énoncé mathématique par un agent ou un groupe d'agents, sans intervention didactique extérieure* ». L'agent est, ici, l'enseignant. Il s'agit donc, pour l'enseignant, de créer des conditions pour expliquer ou justifier un énoncé mathématique ou, pour expliquer ou justifier comment mettre en œuvre un énoncé mathématique. Selon l'auteur, les exercices et les problèmes sont les formes de situations mathématiques utilisées dans l'enseignement depuis plusieurs siècles.

Par analogie aux situations mathématiques, il existe également des « situations de physique », pour l'enseignement de la physique en tant que discipline scientifique. Ces situations constituent des conditions qui permettent à l'enseignant d'expliquer, de justifier ou d'illustrer des concepts et des lois de physique. Les formes de situations de physique sont également les exercices, les problèmes, mais aussi les expériences.

Le deuxième grand type de situations identifié par Brousseau est ce qu'il nomme « *les situations didactiques* ».

4.1.2.2 Situations didactiques de la discipline

Contrairement aux situations de la discipline, les situations didactiques de la discipline font nécessairement appel à l'intervention de l'enseignant dans le déroulement du processus d'apprentissage. En effet, en prenant toujours l'exemple des mathématiques, Brousseau définit les situations didactiques des mathématiques comme étant des situations mathématiques placées au sein d'un « *ensemble de conditions qui ne conduisent le sujet [l'élève] à l'adoption*

directe des comportements déterminés que par l'intervention du professeur, que l'élève en aperçoive ou non la nécessité mathématique » (Brousseau, 2011, p. 2). Dans les situations didactiques, l'intervention de l'enseignant est donc déterminante. Pour l'enseignement de la physique, les situations didactiques sont similaires à celles de l'enseignement des mathématiques. L'une des conditions importantes des situations didactiques de la discipline, en mathématique comme en physique, est, pour l'enseignant, le fait de rendre fonctionnelles les notions que l'on veut enseigner. Comme le dit Brousseau, il s'agit de donner un rôle visible à la notion. De ce fait, les conditions choisies doivent permettre à l'élève d'entrevoir l'intérêt de la notion à enseigner.

4.1.2.3 Situation d'enseignement des notions de physique dans le cas de notre étude

Notre étude s'intéresse à la leçon portant sur les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, en classe de 4^{ème}. Le terme « Situation d'enseignement », que nous avons utilisé dans la formulation de notre sujet de recherche, doit être compris comme des situations didactiques de la physique. Il s'agit plus d'une situation d'enseignement-apprentissage. Les conditions didactiques les caractérisant concernent aussi bien les conditions de réalisation de l'acte d'enseignement que celles de l'acte d'apprentissage. C'est-à-dire l'ensemble des conditions dans lesquelles se trouvent l'élève ou le groupe-classe en situation d'apprentissage, et au cours desquelles l'enseignant intervient pour faciliter l'appropriation du savoir en jeu. Ces conditions renvoient à la relation de l'élève avec le milieu de la classe, les activités d'apprentissage *in situ*, son état psychologique, aux conditions matérielles, aux conditions de l'environnement scolaire, etc., mais aussi aux interactions avec l'enseignant, lui-même, avec son état psychologique, et ses stratégies pédagogiques.

4.1.3 Groupe-classe et classe entière

La notion de groupe-classe dérive de celle du groupe. Ainsi, à travers la notion de groupe et de la dynamique du groupe, nous tenterons de décrire ce que nous entendons par classe entière, à partir de la définition du groupe-classe, ses caractéristiques et son fonctionnement, car la gestion du groupe-classe est un élément prépondérant dans le métier d'enseignant (Moor, 2017, p. 2).

4.1.3.1 De la notion de groupe

Selon Dana Moor (2017, p. 1), citant Anzieu Didier et Martin Jacques-Yves (2015, p. 84) en référence à la théorie des champs des forces de Kurt Lewin, « *le groupe est un tout dont les propriétés sont différentes de la somme des parties ; le groupe et son environnement constituent un champ dynamique, dont les principaux éléments sont les sous-groupes, les membres, les canaux de communication, les barrières* ». Elle rapporte que trois approches théoriques, nous permettent d'appréhender des connaissances sur le fonctionnement du groupe et de sa dynamique. Ce sont l'approche sociologique, l'approche psychosociologique, et l'approche psychanalytique doublée de la dimension psychologie sociale.

Du point de vue de l'approche sociologique, selon D. Anzieu et J-Y Martin, il existe cinq catégories de groupes humains. Ce sont, la foule, la bande, le groupement, le groupe primaire ou groupe restreint, et le groupe secondaire ou organisation (Moor, 2017, p. 3) ; une classification effectuée à partir de la structuration du groupe, c'est-à-dire de son organisation interne, de sa durée d'existence, du nombre d'individus qui le composent, des relations entre ses membres, des effets du groupe sur les croyances et les normes de ses membres, de la conscience des buts par le groupe, et des actions communes du groupe. Contrairement à la foule, la bande et le groupement, où la structuration est très faible, faible ou moyenne, ainsi que la conscience des buts, le groupe restreint et le groupe secondaire présentent respectivement une structuration élevée, et très élevée.

Pour Anzieu et J-Y Martin, le groupe restreint est caractérisé par un degré d'organisation interne important, une différenciation des rôles des membres, des relations humaines riches entre les membres, d'une conscience des buts élevée, et des actions communes importantes, spontanées, et novatrices. L'effet du groupe sur ses membres conduit au changement des croyances, des modes et des comportements de ceux-ci. Ce qui n'est pas le cas pour le groupe secondaire, où la conscience des buts varie d'une conscience faible à une conscience élevée, les relations entre membres sont strictement fonctionnelles, et l'effet du groupe sur les membres est induit par pression.

Du point de vue de l'approche psychosociologique, les travaux de Kurt Lewin, psychologue (1890-1947), montrent, en référence à sa théorie sur les champs de forces et sa théorie sur la recherche d'équilibre, que le groupe n'est pas saisissable à travers chaque individu qui le compose car ses membres sont interdépendants. Ils se reconnaissent et ressentent des buts communs et des intérêts en commun. Il doit donc être saisi dans sa globalité. De ce fait, les changements des individus proviennent des interactions au sein du groupe. Et, la prise de décision en groupe engage plus chacun et tous les membres du groupe à l'action qu'une prise de décision individuelle.

Ainsi, selon Anzieu et Martin cité par Moor (2017, p. 5), « *il est plus aisé de changer des individus constitués en groupe que chacun d'eux séparément* ». Cependant, le bon déroulement des interactions au sein du groupe dépend de la forme du groupe, autrement dit, de son type d'organisation ; organisation responsable du climat des échanges au sein du groupe et de la productivité de ses membres à la tâche. « L'expérience des 3 climats » de Lewin, Lippit et White cités par (Moor, 2017, p. 6), a permis de mettre en exergue 3 types de groupes : le groupe « autocratique », le groupe « démocratique » et le groupe « laissez-faire ». Dans le groupe autocratique, le responsable du groupe fixe seul les objectifs et l'organisation des activités du groupe. Il décide et contrôle tout. Ce mode de gestion du groupe engendre tension, agressivité, découragement, et peu d'implication des membres dans les tâches. Ce qui conduit à une production moyenne comme résultats. Dans le groupe démocratique, les objectifs des activités sont fixés à travers une discussion consensuelle, les décisions sont prises en commun, l'engagement des membres dans les activités du groupe est fort. Il y a moins d'agressivité, un bon climat et une bonne coopération au sein du groupe. Ce qui conduit à une production élevée dans les tâches. Dans le groupe « laissez faire », aucune orientation n'est définie par rapport aux activités du groupe, il n'y a pas de contrôle non plus. L'agressivité, le sentiment d'échec et

de frustration sont présents. Cela entraîne une faible implication des membres du groupe dans les tâches et à une faible production au niveau des résultats dans les tâches.

Du point de vue de l'approche psychanalytique, le fonctionnement et la dynamique du groupe sont liés à ce que les individus ont intériorisé comme valeurs par rapport à la force du groupe, leurs rapports à l'autorité au sein du groupe (Moor, 2017, pp. 8-9). D'après sa théorie sur la recherche d'autorité et sur la disparition de l'individu du groupe ou son maintien, Wilfred Ruprecht Bion, psychanalyste (1887-1979), cité par Moor, explique que les membres d'un groupe s'attendent en général à un leader, qui a autorité, qui portera les aspirations et les responsabilités du groupe. Un leader qui les protégera et défendra leurs intérêts.

Il existe, ainsi, une dépendance du groupe de son leader. Au cas où le leader n'assume pas ce rôle, les membres du groupe développent un sentiment d'insécurité. De ce fait, ils cherchent soit à combattre ensemble pour leurs intérêts soit à fuir le groupe. L'attitude « combat-fuite » pousse alors les membres à se mettre par affinité, à travers la création de sous-groupes ou de couples. En appui à l'approche psychanalytique de Bion, Stanley Milgram, psychologue social montre l'importance de l'emprise que l'autorité a sur l'individu. Pour lui, dès lors qu'un individu perçoit le pouvoir d'un autre comme légitime, il perd ses capacités de jugement, abandonne son esprit critique, se décharge de ses responsabilités en faveur de cet autre individu, et devient l'exécutant des volontés de cet individu.

Au regard des connaissances que nous venons d'exposer sur la théorie du groupe et son fonctionnement dynamique, que peut-on dire du groupe-classe ?

4.1.3.2 Groupe-classe

Selon Dana Moor (2017, p. 3), le groupe-classe est un modèle du groupe restreint. Il est caractérisé, selon l'auteur, par une mixité des rôles et des comportements, des relations et des échanges intenses entre ses membres que sont les élèves, un besoin de leader, une cohésion à travers ses réseaux d'identification mutuelle, et un très fort pouvoir sur les croyances de l'élève et son comportement. Les travaux de Lewin montrent donc qu'il est plus facile de changer les habitudes d'un groupe-classe que les habitudes de chaque élève, pris séparément. Le climat le plus favorable à une bonne productivité des tâches dans le groupe-classe, et une bonne entente, serait un climat « démocratique ». Enfin, nous retenons que le groupe-classe est un système d'interdépendance entre les élèves et non la somme des élèves qui le constituent.

4.1.3.3 Notion de classe entière

Par classe, nous faisons allusion au groupe-classe en tant que groupe pédagogique au sens du système éducatif ivoirien, c'est-à-dire, un groupe d'élèves dans une salle de classe ordinaire sous la responsabilité d'un enseignant (MENET-FP, 2017, p. 79). Quant à la notion de classe entière, elle renvoie plutôt à un mode de regroupement des élèves de la classe, basé sur une prise en charge collective des élèves pour l'enseignement. En effet, le régime horaire de l'enseignement de la physique-chimie en classe de 4^{ème}, dans le contexte de la Côte d'Ivoire, est de 1h30 par semaine. Selon les effectifs dans les classes, et le nombre de salles de classes disponibles, il arrive que les enseignements de physique – chimie, sous la forme de « TP-

cours », se déroulent en classe entière ou en demi-classe. La demi-classe correspond à la classe dédoublée. Pendant un enseignement en classe entière, l'enseignant s'adresse à l'ensemble des élèves à la fois, tandis qu'en demi-classe, il ne travaille qu'avec un effectif réduit, étant donné que la demi-classe ne comporte que la moitié des élèves du groupe-classe.

Venturini et Amade-Escot (2009, pp. 427-434), ont montré, dans le cadre de l'action didactique conjointe, lors d'un enseignement de physique en classe entière, qu'il est difficile d'établir un partenariat élèves-enseignant pour la co-construction des savoirs visés, contrairement au cas de la demi-classe où l'adhésion aux tâches du processus enseignement-apprentissage est plus forte. En demi-classe, l'enseignant accorde plus de temps à la construction des savoirs en faisant en sorte que les élèves y adhèrent véritablement en suscitant différents points de vue des élèves. Il pose donc beaucoup de questions, relance régulièrement les débats par les échanges, crée les conditions réelles de co-construction des connaissances. Les élèves échangent plus entre eux, participent activement aux débats en formulant des réponses construites.

En revanche, en classe entière, l'enseignant se donne moins de temps pour construire les connaissances avec les élèves. Il pose moins de questions, n'ouvre pas de débats, ne les relance pas non plus lorsqu'ils apparaissent. Les élèves participent peu ou pas du tout à la construction des connaissances. Ils échangent souvent peu entre eux. Quand ils y participent, ils fournissent des réponses à minima, non construites et les appels à l'ordre sont plus nombreux. Pour faire avancer la construction des savoirs visés, l'enseignant prend presque totalement à sa charge cette construction.

À travers l'expérience réalisée par Venturini et Amade-Escot, la notion de demi-classe renvoie surtout à la comparaison des stratégies d'enseignement de la physique dans une classe à effectif réduit et dans une classe entière. Les résultats de cette expérience montrent que « *les stratégies pédagogiques mises en œuvre sont beaucoup moins opérantes dans une classe entière* » (Venturini & Amade-Escot, 2009, p. 419). D'où l'intérêt de recourir à de nouvelles méthodes d'enseignement.

4.1.4 Sens de la formulation de notre sujet

Au regard de la clarification des termes que nous avons présentée dans les sections précédentes, et de la définition de la simulation informatique, dans le chapitre de la problématique, nous entendons par « *L'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de physique en situation d'enseignement en classe entière au collège en Côte d'Ivoire. Étude du cas d'un simulateur d'oscilloscope* », l'étude des effets produits par l'utilisation d'un logiciel simulant le fonctionnement d'un oscilloscope réel sur la compréhension du sens des notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, lors d'un enseignement de physique en classe de 4^{ème}, devant l'ensemble des élèves de la classe, en tenant compte des conditions (matérielles, psychologiques, environnementales) dans lesquelles se trouvent ces élèves, dans le contexte de la Côte d'Ivoire.

Pour mener cette étude, nous allons nous référer à un ensemble de théories afin de justifier les éléments de connaissances que nous utilisons pour vérifier nos hypothèses de

recherche. Ainsi, chaque hypothèse fait référence à une théorie ou à un modèle théorique. Nous désignerons par, « Cadre théorique de référence » (Gélis, 2011), le cadre théorique englobant.

4.2 Théories et modèles mobilisés pour notre étude

4.2.1 Situations didactiques et compréhension des notions de physique

Pour analyser la compréhension des notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, dans un enseignement de physique recourant à un simulateur d'oscilloscope, nous nous appuyons sur la théorie des situations didactiques de Brousseau, la théorie du changement conceptuel et la théorie des deux mondes.

4.2.1.1 Théorie des situations didactiques de Brousseau

D'après la théorie des situations didactiques de Brousseau, dans les classes, les connaissances et la signification des savoirs varient suivant les circonstances (Brousseau, 2011, p. 3). De ce fait, les disciplines enseignées sont des transpositions didactiques de la discipline « réelle ». Dans le cas de notre étude, la physique enseignée sera donc une transposition didactique de la physique « réelle ». La compréhension du sens des notions visées qui en découle peut donc varier d'un enseignant à un autre. La référence à la théorie des situations didactiques de Brousseau, nous conduit alors à une étude comparative de deux situations didactiques, par enseignant, l'une AVEC le simulateur d'oscilloscope et l'autre SANS le simulateur d'oscilloscope afin de savoir si l'utilisation de la technologie induit une qualité de compréhension significativement différente des notions en jeu, par rapport à un état antérieur des connaissances de l'élève sur le sujet. Ce type de raisonnement a été utilisé dans plusieurs travaux (Sarabando et al., 2016 ; Mihindo et al., 2017). Cependant, la différence dans la compréhension des notions abordées, au cas où elle est positive, n'est possible que dans le cadre d'un changement conceptuel.

4.2.1.2 Théorie du changement conceptuel

Le changement conceptuel est un type de conceptualisation (Chartand & De Koninck, 2009, p. 154) qui intervient à l'issue d'un enseignement formel qui tend à faire changer à l'apprenant, sa façon de comprendre le monde (Musial, Pradère & Tricot, 2012, p. 6). Selon Bêty (2010, p. 1), « *l'apprentissage des concepts scientifiques requiert un changement conceptuel* », c'est-à-dire, « *une évolution des conceptions des élèves en sciences* ». Pour l'auteur et bien d'autres, face aux phénomènes naturels, les élèves ont déjà des connaissances naïves (Bêty, 2010 ; Tiberghien & Vince, 2005 ; Canal, 2007 ; Dupin & Joshua, 1987), acquises depuis l'enfance dans leurs milieux de vie et culturel, qui leur permettent de fournir des explications naïves mais efficaces et fonctionnelles relatives aux phénomènes naturels (Bêty, 2010, p. 2). C'est, par exemple le cas en électricité, lorsque pour expliquer l'éclat de 3 lampes L0, L3, L4, montées en série, un élève déclare : « *Il n'y a rien qui freine l'électricité dans sa course, les lampes L0, L3, L4 brillent « pareil »* » (Canal, 2007, p. 802).

Ces connaissances initiales, appelées aussi connaissances communes ou savoirs communs, selon Bachelard (1970) d'après Chekour et al. (2015, p. 2), qui sous-tendent les explications naïves données par l'élève représentent ses conceptions initiales, appelées aussi conceptions naïves. Pour Giordan et Pellaud (2002 : 22), cités par Bêty (2010, p. 4), « *une conception, c'est en même temps une image mentale et le mode de raisonnement qui l'accompagne et qui, ensemble, permettent à l'individu de donner du sens au monde qui l'entoure. Ces explications qui sont nos propres modèles explicatifs, interviennent souvent comme des filtres « réducteurs ». Dès lors, l'apprenant « interprète » le savoir divulgué, l'adaptant en quelque sorte à sa propre manière de produire du sens ».*

Ainsi, en accord avec la définition de Giordan et Pellaud d'une conception, les connaissances nouvelles enseignées à l'élèves sont simplement plaquées sur les savoirs anciens, préexistants, sans les modifier (Closset, 2002 cité par Chekour et al., 2015, p. 2). Or, Pour Bêty (2010, p. 2), citant Astolfi, Peterfalvi et Vérin, (2006), ces conceptions initiales peuvent être en conformité avec les conceptions scientifiques, ou se révélées non conformes, comme c'est le cas en général (Astolfi & Develay, 2002). Dès lors, elles constituent un obstacle à l'acquisition des nouveaux savoirs. C'est pourquoi, Bêty rapporte que pour faciliter l'explication et la compréhension des concepts de physique (Bêty, 2010, p. 2), de nombreux travaux (Ausubel, 1968 ; Duit et Treagust, 2003 ; M.-F. Legendre, 2007 ; Thouin, 2004) préconisent de partir des conceptions initiales des élèves pour enseigner les concepts nouveaux.

Selon G. Bachelard (1970) cité par Chekour et al. (2015), il faut prendre en compte ces conceptions au sens d'obstacles. En effet, comme il le dit, « *c'est en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique. Et il ne s'agit pas de considérer des obstacles externes, comme la complexité et la fugacité des phénomènes, ni d'incriminer la faiblesse des sens et de l'esprit humain : c'est dans l'acte même de connaître, intimement, qu'apparaissent, par une sorte de nécessité fonctionnelle, des lenteurs et des troubles. (...). En fait, on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui, dans l'esprit même, fait obstacle à la spiritualisation. (...) Il est alors impossible de faire d'un seul coup table rase des connaissances usuelles. (...) Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune. Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés »* (Bachelard, 1970, p. 13-14) cité par Chekour et al. (2015, p. 2).

Il faut donc identifier les conceptions initiales des élèves. Une manière de les repérer est, selon les modèles de changement conceptuel de Posner, Strike, Hewson et Gerterz (1982), et Vosniadou (1994), de soumettre des problèmes à résoudre aux élèves (Bêty, 2010, pp. 5-8). Elle est aussi une manière d'évaluer le changement conceptuel. De nombreux travaux sur les simulations informatiques (Mihindo et al., 2017 ; Ngunu Hungu, 2012 ; Jimoyiannis & Komis, 2001) ont procédé ainsi en administrant un pré-test avant l'enseignement et un post-test après l'enseignement, sur les savoirs visés. La théorie du changement conceptuel, dans le cadre de notre étude, nous permet donc de recourir à des tests avant et après l'enseignement des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, afin de pouvoir évaluer le changement conceptuel opéré au niveau du groupe-classe.

La modification des conceptions initiales des élèves nécessite la mise en œuvre, dans le groupe-classe, d'un conflit cognitif, à la lumière des modèles de changement conceptuel (Bêty,

2010, pp. 5-9). Le recours à la lecture de textes par les élèves, aux démonstrations à faire voir aux élèves, ou aux expérimentations à faire réaliser aux élèves, constituent des moyens de mise en place de ce conflit cognitif. Pour opérer cette modification, il est indispensable que les élèves prennent conscience de leurs conceptions initiales, à travers l'insatisfaction qui en découle lors de la résolution d'une situation problème que l'enseignant prendra soin d'élaborer dans cette optique. Cette prise de conscience se fait à travers des dialogues entre l'enseignant et ses élèves d'une part, mais aussi à travers des échanges entre les élèves eux-mêmes.

Les travaux de Tiberghien et Vince (2005, pp. 3-4), portant sur l'activité de modélisation en physique, proposent une approche pragmatique, qui vise l'analyse des types de savoirs déclarés lors du traitement des conceptions chez les élèves, aide à la conceptualisation. Cette approche que Buty (2003, pp. 40-44) désigne par « *la théorie des deux mondes* », nous semble importante pour produire une évolution des conceptions initiales vers les conceptions scientifiques.

4.2.1.3 *Théorie des deux mondes pour construire les savoirs scientifiques. Du savoir naïf au savoir scientifique*

Souvent les élèves savent utiliser des formules pour déterminer des grandeurs physiques, tracer des graphes, élaborer des relations vectorielles entre grandeurs physiques, mesurer des grandeurs, etc. (Tiberghien, 2004 ; Buty, 2003). Cependant, ils ne savent pas interpréter ces résultats, leur donner concrètement du sens dans la vie quotidienne, en termes de conséquences physiques. Pour Buty (2003, p. 44), le problème est donc la difficulté qu'ils ont à faire le lien entre ces concepts, ou ces résultats obtenus par calcul, et le monde physique, le monde matériel ; difficultés attribuables à leurs modèles conceptuels et donc à leurs conceptions. Selon Tiberghien et Vince (2005, pp. 1-2), les conceptions des élèves comportent deux aspects : « *Le premier [aspect] porte sur l'utilisation du langage quotidien par les élèves quand ils traitent de sujets scientifiques. L'écart entre le langage quotidien et le langage scientifique, en particulier l'utilisation d'un même terme avec des sens différents, est notoire. (...). [Le second] aspect, plus directement lié à l'expérience du monde matériel, porte sur la causalité utilisée pour interpréter le monde matériel.* ». L'utilisation d'un même terme pour désigner des objets différents dénote d'une mauvaise compréhension du concept désignant l'objet. Ce qui signifie qu'en réalité, il n'arrive pas à associer exactement au concept en jeu l'objet ou l'évènement correspondant. Aider l'élève à faire ce lien, est pour nous, le but de l'enseignement formel.

Le fonctionnement de la physique est basé sur la modélisation du monde matériel inanimé (Tiberghien & Vince, 2005, p. 4). La théorie des deux mondes consiste à considérer, dans le cadre de cette modélisation, qu'il existe deux mondes étroitement liés : le monde des objets et évènements, directement observables dans le monde physique réel, en ce qui concerne la physique élémentaire enseignée au niveau lycée et collège, et le monde des théories et modèles, qui relève du monde des concepts et des modèles théoriques de situations matérielles étudiées. La figure 3 illustre cette conception.

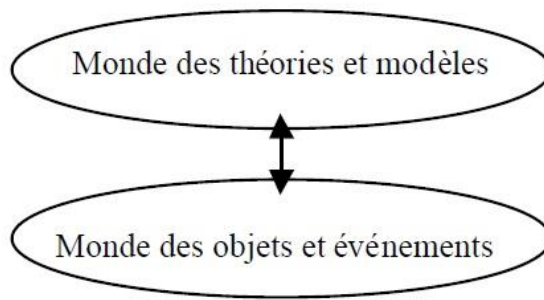


Figure 3. Distinction entre deux mondes, fondée sur la modélisation en physique (Tiberghien & Vince, 2005, p. 4)

Cette distinction permet d'analyser les éléments de savoir employés par une personne ou un groupe de personnes dans la vie courante en général, et par l'élève en particulier, pour expliquer ou interpréter une situation matérielle. L'explication des situations matérielles dans la vie quotidienne, basée le plus souvent sur le principe de la causalité, principe selon lequel un événement a une cause qui le précède (Tiberghien & Vince, 2005, p. 5), réfère en général à une théorie naïve ou à des théories et modèles du physicien. Le sens des concepts employés pour expliquer les événements naturels sera d'autant plus correct que la théorie utilisée sera conforme à une théorie physique. En effet, comme le dit Buty (2003, p. 42), une théorie physique est une totalité articulée de concepts, en relation avec d'autres concepts du même champ, et est défini par un ensemble de situations de références où il s'applique. Ainsi, la construction du sens d'un concept se fait par des mises en relation entre les deux mondes (Buty, 2003, p. 56), autrement dit, entre différents éléments de savoir, et entre différentes représentations d'un même concept (Tiberghien & Vince, 2005, p. 3). Voir figure 4.

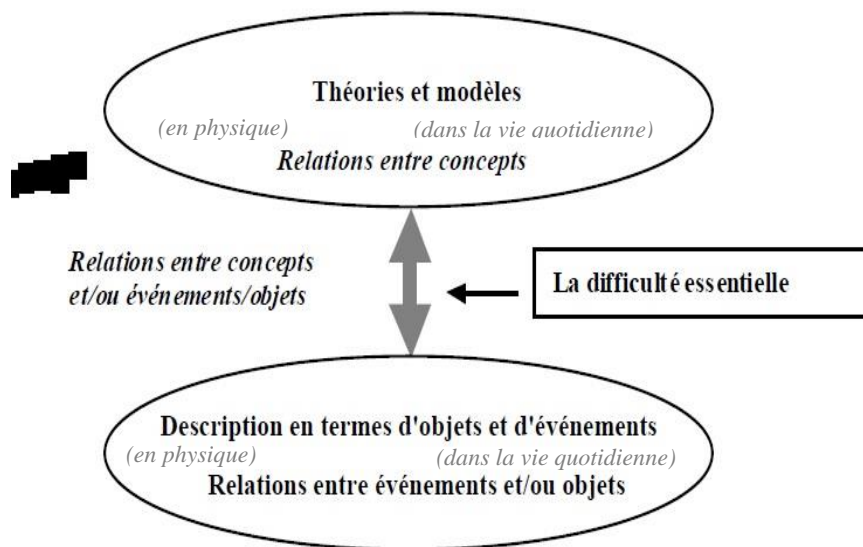


Figure 4. Analyse des savoirs issus des verbalisations ou des gestuelles pour caractériser la mise en relation des concepts entre les deux mondes (Tiberghien & Vince, 2005, p. 7, complété)

Comme nous l'avons précisé précédemment, les conceptions des élèves peuvent relever des théories et modèles en physique ou des théories et modèles de la vie quotidienne (figure 4). L'analyse des types de savoirs verbalisés par l'élève, à travers la caractérisation des mises en

relations entre les deux mondes, c'est-à-dire, entre les objets et événements, et le monde des théories et modèles, permet de savoir si ce dernier comprend ou pas les concepts de physique en jeu. Cette mise en relation des deux mondes constitue la difficulté essentielle sur laquelle il est important de porter principalement l'effort de l'enseignement (Buty, 2003, p. 44).

L'analyse de la compréhension des concepts employés par l'élève conduit à se référer aux travaux d'Ainsworth et al. (1996), et de Duval (1995) cités par Tiberghien & Vince (2005, p. 7). En effet, pour ces auteurs, un même concept peut être représenté de différentes manières par différents registres sémiotiques (c'est-à-dire en langue naturelle, par des graphes, des schémas, la géométrie vectorielle, des formules algébriques, etc.). Chaque représentation apporte une information spécifique sur le concept. C'est la compréhension de l'ensemble des représentations du concept et, surtout la capacité de l'apprenant à faire la différence entre le représentant du concept et sa signification, et donc sa capacité de coordonner les différentes représentations du même concept, qui permet de construire le sens de ce concept. Ainsi, un moyen d'aider à l'apprentissage des concepts de physique serait, pour l'enseignement, d'amener les élèves non seulement à prendre conscience des différentes représentations d'un même concept mais aussi et surtout à établir le lien entre elles, sinon cet enseignement devient contre-productif (Tiberghien & Vince, 2005, p. 8).

Dans le cadre de notre étude, pour l'enseignement-apprentissage des notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, en classe de 4^{ème}, les objets du monde matériel sont par exemple, le Générateur de tension Basses Fréquences (GBF), un montage comprenant deux LED (Light Emitting Diode ou Diode électro-luminescente) montées dans le sens passant. Il s'agit d'un dispositif de LED têtes-bêches qui permet de mettre en évidence les variations de la tension alternative sinusoïdale, et notamment le changement d'alternances dont elle est l'objet, un changement qui correspond au changement de sens de circulation du courant. Ainsi, lorsque le courant circule dans un sens, une des LED s'allume. Lorsque le courant change de sens, cette dernière s'éteint et l'autre LED s'allume automatiquement. Les LED s'allument et s'éteignent de façon alternée selon que la tension est positive ou négative.

Le nombre de fois que l'évènement « allumage-extinction-allumage » d'une LED se produit, en une seconde, traduit la fréquence de la tension. Plus les LED s'allument et s'éteignent rapidement, plus la fréquence de la tension est élevée. La durée de l'évènement « allumage-extinction-allumage » d'une des LED représente la période de la tension. Au lieu du clignotement d'une des LED, il est possible également d'observer, avec l'utilisation d'un galvanomètre, ampèremètre analogique à zéro central, un mouvement de « va-et-vient » de l'aiguille du galvanomètre. Ainsi, lorsque l'aiguille passe par le « zéro », le courant change de sens de circulation. Par conséquent, la tension change de signe. La construction du sens, pendant le processus enseignement-apprentissage de ces deux notions, sera d'autant plus favorisée que l'enseignant réalise une expérimentation permettant aux élèves de lier ces deux notions aux évènements que nous avons décrits ci-dessus. Et c'est en cela que les expériences de cours trouvent leur utilité et toute leur importance.

La tension, en général, et la tension alternative sinusoïdale, en particulier, est un phénomène physique invisible, du domaine de l'électricité. Elle est caractérisée cependant par ses effets tels que nous avons expliqué avec les LED têtes bêches, et avec le galvanomètre. Elle

a donc été rendue visible à travers un signal électrique sur l'écran d'un oscilloscope après avoir été modélisée par une courbe sinusoïdale ; courbe traduisant le changement alternatif continu de la valeur de la tension. Un motif de la sinusoïde, constituée d'une alternance positive suivie d'une alternance négative, appelée le motif élémentaire, caractérise un clignotement d'une des LED têtes bèches, ou un « va-et-vient » de l'aiguille du galvanomètre. Ainsi, le nombre de clignotements en 1 seconde, des LED, ou le nombre de « va-et-vient » en 1 seconde, de l'aiguille du galvanomètre, peut être assimilé, sur 1 seconde, au nombre de motifs élémentaires de la sinusoïde représentant la tension alternative sinusoïdale.

Nous admettons, par conséquent, que la variation dynamique du nombre de motifs élémentaires de la tension alternative sinusoïdale, sur l'écran d'un oscilloscope, pourrait être considérée comme étant « l'évènement observable » à lier au concept ou la notion de fréquence, le temps écoulé, entre le début et la fin de l'apparition d'un motif élémentaire étant la période de la tension alternative sinusoïdale. Nous estimons alors que l'utilisation d'un oscilloscope pourrait aider l'élève à faire le lien entre l'évènement caractérisant la notion de fréquence et la dite notion. Malheureusement, la plupart des établissements scolaires maquent de ce matériel d'expérimentation. L'alternative que nous proposons est donc l'utilisation d'un simulateur d'oscilloscope.

La théorie des deux mondes nous indique certes comment, à travers la modélisation de la physique, l'enseignement peut amener l'élève à construire le sens des notions de physique pendant l'apprentissage, un apprentissage nécessitant une implication active de l'élève lui-même dans la construction du sens (Astolfi & Develay, 2002, p. 1). Mais elle n'indique pas explicitement la démarche à suivre pour sa mise en œuvre. La démarche d'investigation, une démarche scientifique favorisant l'enseignement de la physique (Mathé, 2010, p. 18), avec une certaine efficacité (Jemaa & Boilevin, 2016, p. 8), et préconisée dans les programmes institutionnels d'enseignement de la physique, dans les lycées et collèges dans plusieurs pays (Bächtold, 2012, p. 7), nous paraît être un bon moyen pour la mise en application de la théorie des deux mondes.

4.2.1.4 Démarche d'investigation par l'expérimentation

La référence à la démarche d'investigation dans notre travail de recherche, visant à étudier l'impact de l'utilisation d'un simulateur d'oscilloscope sur l'enseignement-apprentissage de concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, vient du fait que, pour Rutten et al. (2016, p. 28), une simulation n'aura d'impact sur l'apprentissage que si elle est utilisée selon une démarche d'investigation, avec la participation des élèves. Qu'est-ce qui caractérise alors une démarche d'investigation ?

Notons que l'enseignement de la physique, en tant que science expérimentale, a depuis longtemps eu recours aux activités expérimentales. Comme le dit Mathé (2010, p. 11), ces activités ont pour rôle de motiver les élèves, développer leurs habiletés manipulatoires, leur faire apprendre des connaissances, des méthodes et des attitudes scientifiques, mais aussi pour illustrer des concepts, et vérifier les lois de physique selon Johsua & Dupin, 1993, et Windschitl, 2003 cités par Mathé (2010, p. 14). Elles servent également à supporter les démarches inductivistes, caractérisées par les étapes de base que sont manipulations, observations et

mesures, et conclusions (ibid., p. 14). Mais au cours de ces activités expérimentales, le rôle de l'élève est réduit à l'exécution des manipulations prescrites par l'enseignant et à la formulation de conclusions à partir de ses observations.

Une telle démarche expérimentale, avec des résultats d'observations et des conclusions pratiquement connues d'avance (ibid., p. 14), semblait traduire peu la vraie image de la science. L'enseignement des sciences basé sur une démarche d'investigation, dans le système francophone, ou enseignement des sciences basé sur « l'investigation » ou *IBSE (Inquiry-Based Science Education)*, connu également sous le sigle *IBST (Inquiry-Based Science Teaching)* dans le système anglo-saxon (Bächtold, 2012, p. 7), vise à améliorer cette image, en donnant plus d'autonomie aux élèves dans la démarche scientifique (Mathé, 2010, p. 14).

Car en effet, cette méthode d'enseignement (Mathé, 2010, p. 11) « *consiste à faire mener aux élèves une « investigation » visant à apporter des éléments de réponse à une question formulée par les élèves [eux-mêmes] à partir d'une situation de départ mise en place ou décrite par l'enseignant* » (Bächtold, 2012, p. 6). De ce point de vue, la démarche d'investigation s'appuie sur le questionnement de l'élève, construit à partir de son expérience de vie, de ce qu'il sait. Cette démarche peut recourir à des formes de travail diverses (Mathé, 2010, p. 15) pour y répondre, telles que l'expérimentation directe, l'observation, la recherche documentaire, etc. Ainsi, dans la classe, pour la mise en œuvre de cette démarche, la responsabilité est davantage donnée aux élèves, dans une perspective socioconstructiviste, l'enseignant jouant plutôt un rôle de guidage (Mathé, 2010, p. 20). Par ailleurs, il est recommandé de recourir à l'expérimentation et l'observation comme forme de travail pour l'investigation.

La pratique de la démarche d'investigation par l'enseignant, en classe, est présentée différemment dans la littérature scientifique. Mathé (2010, p. 11) et Bächtold (2012, p. 3) font référence au canevas proposé dans les programmes officiels d'enseignement des sciences dans les collèges, en France, (MEN, 2005, 2008), notamment dans les classes de 5^{ème} et 4^{ème}. Selon ce canevas, la mise en œuvre d'une démarche d'investigation en classe se fait en sept étapes, ou sept moments, que nous présentons comme suit (Mathé, 2010, p. 16) : 1 : Choisir une situation-problème à l'attention des élèves, 2 : Amener les élèves à s'appropriier le problème (à résoudre ou le savoir à construire), 3 : Amener les élèves à formuler des hypothèses explicatives, 4 : Faire faire une investigation par les élèves (en vue de résoudre le problème ou de construire le savoir en jeu), 5 : Organiser un échange argumenté autour des propositions élaborées par les élèves, 6 : Faire acquérir aux élèves les connaissances scientifiques visées et les structurer, 7 : Faire mobiliser, par les élèves les connaissances scientifiques acquises, lors de la résolution d'autres problèmes en termes de leur opérationnalisation. Même si cette démarche n'est pas explicitement nommée dans les programmes officiels ivoiriens d'enseignement de la physique-chimie, elle s'apparente à la mise en œuvre de l'approche par les compétences (APC), adoptée comme méthode pédagogique générale dans le système ivoirien.

Les auteurs du canevas de mise en œuvre d'une démarche d'investigation recommandent une application avec souplesse de ce canevas, les sept étapes n'étant pas à exécuter forcément et successivement dans l'ordre proposé (Mathé, 2010, p. 20). Bächtold (2012, p. 2) précise même que ces étapes ne sont pas toutes réalisées pour toutes les démarches

d'investigation. Il note par ailleurs que l'aspect *appropriation du problème par les élèves* n'est pas relevé par les auteurs de l'*IBSE* dans le système anglo-saxon. Pour Jemaa & Boilevin (2016, p. 9), « *une séance de type « investigation », est fondée sur quatre séquences organisées systématiquement comme suit : prévision, confrontation, discussion, résolution* ».

Dans le cadre de leur recherche sur l'impact des simulations informatiques dans les enseignements de physique en classe entière, Rutten et al. (2015, p. 1227) déclinent la démarche d'investigation en trois étapes (POE) : prédiction (P), observation (O), explication (E). Comme nous le constatons, s'il y a une étape indispensable, quelle que soit la démarche d'investigation présentée, c'est bien l'étape de la prédiction. En effet, dans le canevas décrit par Mathé (2010: 11) l'étape de la prédiction correspond à l'étape de la formulation des hypothèses explicatives. Chez Jemaa & Boilevin (2016), elle est nommée prévision, tandis que chez Rutten et al. (2015), elle est désignée par prédiction. L'importance de cette étape, pour la démarche d'investigation, pourrait s'expliquer par le fait que d'un point de vue épistémologique, « *les connaissances scientifiques sont prédictives, explicatives, mais spéculatives, historiquement situées et évolutives, conçues dans une dialectique entre la théorie et l'expérience, cette dernière [l'expérience] entretenant un rapport particulier avec le réel, [des connaissances] élaborées dans un souci d'intelligibilité du réel [...]* » (Pelissier et al., 2007, p. 9). De plus, les questions de prédiction conduisent, le plus souvent, à des conflits cognitifs individuels et collectifs, objets de débats en classe, favorables à la structuration des apprentissages (Richoux et Beaufils, 2005, p. 302 cité par Jemaa & Boilevin, 2016, p. 8).

Dans le cadre de notre étude, nous avons adopté le modèle de Rutten et al. (2015), que les auteurs ont trouvé pertinent pour l'étude d'impact de l'utilisation des simulations informatiques en classe entière pour l'enseignement des concepts de physique. La particularité de ce modèle vient du fait de sa simplicité mais aussi et surtout du fait qu'il soit évoqué dans le cas d'un objet d'étude semblable au nôtre, nous permettant ainsi d'avoir des éléments de repère quant à nos variables d'étude.

Il ressort de toutes les études que nous avons citées (Pelissier et al., 2007; Mathé, 2010; Bächtold, 2012; Rutten et al., 2015; Jemaa & Boilevin, 2016), que la démarche d'investigation est une démarche qui s'inscrit dans une perspective constructiviste, voire socioconstructiviste, où l'enseignant a un rôle de guidage, de facilitateur. Et cela se déroule au sein d'un jeu didactique, à travers des interactions professeur-élèves que la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2008) peut nous permettre d'analyser.

4.2.2 Théorie de l'action conjointe en didactique, pédagogie d'apprentissage et participation des élèves à la construction du Savoir

4.2.2.1 Théorie de l'action conjointe en didactique (TACD)

Une action didactique est « *une action au sein de laquelle quelqu'un entreprend de faire apprendre « quelque chose » à quelqu'un d'autre* » (Sensevy, 2012, p. 106). C'est le cas lorsque, dans le cadre scolaire, un enseignant fait apprendre un savoir spécifique à un élève ou

à un groupe d'élèves ; savoir au sens de « puissance d'agir », c'est-à-dire ce qui permet d'exercer une capacité (Sensevy, 2008, p. 40).

L'activité didactique, en tant qu'activité humaine, est, selon Sensevy (2008, p. 42), comme un jeu dans lequel les deux joueurs, Professeur et Élève, coopèrent et coordonnent leurs actions pour gagner chacun. Elle est donc une coaction, une action conjointe, dans la mesure où les comportements de chaque joueur, pour atteindre le but commun, c'est-à-dire « gagner », découlent des comportements de l'un et de l'autre. Ainsi les comportements du Professeur dépendent des comportements de l'Élève, et vice versa. Car en effet, l'activité didactique est un jeu particulier, en l'occurrence un jeu didactique où les deux joueurs gagnent ou perdent, leurs sorts étant étroitement liés. Le Professeur gagne si l'élève gagne. Le Professeur gagne s'il atteint les objectifs de son enseignement c'est-à-dire si l'élève apprend ce qui lui a été enseigné. L'élève apprend si, sans l'aide du Professeur, il parvient à résoudre d'autres problèmes que celui qui a servi à l'apprentissage, comme Sensevy (2008, p. 45) le dit : « *Si je prends la responsabilité d'enseigner quelque chose à quelqu'un, je ne peux prétendre avoir réussi que si mon élève, sans mon aide, témoigne d'une puissance d'agir fondée sur ce que je lui ai enseigné.* ».

Pour atteindre le but commun, c'est-à-dire, pour que le Professeur gagne et que l'Élève gagne, l'activité didactique est amenée à surmonter deux contraintes majeures (Sensevy, 2008, pp. 44 - 45) : la contrainte du *proprio motu* et la contrainte de la *réticence didactique*. La contrainte *proprio motu* stipule que l'élève devra évoluer de « son propre mouvement », c'est-à-dire de lui-même, dans le jeu didactique, côté apprentissage, sans la stratégie de jeu du Professeur mais avec les siennes propres, même si le professeur doit l'aider à les asseoir. La contrainte de la *réticence didactique* est la contrainte de la rétention volontaire de l'information (c'est à dire du savoir) que l'Élève doit découvrir pendant l'enseignement. Le Professeur est donc amené à faire l'effort de « ne pas dire le savoir », sa connaissance du savoir ; auquel cas rien ne garantirait de la compréhension effective de ce savoir. Par conséquent, il est fort probable que l'Élève n'apprenne pas car il ne restituera que l'information que le Professeur lui aura communiquée.

Pour respecter les clauses *proprio motu* et *réticence didactique*, le Professeur dévolue à l'Élève la prise de la responsabilité de la construction du savoir en jeu, responsabilité que l'Élève accepte⁴⁴. Une acceptation qui se traduit par sa participation à l'enseignement (Sensevy, 2008). De ce fait, l'activité didactique suppose donc une compréhension commune, par le Professeur et l'Élève, de l'action conjointe à exécuter, et par conséquent, des objectifs d'apprentissage.

Le jeu didactique commande donc de savoir si l'élève a compris le savoir qui lui a été enseigné. Cette compréhension renvoie au constat que l'élève avance dans l'apprentissage, ou témoigne de la compréhension de certains éléments essentiels de l'enseignement dispensé (Sensevy, 2008, p. 44). La preuve de cette compréhension, par la production de réponses de

⁴⁴ C'est ce que Brousseau (1998) a appelé la *dévolution*, dans sa théorie des situations didactiques (Sensevy, 2008, p. 46).

l'élève à un questionnement (ou à une situation-problème), est soumise au verdict du Professeur. Ce verdict, constitué des jugements du Professeur portés sur les réponses-élèves, de manière implicite, explicite, consciente ou inconsciente, représente le gain de l'élève (Sensevy, 2008, p. 46).

Ces jugements peuvent être, par exemple, un simple hochement de la tête, un regard, une parole, etc. Ainsi, le jeu didactique suppose, d'après Sensevy (2008, p. 45), la production de comportements de l'Élève dans une situation autonome et adéquate, fut-il perceptible même dans la situation didactique la plus fermée et la moins « constructiviste ». Ce qui fait de l'activité didactique une activité située. Les situations d'étude sont donc des situations « authentiques » pour lesquelles il faut tenir compte des conditions dans lesquelles l'élève apprend et des résultats qui en découlent (Sensevy, 2008, p. 48).

La théorie de l'action conjointe en didactique tente donc de fournir des outils qui nous permettent de décrire la pratique pédagogique de l'enseignant en situation de classe mais aussi le comportement de l'élève dans la même situation. Ainsi, dans le cadre de notre recherche, nous nous y sommes référés pour analyser les actions des enseignants et les comportements des groupes-classes pendant les séquences d'enseignements utilisant ou non le simulateur d'oscilloscope.

Comme nous venons de le voir, la réussite de l'activité enseignante est conditionnée par une participation effective et active de l'Élève dans la construction du savoir. Le recours à une pédagogie d'apprentissage, par le Professeur utilisant le simulateur d'oscilloscope, pourrait conduire à cette participation.

4.2.2.2 De la pratique d'une pédagogie d'apprentissage

Selon Altet et al. (2015, p. 61), les pratiques centrées sur l'apprentissage ou « pédagogies de l'apprentissage » visent la réussite du processus d'apprentissage. Elles ont pour finalité, d'« *aider l'élève en train d'apprendre, à construire par lui-même son savoir, à se l'approprier* ». Ces pratiques mettent notamment l'accent sur les interactions *apprenant - savoir- enseignant* par la communication, et sont caractérisées essentiellement par : 1) le fait qu'elles conçoivent l'apprentissage selon une vision cognitiviste, constructiviste et/ou interactionniste issue de la psychologie développementale et cognitive, telle que vue par Piaget, Ausubel, et Vygotski (ibid., p. 61). Elles considèrent le processus d'apprentissage comme une appropriation personnelle de l'apprenant, un processus qui construit du sens ; 2) Elles sont centrées sur le rapport apprenant-savoir, notamment sur l'activité de l'apprenant dans la construction du savoir. De ce fait, l'enseignant joue un rôle de médiation, s'interroge sur les problèmes rencontrés par l'élève, le fait plus agir et parle moins ; 3) Ces pratiques pédagogiques s'intéressent au « comment l'élève apprend ». Elles permettent ainsi de mettre en place des outils qui facilitent l'apprentissage ; 4) Elles cherchent à développer les stratégies cognitives et métacognitives de l'élève, à l'aider à développer sa capacité d'apprendre, de réfléchir et à exécuter seul des activités, à réfléchir par lui-même et à construire son autonomie.

Pour Altet et al. (2015, p. 58), les pratiques pédagogiques d'apprentissage sont repérables par des variables qui agissent sur les rapports enseignement-apprentissage, et qui ont

des effets positifs qui améliorent l'apprentissage. Ces variables-effets-clés sont, selon les auteurs :

- *La stimulation cognitive et motivationnelle de l'enseignant ;*
- *L'implication, l'engagement dans la tâche de l'élève et le temps individuel sur la tâche ;*
- *La recherche active de l'élève, son activité intellectuelle à travers des tâches ;*
- *Les interactions enseignant-apprenants variées, entre pairs, entre groupes de pairs ;*
- *La régulation interactive, les renforcements et l'évaluation formative ;*
- *La formation méthodologique et métacognitive ;*
- *Le climat-social du groupe-classe.*

Dans le cadre de l'analyse des pratiques des enseignants participant à notre étude, cette théorie nous permet de nous intéresser principalement à : la stimulation cognitive et motivationnelle du groupe-classe [par l'enseignant], les actions de l'enseignant qui suscitent l'implication et l'engagement dans la tâche du groupe-classe, la régulation interactive, les renforcements et l'évaluation, et, le climat social du groupe-classe. Du point de vue de l'élève, elle nous permet d'analyser la *participation*, en termes d'implication et d'engagement dans la tâche du groupe-classe pour la construction du Savoir.

Par ailleurs, dans le domaine de l'enseignement des sciences et technologie, Lopes et al. (2010, p. 45) ont proposé un modèle de pratique pédagogique active porteur de résultats positifs d'apprentissage (Sarabando, Cravino, & Soares, 2016, p. 113). Selon ce modèle, connu sous le nom de *Model of Formative Situation for Teaching Science and Technology* (ou model MFS-TST), la médiation de l'enseignant a deux dynamiques fondamentales « *(A - interaction with the epistemic object; and B - interaction with others)* » et six composantes-clés « *(mediators, the other, epistemic objects, learning process, task / challenge of learning and learning results)* », le lien entre dynamiques fondamentales et composantes-clés pouvant être analysé à travers dix dimensions, selon les auteurs.

Ces dix dimensions se composent de cinq dimensions pour la dynamique A, soit A1 (Travail réellement demandé aux élèves), A2 (Contextes scientifiques et technologiques), A3 (Pratiques épistémiques et/ou axiologiques), A4 (Supports didactiques), A5 (Accompagnement des élèves en temps réel en situation de classe), et cinq dimensions pour la dynamique B, B1 (Échanges en classe), B2 (Ressources et autonomie données aux élèves), B3 (Engagement disciplinaire productif), B4 (Evaluation et feedback), B5 (Poursuite de l'apprentissage). Ce modèle théorique convient à notre étude, et nous permet de mieux structurer notre recherche des indicateurs des variables de la pratique pédagogique pour chaque enseignant de l'expérimentation.

Comme nous l'avons précisé plus haut, les pratiques pédagogiques actives ne sont porteuses de réussite de l'apprentissage que si elles s'inscrivent dans une conception constructiviste de l'apprentissage, conception également pointée par la théorie de l'action conjointe en didactique, la théorie des deux mondes, et la démarche d'investigation. Voyons à présent les éléments du constructivisme, voire du socioconstructivisme, mobilisés dans notre recherche.

4.2.2.3 Du constructivisme et du socioconstructivisme

Il existe différentes conceptions (ou systèmes) de l'apprentissage. Il s'agit principalement du comportementalisme, du cognitivisme, et du constructivisme. Nous présentons leurs caractéristiques respectives, d'un point de vue psychologique, telles que proposées par Perraudau (2006, p. 20), dans le tableau 3 suivant.

Comportementalisme	Cognitivisme	Constructivisme
Le conditionnement est un mécanisme qui permet au sujet de modifier son comportement à partir du processus stimulus-réponse.	La pensée est considérée, par ce modèle, comme un système destiné au traitement de l'information.	La pensée est fondée sur des structures logiques qui l'organisent. Elles permettent d'apprendre par interaction avec le milieu et/ou avec autrui.
L'enseignement découpe souvent le savoir en petites unités. Son acquisition, sur un mode souvent répétitif, est alors facilitée.	L'enseignement prend, notamment, en compte la compréhension, l'attention, le raisonnement ou le rôle de la mémoire.	L'enseignement privilégie la mise en place d'activités où l'élève sera amené à se décentrer pour construire des réponses nouvelles.
L'adulte détient le savoir. Son questionnement a pour objet de vérifier et renforcer les acquis de l'apprenant.	L'adulte est un expert qui vise à permettre au novice d'acquérir davantage d'expertise.	Le questionnement de l'adulte cherche à déstabiliser le novice pour lui faire prendre conscience de ses procédés.

Tableau 3. Les systèmes d'apprentissage, entrée psychologique (Perraudau, 2006, p. 20).

Nous nous intéressons seulement au constructivisme, conception de l'apprentissage recommandée dans les théories que nous avons mobilisées dans le cadre de notre étude. Cette approche dominante en didactique des sciences (Matthews, 1997, p. 5 cité par Bächtold, 2012, p. 3) a fait l'objet de nombreux articles dans la littérature scientifique (Martinez-Delgado, 2012 ; Bächtold, 2012b ; Calmettes & Boilevin, 2014), révélant ainsi l'existence de plusieurs formes de constructivismes. Selon Bächtold (2012b, pp. 3-4), il y a le constructivisme en psychologie du développement cognitif, le constructivisme en épistémologie, et le constructivisme en didactique des sciences ou constructivisme pédagogique selon Calmettes & Boilevin (2014, p. 104). Le constructivisme en psychologie du développement cognitif, fondé sur les théories du développement cognitif de Piaget, Vygotsky et Bruner, stipule que « *le sujet cognitif construit des connaissances afin de décrire et prédire ses expériences personnelles lors de ses interactions avec son environnement à la fois physique et social* » (ibid., p. 3). Pour le constructivisme en épistémologie, basé sur l'épistémologie travaillée par Dewey, Bachelard, et Kuhn, « *les scientifiques construisent les connaissances afin de décrire et prédire l'ensemble des phénomènes survenant ou pouvant survenir lors de notre interaction avec le monde* » (ibid., p. 3).

Enfin, selon le constructivisme en didactique des sciences, qui puise sa source dans les domaines de la psychologie du développement cognitif et de celui de l'épistémologie (ibid., p. 4), « *l'enseignant propose aux élèves des activités qui leur permettent de construire les connaissances à apprendre* » (ibid., p. 3). Ainsi, l'enseignant tient ou devrait tenir compte du

fonctionnement cognitif de l'élève, en tant qu'individu apprenant, et de ce qui caractérise la connaissance scientifique, pour concevoir les activités d'apprentissage. Dans le cadre de notre étude, cette théorie est intéressante en ce sens qu'elle nous permet d'analyser les activités d'apprentissage que l'enseignant participant à notre étude a conçues pour la pratique pédagogique qu'il met en œuvre lors de sa pratique de la démarche d'investigation pour la construction du sens des concepts de fréquence et de période d'une tension alternative sinusoïdale.

Voyons à présent les éléments du constructivisme que nous avons utilisés pour analyser la construction de la connaissance scientifique sur les notions de fréquence et de période d'une tension alternative sinusoïdale par les élèves. Pour cela, nous nous référons principalement aux travaux de Piaget. Ces travaux, au plan international, ont influencé fortement le constructivisme en didactique des sciences (Bächtold, 2012b, p. 4). Partant de ce que d'après l'histoire de l'humanité le développement des connaissances scientifiques n'est rien d'autre que leur adaptation au « réel », Piaget définit la construction des connaissances comme résultant d'un processus d'adaptation de la pensée à la « réalité » (ibid., p. 5) ; la pensée humaine qu'il définit comme un ensemble de structures cognitives qui s'élaborent au cours du développement cognitif de l'individu, à travers deux mécanismes psychologiques : « assimilation » et « accommodation » (Perraud, 2006, p. 19), que Bächtold (2012b, p. 4) désigne par « déséquilibre » et « accommodation ». D'après Piaget, l'enfant construit inconsciemment et spontanément des structures cognitives pour mettre en ordre ses expériences de la vie et pour anticiper sur les effets de ses actions sur son environnement physique et social (ibid., p. 4), structure cognitives au sens de « structures logico-mathématiques » construites à partir des actions menées par l'enfant et intériorisées par lui sous formes d'opérations mentales reliées entre elles par des propriétés d'associativité, de réversibilité, d'identité, etc. (ibid., p.5). Dès lors ces structures logico-mathématiques constituent pour l'enfant un système de pensées, c'est-à-dire un système de raisonnements « logiques » auxquels l'enfant fait appel pour expliquer ou interpréter les phénomènes du monde, en fonction de ce qu'il sait, de son expérience. Il intègre donc, à chaque fois, ses nouvelles expériences dans ses structures cognitives existantes, lorsque cela est possible c'est à dire dès lors que ces structures cognitives existantes lui ont permis de « comprendre » ou d'expliquer, à sa façon bien sûr, les situations de ces nouvelles expériences. Ces nouvelles expériences sont ainsi assimilées et contribuent à enrichir les structures cognitives existantes.

Mais lorsque ces expériences ne peuvent pas être assimilées par ses structures cognitives existantes, c'est-à-dire lorsque ces structures cognitives existantes ne permettent pas à l'enfant de « comprendre » et d'expliquer les phénomènes observés lors de ses nouvelles expériences, cela crée, chez lui, un « déséquilibre », une perturbation au plan cognitif. Les didacticiens appellent ce « déséquilibre », « conflit cognitif ». Ce conflit cognitif emmène alors l'enfant, soit à modifier ses structures cognitives initiales en remplaçant et en réorganisant progressivement certaines parties de celles-ci, soit à créer une autre structure cognitive pour la nouvelle expérience, surtout si le contexte de cette nouvelle expérience est différente de celui des expériences passées ayant conduit à adopter les structures cognitives initiales (Bächtold, 2012b, p. 12). Piaget nomme « accommodation » ou « équilibration » (ibid., p. 4) ce mécanisme d'adaptation des structures cognitives initiales de l'enfant.

Il ressort donc de ce qui précède que les structures cognitives chez Piaget sont ce que les didacticiens des sciences appellent les conceptions. Ainsi, au cours de l'apprentissage des sciences en général, et de la physique en particulier, l'élève aura construit une connaissance scientifique de lui-même afin de l'apprendre (von Glasersfeld, 1995, 2005, cité par Bächtold, 2012b, p. 7), lorsqu'il sera parvenu à adapter sa pensée, autrement dit ses conceptions initiales, concernant cette connaissance, aux conceptions scientifiquement acceptées par la communauté scientifique. C'est-à-dire lorsqu'il aura résolu le conflit cognitif que l'enseignant aura provoqué en lui concernant la connaissance scientifique visée, en l'amenant à exprimer ses conceptions initiales, de quelque manière que ce soit (oralement, par des schémas, des gestes, etc.) (Bächtold, 2012b, p. 7), sur l'objet de cette connaissance. Un tel conflit ne survenant, selon les didacticiens (ibid., p. 7), que lorsqu'un phénomène observé ou rapporté à un élève apparaît inexplicable au regard des conceptions que possède cet élève, ou lorsque ses conceptions se révèlent inadéquates pour rendre compte du phénomène observé ou rapporté.

Dans une salle de classe, pour faire apprendre un concept scientifique, différentes conceptions des élèves sont présentes. Faire émerger ces conceptions dans le but de créer, non pas un conflit cognitif individuel, personnel, mais plutôt un conflit cognitif collectif, à travers des interactions entre élèves, des échanges d'idées (Doise, Mugny et Clermont-Perret, 1975, pp. 367-368 cités par Bächtold, 2012, p. 8), sur le concept scientifique visé, est une stratégie d'enseignement-apprentissage préconisée pour faciliter l'apprentissage (Perraudau, 2006, p. 22), notamment en physique. Le conflit ainsi créé, dans l'espace social que constitue la classe, est dit sociocognitif. « *Un tel conflit survient entre les conceptions contradictoires de deux enfants (ou plus) rendues manifestes lors de leurs interactions communicationnelles (cf. Doise et Mugny, 1981, p. 40).* » (Bächtold, 2012b, p. 8).

Selon Perraudau, Doise et Mugny (1997) et Perret-Clermont et Nicolet (2001) estiment que ce conflit sociocognitif n'a lieu que lorsque certaines conditions sont réunies. Il faut, par exemple, que chaque élève intervenant dans l'interaction connaisse nécessairement l'objectif visé dans le cadre de cette interaction, que les élèves se mobilisent pour l'atteindre, qu'ils aient la volonté de débattre ensemble, de coopérer, de collaborer ou de confronter leurs points de vue. Ainsi, la construction des connaissances visées se fait donc en groupe, par les élèves eux-mêmes, construction dans laquelle l'interaction sociale joue un rôle important, d'après les travaux de Vygotsky, Bruner, Doise ou Mugny dans le domaine de la psychologie du développement cognitif. Cette façon de concevoir la construction des savoirs s'inscrit dans le paradigme dit de « constructivisme social » ou « socioconstructivisme » (ibid., p. 8).

Dans le cadre de notre étude, en classe entière, le recours à la théorie du socioconstructivisme nous permet de savoir comment caractériser la participation des élèves à la construction des connaissances sur les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. Il s'agit, entre autre, de vérifier si l'objectif de la tâche d'apprentissage considérée est compris de la même manière par tous les élèves et en congruence avec la compréhension de l'enseignant, d'analyser les discours des élèves, leurs gestes et leurs schémas, etc. dans le but de repérer les indicateurs matérialisant la compréhension de la notion de fréquence et de période, ou marquant la participation des élèves à la démarche d'investigation pratiquée par l'enseignant.

Cependant, l'apparition des éléments recherchés est conditionnée par une participation effective des élèves à la construction des connaissances visées, participation elle-même conditionnée par la motivation des élèves à s'investir dans le processus enseignement-apprentissage. Cette motivation est liée aux opportunités et sources de motivation offertes par l'enseignant (von Glasersfeld, 2005, p. 7 cité par Bächtold, 2012, p. 8), mais aussi à l'attitude des élèves envers la pratique de l'enseignant (Sall & Kane, 2007) et surtout envers la discipline enseignée, notamment envers les sciences (Thompson & Shrigley, 1986 ; Osborne et al., 2003 ; Venturini, 2004b ; Le Hebel et al., 2014 ; Erdogan, 2017), en particulier, la physique (Venturini, 2004a ; 2004b ; 2005 ; 2007). Dans notre étude, nous ne nous sommes intéressés qu'au cas des attitudes envers la discipline, la physique, principalement.

4.2.3 Attitudes des élèves envers la physique et motivation à l'apprentissage

Les éléments de connaissance que nous présentons dans cette partie ont pour but d'aider à l'analyse des facteurs susceptibles d'impacter les résultats de notre recherche, notamment l'analyse du comportement des élèves envers la physique, d'après leur attitude envers cette discipline.

4.2.3.1 Du concept d'attitude

Attitude et motivation sont liées (Gashmardi et al., 2015, p. 80). Pour Fabien Fenouillet, la motivation est une force interne individuelle qui anime le comportement (Lieury & Fenouillet, 2013, p. 5), le déclenche, l'oriente, attire vers un but ou au contraire vers un rejet. C'est une force qui est à la base de la mobilisation de l'énergie, de l'attention, et de la persistance du comportement dans l'activité. Sans motivation, tout apprentissage devient impossible (Nebout Arkhurst, 2013, p. 21). De nombreuses recherches, notamment en lien avec la théorie de l'autodétermination (Deci et Ryan, 1985, 2008; Guay, Ratelle et Chanal, 2008 ; Vallerand, Blais, Briere et Pelletier, 1989 cités par Chédru, 2015, p. 461), ont montré qu'il existe un lien entre la réussite scolaire d'un élève et sa motivation intrinsèque. Ainsi, un élève motivé intrinsèquement, a un comportement à l'engagement à l'apprentissage. Dans le domaine de la psychologie sociale, le comportement est perçu comme étant déterminé par l'intention, d'après la théorie de l'action raisonnée d'Azjen et Fishbein (1980) cité par Osborne et al. (2003, p. 1054), qui s'intéresse à la prévision du comportement, et à l'origine de la théorie du comportement planifié (Venturini, 2004, p. 6). L'intention est, quant à elle, à la fois le fruit de l'attitude envers le comportement et des normes subjectives telles que les croyances (Osborne et al., 2003, p. 1054). Pour Brown (1976); Potter & Wetherall (1987) cités par Osborne et al., 2003, p. 1054, le comportement est influencé par l'attitude voire par d'autres attitudes que celles considérées.

Pour l'enseignement de la science, le concept d'attitude des élèves envers les sciences a fait l'objet de nombreux travaux de recherche (Osborne et al., 2003 ; Venturini, 2004). Ces travaux ont été engendrés par les craintes exprimées de manquer cruellement de scientifiques, pour assurer le développement économique dans les pays occidentaux (France, Royaume Uni, États-Unis d'Amérique, Canada, etc.) et de citoyens ayant une bonne culture scientifique de

base, en raison du déclin de l'intérêt et de la désaffectation des jeunes pour les études et les carrières scientifiques.

Ainsi, s'intéressant aux facteurs influençant les attitudes envers les sciences à l'école, en ce qui concerne les disciplines enseignées, ces travaux révèlent que les sciences physiques, et plus particulièrement, la physique sont perçues comme des disciplines qui suscitent le plus d'attitudes négatives (Venturini, 2004, p. 10). Elles sont vues comme étant les disciplines les plus difficiles.

Selon Venturini (2004, p. 16), certaines de ces études ont trouvé que plus l'attitude est positive envers les sciences, plus les résultats aux tests de connaissances sont bons (Martin et al., 2000 ; Beaton et al., 1996 ; Kesamang et Taiwo 2002 ; Osborne et Collins, 2000 ; Simpson et Oliver 1990). Il rapporte que Bennett (2001b) établit, par exemple en chimie, que les élèves qui ont obtenu les notes d'examen les plus basses sont celles qui avaient également des scores d'attitudes les plus bas, et vice versa. En biologie et en physique, les filles qui ont eu des attitudes positives ont obtenu les résultats les plus élevés aux tests de connaissances plus que les garçons (Weinburgh, 1995 cité par Venturini, 2004, p. 16). Il en est de même du comportement des élèves envers l'apprentissage des disciplines. Plus l'attitude de l'élève envers les sciences est positive, plus le comportement qu'il adopte est favorable à l'apprentissage.

Ces éléments de connaissance nous amènent à suggérer que les élèves ayant des attitudes positives envers la physique, avant tout processus d'enseignement-apprentissage, auront donc des résultats positifs d'apprentissage (Venturini, 2004c, p. 1). La détermination des attitudes des élèves participant à notre étude, pourrait donc nous permettre d'analyser les résultats aux tests de recherche par rapport à leurs attitudes avant expérimentation. D'autres facteurs influençant les attitudes, tels que le genre, ont été également relevés dans ces travaux.

L'attitude de l'élève envers les sciences est un concept qui n'a pas un sens explicitement défini (Venturini, 2004c, p. 2) ; (Osborne et al., 2003, p. 1054). Il revêt des aspects différents selon les auteurs. Cependant, il présente un ensemble de caractéristiques, articulées autour de trois composantes majeures de l'attitude en général, telles qu'identifiées par Manassero Mas et al., 2001 cité par Venturini 2004c, p. 2) : une composante cognitive, une composante affective et une composante comportementale. La composante cognitive rassemble un ensemble d'informations et de croyances relatives à l'objet d'attitude.

La composante affective concerne l'émotion et le sentiment provoqué par la présence réelle de l'objet d'attitude ou le simple fait de l'évoquer. Elle est à l'origine de l'évaluation positive ou négative de l'attitude envers l'objet. Enfin, la composante comportementale renvoie, entre autres, aux intentions d'actions éveillées par l'objet et aux souvenirs des comportements passés par rapport à l'objet, ou à la réalisation de comportements futurs. En ce qui concerne l'attitude envers les sciences, les deux catégories d'indicateurs les plus référencés, selon Venturini (2004c, p. 2), sont :

- Les « *indicateurs relatifs aux sciences : intérêt pour les sciences ; intérêt pour certains domaines ou pour certains sujets scientifiques ; valeur, importance, image des sciences ; image de la communauté scientifique ; perception de l'utilité des sciences pour le futur*

(vie quotidienne ou carrières scientifiques) ; réalisation d'activités scientifiques extrascolaires » ;

- Les « indicateurs relatifs aux sciences à l'école : intérêt pour l'étude des sciences, ou pour l'étude de certains sujets ; motivation en cours de sciences ; intérêt pour la réalisation de certaines activités scolaires ; difficulté à étudier les sciences, anxiété générée par cette étude, peur de l'échec, ou à l'inverse, confiance en soi vis à vis des études scientifiques ; réussite en classe ; perception des enseignants scientifiques. ».

La plupart des dispositifs de mesure d'attitudes des élèves envers la science sont construits autour de ces deux grandes catégories d'indicateurs. Cette mesure s'effectue sur une échelle d'attitudes

4.2.3.2 Échelles d'attitudes

Elles consistent à évaluer l'attitude de l'élève ou d'un groupe d'élèves. Il existe différentes méthodes. La note de synthèse, suffisamment riche de Venturini (2004c, pp. 3-4), rapporte 3 méthodes principalement : L'échelle de Likert, les différentiateurs sémantiques et les questionnaires à choix multiples (QCM). L'échelle de Likert est la plus utilisée selon l'auteur. C'est cette méthode qui nous intéresse, et qui nous a permis de disposer d'éléments de connaissance pour évaluer les attitudes des élèves participant à notre étude.

La méthode consiste à proposer à l'élève un test comprenant une série de phrases présentant un point de vue, une opinion, une préférence sur l'objet d'attitude. L'élève exprime alors son avis sur une échelle linéaire graduée comportant généralement 4 à 6 niveaux de préférences (Venturini, 2004c), en choisissant un niveau. Le plus souvent, il s'agit de 5 niveaux (ou points) déclinés, par exemple, comme suit : «*tout à fait d'accord/ d'accord / pas sûr/ en désaccord/ fortement en désaccord*» (Osborne et al., 2003). Ils sont libellés différemment par d'autres chercheurs. Les items constituant les tests de points de vue, de préférences, d'opinions, etc., sont en général inspirés, selon Venturini, de tests standards tels que le Test Of Science Related Attitude (TOSRA) utilisé par Wood (1998), ou le test « Attitude Towards Science Inventory » (ATSI) utilisé par Goglin et Swartz (1992) et Weinburgh (1998). Mais nous avons aussi le test rapporté par (Thompson & Shrigley, 1986). Ces tests sont ensuite adaptés aux besoins du chercheur.

Pour mesurer l'attitude d'un élève ou d'un groupe d'élèves, deux stratégies apparaissent dans l'exposé de Venturini (2004, p. 4). La première consiste à mesurer l'attitude de l'élève envers la science en calculant la moyenne des scores attribués à chaque réponse de l'élève aux items du test d'attitude, en fonction du niveau choisi sur l'échelle de Likert. Par exemple, étant donné un test d'attitudes comportant 3 items, item1, item2, item3 sur une échelle de Likert à 5 niveaux. Pour un élève qui a choisi les niveaux, «*totalelement en désaccord*» pour l'item1, «*en accord*» pour l'item 2, «*pas sûr*» pour l'item 3, si on attribue le score 1 au niveau «*totalelement en désaccord*», 2 à «*en désaccord*», 3 à «*pas sûr*», 4 à «*en accord*» et 5 à «*totalelement en accord*», alors la moyenne des scores est 2,66. L'attitude mesurée de l'élève est donc inférieure à 3. D'où son attitude envers la science est considérée comme négative. Si la moyenne des

scores était supérieure à 3, alors l'attitude envers la science aurait été qualifiée de positive. C'est ainsi, ou d'une manière similaire, qu'ont procédé bon nombre de chercheurs.

La deuxième stratégie, consiste à calculer, pour un item donné, les pourcentages d'élèves par rapport à chaque niveau d'opinion exprimé sur l'item puis à donner la répartition des élèves selon le niveau exprimé pour l'item. Par exemple, si pour l'item 1, sur un total de 10 élèves, 2 élèves, déclarent être « *totalelement en désaccord* », 2 déclarent être « *en désaccord* », 3 élèves déclarent être « *pas sûr* », 1 déclare être « *en accord* » et 2 déclarent être « *totalelement en accord* », alors nous dirons que 4 élèves sur 10, ou 40% des élèves sont totalement en désaccord ou plutôt en désaccord avec l'affirmation de l'item 1, 30% des élèves sont totalement en accord ou plutôt en accord avec l'affirmation de l'item1, et 30% des élèves n'ont pas d'opinion par rapport à l'affirmation de l'item1. Nous nous sommes inspirés de quelques travaux pour notre étude vu qu'il n'y a pas un cadre théorique spécifique pour une telle étude. Il est inféré à partir de travaux existants (Venturini, 2004, p. 2).

4.2.3.3 Quelques travaux de référence

Ulukök et Sari (2016, p. 466) ont évalué les attitudes de 46 élèves-professeurs de sciences élémentaires, en Turquie, envers l'utilisation d'un logiciel de simulation comme ressource de laboratoire pour l'enseignement de la notion de circuit électrique, en physique. Ils se sont basés sur le modèle d'échelle d'attitudes de Thompson & Shrigley (1986), pour construire une échelle d'attitudes de Likert à 5 niveaux. Ils ont testé la validité de leur instrument en calculant un coefficient Alpha de Cronbach de 0,83, la valeur de référence étant de 0,7. Ils ont aussi déterminé, pour chaque élève-professeur, le score d'attitude avant l'utilisation du logiciel et le score d'attitude après l'utilisation du logiciel. Ils ont ensuite évalué, en utilisant un test de student sur échantillon apparié, la différence d'attitudes des élèves-professeurs entre leur état avant utilisation du logiciel et leur état après utilisation du logiciel, pour savoir si l'utilisation du logiciel a eu un effet significatif sur leur attitude envers l'utilisation du logiciel comme outil de laboratoire pour l'enseignement de la physique. Les auteurs ont également déterminé, à l'aide d'un graphique en barres, le pourcentage des élèves-professeurs pour lesquels le logiciel a provoqué un changement d'attitudes envers l'utilisation du logiciel de simulation.

Le Hebel et al. (2014) ont également étudié, dans le cadre du programme ROSE (Relance Of Science Education), les attitudes des élèves de 15 ans à propos des sciences en France.

4.2.4 Théorie de l'activité instrumentée de Leontiev, médiation médiatisation d'un contenu de savoir et utilisation d'un EIAH

4.2.4.1 Théorie de l'activité instrumentée de Leontiev

La théorie de l'activité instrumentée de Leontiev (1979) propose un « modèle d'activité médiatisée par des instruments et articulant trois niveaux (activité, action, opération) » (Jeannin et al., 2010), et la théorie de la modélisation (Tiberghien & Vince, 2005), nous permettront

également d'apprécier la qualité d'utilisation du simulateur d'oscilloscope. Nous analyserons également les conditions de son utilisation en classe. Pour capter les données qui nous intéressent, nous utiliserons l'observation de classe, l'enregistrement de l'écran du PC et l'entretien semi-directif. De ce fait, nous vérifierons la quatrième hypothèse de notre étude

4.2.4.2 De la médiation et la médiatisation des savoirs

Claire Bélisle définit la médiation, en référence aux travaux de Vygotski et de Bruner, comme « l'ensemble des processus par lesquels une personne s'intercale entre le sujet apprenant et les savoirs à acquérir pour en faciliter l'apprentissage » (Barbot & Lancien, 2003, p. 10).

4.2.4.3 Utilisation d'un EIAH. Théorie de l'utilité, d'utilisabilité, et d'acceptabilité

D'après la revue de la question, pour que l'utilisation de la simulation informatique produise un effet positif sur l'apprentissage, il faut que cette simulation informatique soit appropriée pour l'apprentissage visé. Elle doit être également facile à utiliser. Son contenu doit être, de préférence, dans langue d'enseignement (Spodniakková Pfefferová, 2015). Les théories d'utilité, d'acceptabilité et d'utilisabilité d'un EIAH (Tricot et al., 2003), (Nogry & Daubias, 2004), sont des cadres de références qui permettent d'apprécier la qualité et le choix des simulations informatiques.

4.3 Description des variables de notre étude

Pour rappel, l'hypothèse principale de notre recherche est que le simulateur d'oscilloscope favorisera la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, en classe entière, si l'enseignant l'utilise selon une démarche d'investigation POE, dans une approche socioconstructiviste, à travers une pédagogie d'apprentissage, et dans de bonnes conditions d'utilisation.

4.3.1 Variables indépendantes

Les variables indépendantes de notre étude sont le type situation d'enseignement-apprentissage, la pratique de la démarche d'investigation par l'expérimentation, la pratique d'une pédagogie d'apprentissage, l'utilisation du simulateur par l'enseignant pour faire comprendre le sens des concepts de fréquence et période, les conditions d'utilisation du simulateur, et l'attitude des élèves envers la physique.

4.3.1.1 Situation d'enseignement-apprentissage avec ou sans simulation

Comme le montre l'état de l'art, pour justifier de l'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur l'apprentissage des concepts de physique, la plupart des travaux ont plutôt mis en avant les gains d'apprentissage obtenus, aux tests de connaissances, par chaque groupe d'expérimentation constitué (3 groupes en général, c.à.d. 1 avec simulation seule, 1 avec matériel réel seul, 1 avec les deux) (Sarabando et al., 2014 ; Sarabando et al., 2016 ; Kollöffel

& Jong, 2013 ; Farrokhnia & Esmailpour, 2010 ; Z. C. Zacharia, 2007), sans analyser spécifiquement les facteurs véritablement responsables de ces résultats. Ils ne se sont souvent limités qu'à une appréciation globale, en termes de situation d'apprentissage. Ainsi, dès que la différence des gains d'apprentissage entre les groupes d'expérimentation constitués était significative, ils concluaient à l'efficacité de la simulation utilisée. Et c'est pour cela que beaucoup de débats autour de l'efficacité réelle des simulations ont eu et continue d'avoir cours.

S'agissant de l'impact de l'utilisation de la simulation informatique dans l'apprentissage, en classe entière, il existe très peu de travaux (Lara K. Smetana & Bell, 2014: 481). Rutten, Joolingen, & Veen (2015, 2016) et de Lara K. Smetana & Bell (2014) ont montré qu'il y a une différence significative entre les gains d'apprentissage des élèves enseignés à l'aide de la simulation informatique et ceux des élèves enseignés sans la simulation informatique. C'est une appréciation au niveau global qu'il sera donc intéressant de vérifier.

4.3.1.2 Pratique de la démarche d'investigation en physique : l'ICS (Inquiry Cycle Score) et le SRR (Student Response Rate).

S'agissant de la pratique de la démarche d'investigation en physique, en classe entière, Bell, Urhahne, Schanze, & Ploetzner (2010 cités par Rutten et al., 2015), ont montré qu'elle représente la démarche appropriée qui permet d'obtenir un impact positif significatif sur l'apprentissage par l'utilisation des simulations en classe entière. Cette démarche d'investigation est caractérisée par des phases de questions de *prédiction-observation-explication* (P-O-E) (Rutten et al., 2015). Elle est analysée à travers deux scores, celui de la pratique de la démarche par l'enseignant mesurée par le nombre total d'occurrences des cycles POE, appelé ICS (Inquiry Cycle Score), et le taux de réponses des élèves lors de la pratique de la démarche, appelé, le SRR (Student Response Rate). Nous expliquons, dans la partie du chapitre de la méthodologie concernant la démarche et le traitement des données de l'observation directe, comment nous avons fait pour déterminer le SRR et l'ICS.

4.3.1.3 Pratique d'une pédagogie de l'apprentissage

L'importance de la question de la pratique pédagogique ressort dans plusieurs travaux de didactique sur l'utilisation de la simulation informatique, dans l'enseignement des sciences physiques (physique-chimie) en général, et de la physique en particulier. Par exemple, selon Richard Clark (1994 cité par Sarabando, Cravino, & Soares, 2016, p. 111), les bons résultats d'apprentissage, à l'aide des simulations informatiques, sont à mettre au compte d'une pratique d'enseignement efficace plutôt qu'à la simulation utilisée.

Bien que n'ayant pas fait l'objet d'étude spécifique, l'importance du rôle de médiation de l'enseignant, avec les élèves dans l'apprentissage avec les simulations informatiques, transparaît dans plusieurs recherches, comme celle que Jimoyiannis & Komis (2001) ont réalisée sur l'apprentissage du concept de vitesse. Ce rôle de médiation de l'enseignant a été également mise en évidence par Buty (2003) dans son étude sur la mise en relation, par les élèves de terminale S, entre un dispositif d'expérimentation réel et un modèle informatisé pour la construction du concept d'image en optique géométrique, à travers une activité visant à mesurer la distance focale d'une lentille convergente par la méthode de Bessel. Cette

importance de la médiation de l'enseignant dans le processus de construction du sens des concepts, a aussi été relevée par Sarabando et al. (2014, 2016), Khan (2011), Lara K. Smetana & Bell (2014) et Rutten et al. (2015 ; 2016), entre autres.

En effet, dans leur l'étude, par exemple, Sarabando et al. (2016), ont montré que parmi les 3 enseignants A, B, et C, dont les pratiques d'enseignement des concepts de masse et poids, à l'aide d'une simulation informatique, ont été comparées, les élèves de B (qui ont travaillé avec la simulation informatique seule) ont réalisé la meilleure performance parce que B leur a donné plus d'opportunités à s'exprimer sur leurs conceptions, à y réfléchir, plus de temps à trouver les réponses aux questions posées. Il a aussi favorisé les discussions entre ses élèves et lui-même. Il les a guidé, a accompagné ou soutenu ses explications par la visualisation du phénomène, objet de son explication. Il s'est aussi assuré, à chaque fois, que ses élèves avaient bien compris la tâche à réaliser, les consignes de travail. Il a mis à leur disposition toutes les ressources dont ils avaient besoin, et même apprêté leur poste de travail.

Une telle pratique d'enseignement, au regard de la description des pratiques d'enseignement porteuses de résultats d'apprentissage a les caractéristiques d'une pratique dite d'apprentissage selon Altet et al.(2015). C'est-à-dire, une pratique qui amène les élèves à s'engager dans les tâches, à s'impliquer dans la construction du savoir enseigné, et donc à comprendre les concepts de physique en jeu. Et cela est d'autant plus important, car comme le disent Astolfi & Develay (2002, p. 65) « *la compréhension est quelque chose qui ne se transmet pas et qui ne peut s'opérer que moyennant la participation centrale de l'apprenant.* ». La pratique d'enseignement utilisée par l'enseignant doit donc aider à cela. Et selon, Altet, Paré Kaboré, & Sall (2015, p. 61), la finalité d'une pédagogie d'apprentissage est « *d'aider [...] l'élève en train d'apprendre, à construire par lui-même son savoir, à se l'approprier* ». Ainsi, ils proposent, au vu d'un ensemble de travaux sur les pédagogies actives, sept variables-effets-clés (ibid., 2015, p. 59), c'est-à-dire, des variables qui agissent sur les rapports enseignement-apprentissage. Nous avons retenu, parmi ces variables-effets, la *stimulation cognitive et motivationnelle* du groupe-classe [par l'enseignant], l'*implication et l'engagement dans la tâche* du groupe-classe, la *régulation interactive* [de la séquence de cours par l'enseignant], les *renforcements et l'évaluation formative* [des réponses-élèves par l'enseignant], le *climat social* dans le groupe-classe.

La *stimulation cognitive et motivationnelle* de l'enseignant renvoie à toutes les actions de l'enseignant qui tendent à inciter, ou à motiver le groupe-classe à s'engager dans l'apprentissage, à participer activement au cours.

L'*implication et l'engagement dans la tâche* concernent les actions de l'enseignant qui tendent à amener le groupe-classe, c'est-à-dire « l'élève », à s'impliquer dans le travail, dans l'activité d'apprentissage.

Nous repérons cette implication et cet engagement en termes de *participation* du groupe-classe au processus d'apprentissage. L'*implication et l'engagement dans la tâche* se fait à travers des exposés, des réponses aux questions, des explications, etc., (Stallings et Knight, 2003 cité par Altet et al., 2015, p. 113).

La *régulation interactive* consiste, pour l'enseignant, à s'assurer, en interaction avec le groupe-classe, que le processus d'apprentissage se déroule bien, sans entrave. Elle réfère donc à toutes les actions, gestes, paroles, etc. de l'enseignant, visant à recueillir auprès des apprenants (groupe-classe), afin de savoir si celui-ci évolue bien dans son apprentissage (par exemple : savoir s'il a bien compris l'énoncé de la tâche, les consignes, l'efficacité de la stratégie qu'il utilise pour résoudre un problème, etc.) (Saint-Pierre, 1991, p. 17).

Les renforcements et l'évaluation renvoient à toutes les actions d'appréciation des productions (orales, écrites, graphique, etc.) du groupe-classe de la part de l'enseignant. Et enfin, le *climat social* réfère à toutes les actions de l'enseignant qui tendent à maintenir l'ordre dans la classe afin que le processus enseignement-apprentissage se déroule dans une atmosphère calme et apaisée. Car en effet, comme le dit Bêty, la confiance en soi, qui est un facteur affectif important pour l'apprentissage, est favorisée par un climat de classe adéquat (Bêty, 2010, p.10).

Nous avons expliqué, dans la partie de la méthodologie concernant la démarche et le traitement des données de l'observation directe, comment nous avons procédé pour déterminer les éléments de sens relatifs à la pratique de la pédagogie de l'apprentissage.

4.3.1.4 Utilisation du simulateur d'oscilloscope

En absence d'exemples d'utilisation de simulateur d'oscilloscope dans une activité d'enseignement de concepts de la physique, au stade de notre revue de la littérature scientifique, nous avons construit cette variable en articulant plusieurs éléments théoriques. Des éléments provenant, à la fois des prescriptions du programme d'enseignement de la physique-chimie de la classe de 4^{ème}, de la théorie des deux mondes (Tiberghien & Vince, 2005 ; Buty, 2003), et du principe de la démarche d'investigation par l'expérimentation. Ainsi le programme d'enseignement demande que l'enseignant donne, aux élèves, la définition de la tension alternative sinusoïdale, et celles de la période et de la fréquence de cette tension (MENET-FP, 2014, pp. 11, 25).

Pour Tiberghien & Vince (2005), en référence à Vygotsky, et également pour Buty (2003), la médiation, aussi bien de l'adulte que des signes, est déterminante dans l'apprentissage de la physique. Et, selon eux, partant de ce que l'apprentissage s'effectue dans l'interaction de l'enfant avec le monde des objets (citant Piaget), la construction du sens des concepts de physique se fait par des mises en relation entre différents éléments de savoir, et différentes représentations du concept étudié.

Ces représentations du concept, relevant des travaux de la sémiotique (Ainsworth et al., 1996 ; Duval, 1995 cités par Tiberghien & Vince (2005, p. 7)), peuvent être de différents types de registres sémiotiques (langue naturelle, graphes, géométrie, vectorielle, schémas, formules algébriques, etc.). Et « *c'est la compréhension de l'ensemble des représentations qui permet de donner du sens au concept.* » (Tiberghien & Vince, 2005, p. 7). Pour ce qui est du principe de la démarche d'investigation, il offre, pour sa part, un cadre d'apprentissage des concepts dans une approche constructiviste voire socioconstructiviste.

Ainsi donc, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope renvoie aux actions de manipulation du simulateur d'oscilloscope, accompagnée du discours oral de l'enseignant, pour

la construction du sens des concepts de fréquence et de période de la tension alternative sinusoïdale. Nous considérons les actions de manipulation et, le discours qui les accompagne, pendant la pratique de la démarche d'investigation. Nous avons défini cette utilisation en 5 phases : une phase d'introduction (phase 1), une phase de manipulation (phase 2), une phase de détermination des grandeurs physiques des concepts (phase 3), une phase de relation entre fréquence et période (phase 4), et une phase de consolidation (phase 5).

La phase 1, ou phase d'introduction, correspond à l'explication, au groupe-classe, du but de la manipulation, au réglage du dispositif expérimental, à la définition, par l'enseignant, de la notion de tension alternative sinusoïdale et des concepts de fréquence et période, en langue naturelle (Tiberghien & Vince, 2005, p. 7), autrement dit, dans la langue d'enseignement (registre sémiotique « langue naturelle »).

La phase 2, ou phase de manipulation, correspond à l'affichage du graphe de la tension alternative sinusoïdale sur l'écran de l'oscilloscope, à l'explication de la modélisation représentant la tension alternative sinusoïdale, à l'indication du motif élémentaire du graphe de la tension alternative sinusoïdale, et à l'indication du segment représentant la période de la tension alternative sinusoïdale (registre sémiotique « graphe »).

La phase 3, ou phase de détermination des grandeurs physiques des concepts. Pour la fréquence de la tension alternative sinusoïdale, elle correspond à la détermination du nombre de motifs élémentaires sur le graphe de la tension alternative sinusoïdale sur une durée donnée, au calcul du nombre de motifs élémentaires pour une seconde, à l'écriture de la grandeur physique de la fréquence (valeur + unité légale). Pour la période, cette phase correspond à la détermination de la longueur correspondant au début et la fin d'un motif élémentaire, à l'écriture de la grandeur physique de la période (valeur + unité légale) (registre sémiotique « graphe » + (registre sémiotique « nombre et unité légale »)).

La phase 4, ou relation entre la fréquence et la période, correspond à : faire prévoir le sens de variation de la période quand la fréquence varie ; faire varier la fréquence du Générateur Basse Fréquence (GBF) et demander au groupe-classe d'observer l'effet de la variation de la fréquence du GBF sur le nombre de motifs élémentaires ; poser des questions sur la variation de la « longueur du segment du motif élémentaire » représentant la période ; poser des questions sur le sens de variation de la fréquence par rapport à la période, selon que la valeur de la fréquence du GBF augmente ou diminue (simulation de la relation objet/événements et théories/modèles). Elle correspond, enfin, à l'écriture de l'expression algébrique (expression mathématique) de la relation entre la fréquence et la période, et à un exemple d'application de cette expression mathématique (registre sémiotique « formule algébrique »).

La phase 5, ou phase de consolidation, correspond à la modification des valeurs de réglage, et à la reprise des phases 1 à 4. Car en effet, le processus de compréhension du sens des concepts de physique, découlant d'un changement conceptuel, demande du temps et s'opère chez l'élève de manière graduelle (Bêty, 2010, p. 11). C'est pourquoi, « pour Posner et al. (1982), Giordan (2002) et diSessa (2008), il est préférable de revoir plusieurs fois le même concept (pour Posner et al. et Giordan) ou la même relation causale dans différents contextes (pour diSessa) » (Bêty, 2010, p. 11). Mais cela relève aussi de ce que l'apprentissage requiert de l'apprenant qu'il mobilise les anciennes connaissances, c'est-à-dire les connaissances

préalables, et qu'il utilise ou réutilise les nouvelles (Musial et al., 2012, p. 2). À défaut de la reprise des phases 1 à 4, l'enseignant peut procéder, avec la participation des élèves, à la synthèse des savoirs concernant les notions de fréquence et période d'une tension sinusoïdale, notions vues pendant la séquence de cours. Ce sera donc un moyen, pour l'enseignant, de vérifier la compréhension acquise par le groupe-classe de ces deux concepts (fréquence et période).

4.3.1.5 Conditions d'utilisation

S'agissant des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope, nous nous sommes appuyés sur les travaux de Ngunu Hungu (2012, p. 104). En effet, Selon Ngunu, « [l'] *impact [de l'utilisation des TIC sur l'apprentissage] peut être différent selon le contenu même du logiciel utilisé, les conditions d'utilisation et le niveau de formation des enseignants, qui influence directement leur manière de l'utiliser.* » (Ngunu Hungu, 2012, p. 230). Il a utilisé 6 indicateurs (p. 124) pour caractériser les conditions d'utilisation des logiciels de son étude, en classe. Ce sont la gestion de l'espace, la gestion des outils de la classe, la gestion des outils réglementaires et fonctionnels, les conditions d'exécution du logiciel, la qualité du logiciel et, l'environnement. Nous les avons adaptés à notre étude, en nombre et en contenu.

Ainsi, pour notre cas, nous avons, comme indicateurs des conditions d'utilisation, la *gestion de l'espace* qui réfère à la place des élèves, la place de l'enseignant ; et à la position du vidéoprojecteur ; la *gestion des supports* qui fait allusion à l'utilisation d'un vidéoprojecteur, et à l'utilisations d'autres supports tels que les manuels scolaires, etc. ; les *conditions d'exécution* qui renvoient à l'état général de la salle de classe (superficie de la salle, superficie de la salle occupée par les élèves, nombre de tables-bancs, lumière, bruit, aération), au temps d'utilisation du simulateur par l'enseignant, au moment d'utilisation; la *qualité du simulateur* qui fait référence à la visibilité de l'image projetée, à la qualité de l'image projetée, l'utilité du simulateur, et l'utilisabilité du simulateur.

La gestion de l'espace

Pour assurer une bonne qualité de visualisation pendant l'apprentissage, un niveau de confort est nécessaire pour les élèves. La position du vidéoprojecteur par rapport à l'écran de projection, et celles des élèves par rapport à l'écran, notamment leur distance à l'écran de projection, sont importantes. La position de l'enseignant pendant la manipulation est tout aussi importante. Nous voulons donc observer si, pendant qu'il manipule l'ordinateur, l'enseignant est face à l'écran de projection, sur le côté, ou dos à l'écran de projection. Face à l'écran, s'il lève la tête vers l'écran de projection, il voit, en même temps que les élèves, l'image qui est projetée. Ainsi, il a la possibilité d'apprécier la qualité de la visualisation et peut mieux articuler son discours sur ce que voient les élèves. Sur le côté, c'est pareil, mais de moins bonne qualité. Mais, dos à l'écran de projection, il n'a pas la possibilité d'intervenir lorsqu'il y a un problème au niveau de la projection, comme par exemple lorsque l'image est mal cadrée et que la totalité de l'image qui doit être projetée n'est pas vue par la classe, telle que nous avons pu le constater dans une des classes de l'expérimentation.

La gestion des supports

Il s'agit de voir si différents supports sont utilisés par l'enseignant pendant la séquence de cours, même par l'enseignant qui utilise le simulateur d'oscilloscope. Par exemple, est-ce qu'en plus du simulateur d'oscilloscope, il utilise, pendant la projection, le tableau à craie, ou des manuels scolaires, ou demande-t-il aux élèves de prendre leurs manuels scolaires, etc. (Ngunu Hungu, 2012, p. 105).

Les conditions d'exécution

Il s'agit de l'état général de la salle. Il fait allusion à la superficie de la salle, à la superficie de la salle occupée par les élèves, et au nombre de tables-bancs pour savoir si la salle est suffisamment spacieuse pour accueillir tous les élèves pendant le cours, et si la superficie allouée aux élèves est suffisante pour recevoir assez de tables-bancs pour que tous les élèves soient confortablement assis pendant le cours. L'état général de la salle renvoie aussi à la qualité de la lumière, du bruit, et de l'aération à l'intérieur de la salle. Autrement dit, est-ce que, par exemple, l'intensité de la lumière à l'intérieur de la salle est-elle favorable à la luminescence du vidéoprojecteur ? Car en effet, plus il y a de lumière, moins bonne est la luminescence du vidéoprojecteur (l'image devient pâle) ; est-ce que le bruit perçu dans la classe ne gêne pas l'audition du discours de l'enseignant, c'est-à-dire des bruits qui font que les élèves n'entendent pas bien ce qui dit l'enseignant (qu'ils proviennent de l'extérieur de la classe (de la rue, de travaux, des classes environnantes, ou de tout autre événement), ou de l'intérieur de la classe (bruits faits par les élèves de la classe) ? Et enfin, est-ce que la salle dispose d'un nombre suffisant de fenêtres pour l'aération, autrement dit, fait-il chaud ou pas dans la salle, pendant le cours ? Ces conditions d'exécution prennent aussi en compte, le temps d'utilisation du simulateur et le moment de son utilisation. S'agissant du temps d'utilisation, il s'agit de voir si l'enseignant prend le temps, pendant la manipulation destinées à la construction du sens des concepts, d'impliquer suffisamment les élèves par les questions-réponses.

Pour le moment d'utilisation du simulateur, il s'agit de voir si l'enseignant recourt au simulateur avant, pendant, ou après l'explication des concepts de fréquence et période, et la prise de la trace écrite par les élèves, dans leur cahier.

Plus concrètement, s'agissant de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope « avant », nous allons observer si l'enseignant utilise le simulateur pour expliquer les concepts de fréquence et de période, en demandant au préalable aux élèves de fermer leurs cahiers de cours, et de suivre les manipulations et les explications. Ainsi, il fait d'abord toute l'expérimentation avec le simulateur d'oscilloscope, fait descendre l'écran et, en sollicitant les élèves sur ce qui a été fait, met la trace écrite au tableau, et demande ensuite aux élèves de la prendre dans leur cahier de cours.

Pour l'utilisation « après », nous allons observer, pour voir si l'enseignant fait d'abord entièrement le cours, sur les concepts de fréquence et période, et fait prendre, dans le cahier de cours la trace écrite comme d'habitude, puis après manipule le simulateur d'oscilloscope afin d'illustrer ce qui a été fait théoriquement.

Et enfin, pour l'utilisation « pendant », il s'agit d'observer l'enseignant pour voir s'il fait le cours normalement, comme avec le matériel physique (présentation et exploitation de la

situation d'apprentissage, titre de la leçon au tableau, sous-titre correspondant à la tension alternative sinusoïdale, mise en place de l'écran de projection, manipulation pour affichage de la tension alternative sinusoïdale ; exploitation de l'image projetée avec les élèves, définition au tableau, sous-titre correspondant à la période, prise de note dans les cahiers, manipulation du simulateur d'oscilloscope pour illustration de la définition du concept de la période, exploitation avec les élèves, trace écrite au tableau, prise de la trace écrite par les élèves, sous-titre concernant la fréquence, prise de note par les élèves dans leur cahier, manipulation du simulateur, et ainsi de suite). Une utilisation du simulateur « pendant » le cours doit être comprise comme une utilisation alternée, entre le tableau à craie et la manipulation du simulateur d'oscilloscope, des allers-retours entre l'utilisation du tableau à craie, et celle du simulateur.

La qualité du simulateur d'oscilloscope

Elle renvoie à la qualité de la visibilité de l'image projetée qui concerne la clarté de l'image. L'image projetée est-elle claire ou floue ? La qualité de l'image, quant à elle, fait allusion à la qualité des affordances (Khan, 2011, p. 225), des objets symbolisés (boutons, curseurs, écran de l'oscilloscope, etc.). Il s'agit de savoir s'ils sont toute suite reconnus ainsi que ce à quoi ils servent. Elle concerne aussi l'utilité et l'utilisabilité du simulateur. Selon Tricot et al. (2003), « *l'utilité concerne l'efficacité pédagogique [du simulateur d'oscilloscope. En d'autres termes,] permet-il [aux élèves d'apprendre] ce qu'ils sont censés apprendre ?* » (Tricot et al., 2003, p. 391). L'utilisabilité renvoie à la facilité de manipulation, d'utilisation. Il s'agit de demander à l'enseignant, et aux élèves, « *si [le simulateur est aisé à utiliser, à réutiliser, sans perdre de temps, sans erreur de manipulation]* » (ibid., 2003, p. 391).

Nous venons de décrire, avec force détail, les variables indépendantes, qui vont nous permettre de tenter d'expliquer les performances des groupes participant à notre expérimentation, performances mesurées par le gain relatif d'apprentissage, notre variable dépendante, que nous présentons dans la section suivante.

4.3.2 Variable dépendante

Le phénomène que nous recherchons est l'impact de l'utilisation d'un simulateur d'oscilloscope sur la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale par les élèves de la classe de 4^{ème}, niveau collège de l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire. Autrement dit, il s'agit de savoir si la compréhension de l'élève, concernant les concepts de fréquence et période, s'améliore plus lorsque ces deux concepts sont enseignés en utilisant un simulateur d'oscilloscope que lorsqu'ils sont enseignés sans simulateur d'oscilloscope.

Pour Musial et al. (2012, p. 5), « *le processus de compréhension relève d'une prise de conscience, d'une mise en application d'un concept, ou encore de l'interprétation (vraie ou fausse) par quelqu'un de quelque chose, à un moment donné, en fonction de ses connaissances antérieures.* ». Pour mesurer la compréhension d'un savoir, dans la plupart des travaux, l'élève

est soumis à une évaluation de ses connaissances, évaluation qui peut avoir lieu avant, pendant, ou après l'apprentissage visé.

Dans le cadre de l'étude de l'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de physique, la majorité des études réalisées ont procédé ainsi (*voir par exemple*, Mihindo et al., 2017 ; Sarabando et al., 2016 ; Rutten et al., 2016 ; Lara K. Smetana & Bell, 2014 ; Kollöffel & Jong, 2013 ; Farrokhnia & Esmailpour, 2010 ; Z. C. Zacharia, 2007 ; Jimoyiannis & Komis, 2001, etc.). Elles ont comparé la progression relative des élèves, au niveau de la compréhension des concepts de physiques enseignés, en soumettant les groupes de l'expérimentation, deux fois, à l'évaluation de leurs connaissances sur les concepts en jeu, la première, avant l'expérimentation, et la seconde, après l'expérimentation.

Les élèves réalisent donc un premier test (pré-test) avant l'enseignement avec la simulation informatique, et un deuxième test après (post-test). L'écart de scores, entre les deux tests, détermine la progression des connaissances de l'élève, entre sa compréhension des concepts au départ et sa compréhension des concepts à la fin. L'écart relatif entre les scores du pré-test et du post-test, représente le *gain relatif d'apprentissage*. Ce gain caractérise l'évolution de la compréhension des deux notions, fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, par les élèves de la classe de 4^{ème}, niveau collège. C'est donc ce gain d'apprentissage des groupes-classes que nous cherchons à expliquer à partir de l'analyse des relations entre ce gain et les variables indépendantes (ou variables explicatives) de l'étude.

La variable dépendante (ou variable expliquée) de notre étude est donc le *gain relatif d'apprentissage*, selon D'Hainaut (1975) cité par plusieurs chercheurs (Mélot, 2015, p. 27 ; Duroisin, Temperman, & De Lièvre, 2011, p. 262 ; Quintin, 2007, p. 221 ; Gérard, 2003, p. 12 ; Gilles & Mélon, 2000, p. 171, etc.). Ce gain relatif⁴⁵ d'apprentissage de l'élève se calcule, en déterminant le quotient de la différence entre les scores du pré-test et du post-test, par rapport à la différence entre le score maximum et le score obtenu au pré-test.

Les variables indépendantes peuvent être influencées par d'autres variables, non retenues en tant que variables explicatives. Il s'agit des variables de contrôle.

4.3.3 Variables de contrôle ou extrinsèques

Comme nous l'avons vu, dans les sections 1.2.2 à 1.2.4, l'apprentissage peut être influencé par de nombreux facteurs. Or, l'expérience que nous menons dans le cadre de cette recherche consiste à analyser les effets des variables indépendantes que sont, la pratique d'une démarche d'investigation par l'expérimentation, la pratique d'une pédagogie d'apprentissage, l'attitude des élèves envers la physique, l'utilisation du simulateur, les conditions d'utilisation du simulateur pour tenter d'expliquer la performance aux tests de recherche des groupes

⁴⁵ Selon la formule proposée par D'Hainaut (1975), nous avons :

$$\text{Gain relatif} = 100 * \frac{\text{Score APRES} - \text{Score AVANT}}{\text{Score MAXIMUM} - \text{Score AVANT}}$$

d'élèves participants à l'expérimentation. Nous devons donc nous assurer que notre expérience est valide, c'est-à-dire, que nous avons écarté les effets d'autres variables non étudiées explicitement. Ces variables, non explicites, ou variables extrinsèques, encore appelées variables de contrôle, ou variables parasites par d'autres chercheurs (Ouattara, 2019, p. 79), sont à contrôler pour garantir la validité de notre expérience. Dans le cadre de notre étude, elles regroupent, du côté de l'élève, le genre, l'âge, le statut scolaire (redoublant ou non), la csp des parents (père et mère), le lieu d'habitation, la fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur, le degré de pratique numérique, le type d'établissement fréquenté.

Du côté de l'enseignant, nous avons, le genre, l'âge de l'enseignant, son expérience professionnelle, sa fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur, son degré de pratique numérique, son attitude envers sa pratique pédagogique, et la durée du cours. Certaines de ces variables ont été étudiées par des chercheurs. Jimoyiannis & Komis (2001, pp. 197-198), par exemple, dans leur recherche sur la compréhension du concept de vitesse par la simulation informatique, ont étudié - mais en tant que variables indépendantes - l'effet de l'âge, du genre, de l'établissement, l'expérience d'utilisation de l'ordinateur, sur les types de savoirs ou de raisonnements utilisés par les élèves. Ils ont classé ces types de savoirs, selon les réponses des élèves aux différentes tâches d'activité, en 4 catégories (ibid. , p. 190) : *Effectual answers (E)*, *Various difficulties (D)*, *Misconceptions (M)*, *Inefficient responses (I)*, c'est-à-dire, Réponse effective (E), Difficultés diverses (D), Idées fausses (M), Réponses inefficaces (I).

Leur étude a montré, au moyen d'une analyse factorielle de correspondances multiple ou ACM, qu'il y a dans le groupe témoin, un pourcentage élevé d'élèves âgés, de filles, d'élèves qui avaient une expérience dans l'utilisation de l'ordinateur, et ceux qui venaient du lycée 2, dans la catégorie des réponses inefficaces (I). Les élèves les plus jeunes, les garçons, et ceux venant de l'établissement lycée 1 représentent le pourcentage le plus élevé dans la catégorie des réponses efficaces (E). Les élèves sans expérience d'utilisation de l'ordinateur étaient plus nombreux dans la catégorie des idées fausses (M). Leur étude a aussi montré, lorsqu'ils analysent l'ensemble constitué à la fois des deux groupes (Jimoyiannis & Komis, 2001, p. 200), que les élèves les plus jeunes, les garçons, et ceux qui avaient une expérience de l'ordinateur représentent le pourcentage le plus élevé des réponses efficaces dans le groupe expérimental. En revanche, dans le groupe témoin, les filles, les élèves âgés et ceux du lycée 2 ont été les plus nombreux à donner des réponses inefficaces.

4.3.4 Plan des variables

Hypothèse	Variables	Type	Indicateurs	Modalités	Outil de recueil des données	Croisement
H1 : Les groupes-classes expérimentaux obtiendront un gain relatif d'apprentissage significativement plus élevé que les groupes-classes témoins.	Situation	VI	Type de Groupe	Avec simulation, sans simulation	Questionnaire	Test bivarié
	Gain relatif d'apprentissage	VD	Scores pré-test et post-test	Valeurs quantitatives discrètes	Pré-test/Post-test	
H2 Le gain relatif d'apprentissage dépend de l'attitude envers la discipline des élèves des groupes-classes, au départ de l'apprentissage.	Gain relatif d'apprentissage	VD	Scores pré-test et post-test	Valeurs quantitatives discrètes	Pré-test/Post-test	Test bivarié
	Attitude envers la discipline	VI	Éléments d'attitudes	Échelle de Likert	Questionnaire	
H3 : Le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend du SRR	Gain relatif d'apprentissage	VD	Scores pré-test et post-test	Valeurs quantitatives discrètes	Pré-test/Post-test	Test de corrélation
	SRR	VI	Proportion des réponses-élèves par rapport au total des réponses aux questions posées	Valeurs quantitatives discrètes	Observation	
H4 : Le SRR dépend de l'ICS	SRR	VI	Proportion des réponses-élèves par rapport au total des réponses aux questions posées	Valeurs quantitatives discrètes	Observation	Test de corrélation
	ICS	VI	Nb. de cycles de questions POE	Valeurs quantitatives discrètes	Observation	

H5 : Le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend de leur niveau de participation dans le cours.	Gain relatif d'apprentissage	VD	Scores pré-test et post-test	Valeurs quantitatives discrètes	Pré-test/Post-test	Test de corrélation
	Niveau de Participation	VI	Nb d'occurrences éléments de la grille élève	Valeur quantitatives discrète	Observation <i>in situ</i>	
H6 Le niveau de participation globale des groupes-classes dépend du niveau de pratique de la pédagogie de l'apprentissage (PA) de l'enseignant.	Niveau de Participation	VI	Nb d'occurrences éléments de la grille élève	Valeur quantitatives discrète	Observation <i>in situ</i>	Test de corrélation
	Niveau de pratique de la PA	VI	Nb d'occurrences éléments de la grille enseignant (relatifs aux variables effets-clés)	Valeur quantitatives discrète	Observation <i>in situ</i>	
H7 : Les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes peuvent être expliqués par l'utilisation du simulateur d'oscilloscope par l'enseignant	Gain relatif d'apprentissage	VD	Scores pré-test et post-test	Valeurs quantitatives discrètes	Pré-test/Post-test	Analyse qualitative
	Utilisation du simulateur	VI	Éléments d'actions et opérations Éléments de discours	Oui Non	Observation	
H8 : Les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes dépendent des conditions d'utilisation du simulateur	Gain relatif d'apprentissage	VD	Scores pré-test et post-test	Valeurs quantitatives discrètes	Pré-test/Post-test	Analyse qualitative
	Conditions d'utilisation	VI	Réponses-questionnaire Éléments de grille d'observation Éléments de discours	Oui, non Oui, non Éléments	Questionnaire Observation Entretien	
H9 L'utilisation du simulateur d'oscilloscope favorisera la concentration des élèves ainsi que la mémorisation, et la compréhension des notions de fréquence et période	Perception des élèves Perception des enseignants	VI	Éléments de discours	Catégories	Entretien semi-directif avec la classe entière Entretien avec l'enseignant	Analyse qualitatives

Tableau 4. Plan des variables de l'étude

Chapitre 5 – Méthodologie de la recherche

Ce chapitre porte sur l'ensemble de notre cheminement pour mener cette étude. Il présente, d'abord, la pré-étude que nous avons réalisée pour tester la méthodologie que nous envisageons mettre en œuvre. Ensuite, il s'intéresse au terrain de l'expérimentation en vraie grandeur, puis aux participants, aux outils et méthodes de collecte des données, et enfin aux outils et méthodes de traitement de ces données.

5.1 Pré-étude de la recherche

Dans cette section, nous présentons le champ dans lequel s'inscrit notre recherche ainsi que le type de recherche et le plan prévu pour sa réalisation, le contexte de la recherche, la méthodologie envisagée, et une conclusion-bilan de cette pré-étude après une analyse critique de la méthodologie utilisée.

5.1.1 Champ, type et plan de la recherche

5.1.1.1 Champ de la recherche

Notre travail de recherche appartient au champ de la didactique de la physique et à celui des technologies de l'éducation. Il s'inscrit donc dans le domaine des sciences de l'éducation. Et en tant que tel, il utilise les outils et méthodes des sciences de l'éducation (Jaillet, 2013).

5.1.1.2 Type de la recherche

Notre recherche est une recherche exploratoire de type mixte multi-cas, multi-site (Grimes & Warschauer, 2008). Elle s'intéresse à la fois à des variables quantitatives, et à des variables qualitatives, concernant un individu étudié. Les variables quantitatives fournissent des informations (données) sur l'individu sous forme de nombre (données quantitatives), c'est-à-dire, des données que l'on peut compter ou mesurer, et sur lesquelles l'on peut faire des calculs de sommes, de moyennes, d'écart-type, etc.. Les variables qualitatives fournissent des informations (données) sur l'individu sous forme de texte (données qualitatives), c'est-à-dire, des données que l'on ne peut que qualifier ou classer, ordonner. Sur ces données l'on ne peut pas faire de calcul de somme ni de moyenne de ces données. L'on ne peut que déterminer leurs fréquences.

Les données de cette recherche, qu'elles soient quantitatives ou qualitatives, proviennent de plusieurs groupes-classes appelés des cas et de plusieurs établissements ou sites. Notre étude est donc une étude de cas. Nous avons choisi une telle étude parce que, comme le disent Karsenti et Demers (2011, p. 230), elle est très pertinente et présente l'avantage d'être flexible et riche, selon eux, en éducation.

5.1.1.3 Plan de recherche

Notre plan de recherche comprend globalement 4 phases : la préparation de la recherche, sa mise en œuvre, la rédaction des résultats, la soutenance des résultats de la recherche.

- *Préparation (oct. 2015 à janv.-2016) (Phase 1)*

Elle comprend les activités suivantes : Revue de littérature, construction du sujet, construction de la méthodologie de la recherche, élaboration des outils de collecte des données, préparation des outils de traitement des données, identification des instruments de l'expérimentation (matériel TIC, plateforme d'hébergement du simulateur d'Oscilloscope).

- *Mise en œuvre de la recherche (fév. 2016 à sept. 2017) (Phase 2)*

Pour cette phase, nous avons prévu deux sous-phases : une phase de pré-étude et une phase d'expérimentation proprement dite. La phase de la pré-étude est une phase exploratoire pour tester notre approche méthodologique, nos outils de recueil de données et nos outils de traitement et d'analyse de données. La phase d'expérimentation est la phase active de la recherche, celle qui a permis la vérification des hypothèses de notre recherche et la réponse à nos questions de recherche.

La pré-étude (sous-phase 2.1) : Elle s'est déroulée de février 2016 à septembre 2016. Elle a été composée des activités suivantes : choix d'un terrain de test, en environnement scolaire réel, test de la méthodologie de la recherche, premier traitement des données, première présentation des résultats du test et réorientation à partir de difficultés et limites constatées.

L'Expérimentation (sous-phase 2.2) : Elle a été réalisée, en grande partie, de septembre 2016 à septembre 2017. Elle s'est poursuivie jusqu'en mars 2018, pour des compléments de données. Les activités principales de cette phase ont été les suivantes : rencontre des acteurs (Ministère, chefs d'établissement, participants), choix du terrain de la recherche constitué de 4 lycées publics, réalisation de l'expérimentation, traitement des données, présentation publique des 1^{ers} résultats de l'expérimentation au sein du laboratoire et à l'International, notamment aux colloques sur l'éducation à Montréal et en France.

- *Rédaction du manuscrit (janv. 2018 à avril 2018), colloque (Phase 3)*

Il s'agit de la rédaction du manuscrit de la recherche, de sa lecture, relecture et correction. Dans cette phase, nous avons également fait une présentation des premiers résultats de la recherche au 5^e colloque international en éducation à Montréal, les 3 et 4 mai 2018.

- *Soutenance des résultats de la thèse (avril. 2018 à juin 2018) (Phase 4)*

Cette phase concerne, d'abord, les démarches et l'exécution des procédures de soutenance de la thèse, puis la pré-soutenance, et enfin la soutenance. La rédaction du manuscrit de la thèse n'ayant pas été terminée à la date prévisionnelle, elle a donc été remise à une date ultérieure.

5.1.2 Contexte de l'expérimentation en pré-étude

5.1.2.1 Choix du contexte de l'expérimentation

Nous avons choisi de mener cette recherche dans un contexte naturel, avec toutes les interférences que cela pourrait comporter (pauses, interruptions subites par des personnes ou par un évènement extérieur, entrées et sorties des élèves, absences, etc.). Car en effet, selon Baribeau (1996, p. 585), « *il s'avère essentiel, lorsqu'on parle d'enseignement et d'intervention et qu'on vise à comprendre l'acte d'enseigner pour l'améliorer, que le contexte soit réel et non simulé. Trop longtemps, les recherches en éducation ont, par souci méthodologique, réduit les variables pouvant interférer sur la situation observée, mais ce faisant, la véritable situation s'en est trouvée dénaturée, ce qui peut être considéré comme un biais de type instrumental* ».

La section suivante décrit le contexte de l'enseignement de la physique dans l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire.

5.1.2.2 Contexte de l'enseignement de la physique dans le secondaire général

Dans le contexte de l'enseignement secondaire général de la Côte d'Ivoire, l'établissement est dirigé par un Chef d'établissement assisté de ses adjoints (ACE⁴⁶). Le Chef d'établissement reçoit du Ministère de l'éducation nationale, les programmes et guides d'enseignement des disciplines, les progressions annuelles des leçons de la discipline, le découpage de l'année scolaire, et d'autres instructions ministérielles pour le bon fonctionnement de l'école et de l'année scolaire. Chaque adjoint du Chef d'établissement, a sous sa responsabilité une discipline ou, plus précisément, l'Unité Pédagogique d'une discipline.

Chaque unité pédagogique, a un responsable. En ce qui concerne la discipline physique-chimie, l'Adjoint au Chef d'établissement chargé de l'Unité Pédagogique de la discipline Physique-Chimie, remet au Chef de l'Unité pédagogique de Physique-Chimie, les emplois du temps de ses collègues ainsi que tous les documents et informations nécessaires concernant le déroulement de l'année scolaire. Le Chef de l'Unité pédagogique, partage, à son tour, à ses collègues la documentation et les informations reçues, et en affiche dans la salle des professeurs attribuée à l'Unité Pédagogique.

Tous les enseignements de la discipline se déroulent selon la progression du ministère par tous les enseignants de la discipline, vu qu'il est organisé des devoirs de niveau, en général, qui concernent toutes les classes d'un même niveau, de la 6^{ème} à la terminale, et parfois qui concernent même tous les établissements d'une même Direction régionale de l'éducation nationale (DREN). L'enseignant qui tient une classe, d'un niveau donné, est donc tenu d'être à jour de la progression des leçons à dispenser pour que ses élèves ne soient pas pénalisés lors des devoirs de niveau. Il a donc une pression psychologique. Et l'organisation de l'établissement, sur le plan pédagogique, est telle que, selon l'emploi du temps reçu, les

⁴⁶ Adjoints au Chef d'Établissement

enseignants de disciplines différentes se succèdent dans une même classe. Par exemple, si l'enseignant de physique-chimie intervient juste après l'enseignant du français, il devra attendre que le professeur de français sorte de la classe, en général après que ce dernier a fini de remplir le cahier de texte de la classe. De manière réglementaire, un enseignant fonctionnaire de niveau Lycée doit à l'État de Côte d'Ivoire, un volume horaire hebdomadaire de 18h de cours. S'il a le niveau Collège, il doit 21 heures de cours.

La discipline qui nous intéresse dans cette recherche est la discipline Physique-Chimie, anciennement dénommée Sciences physiques. L'enseignant de physique-chimie enseigne donc, de manière alternée, deux matières, la physique et la chimie dans une même classe.

Avec la réforme du Collège en Côte d'Ivoire, en cours depuis 2014-2015, en vue d'apporter une réponse à la problématique du manque d'enseignants dans certaines zones géographiques du pays, les nouveaux enseignants de collège ont, en plus de la discipline physique-chimie, la discipline Sciences de la vie et de la terre (SVT) à enseigner dans une autre classe.

5.1.2.3 De la leçon de physique choisie pour l'étude de cas

La leçon que nous avons choisie pour notre expérimentation est une leçon de physique de la classe de 4^{ème}, niveau collège. Il s'agit de la leçon intitulée « *Tension alternative sinusoïdale* ». Selon la progression nationale des leçons de la discipline physique-chimie en classe de 4^{ème}, elle est en rapport avec la compétence 2 définie par le programme éducatif de la classe de 4^{ème}, et est liée au thème « *Courants et tensions alternatifs* ». Elle se situe au chapitre 3, après les leçons, sur « *Aimant et bobine* » (leçon 1), et « *Production d'une tension alternative* » (leçon 2). D'après la progression (MENET, 2014, p. 17), cette leçon est prévue pour être effectuée, en une seule séance de cours d'une heure trente minutes, dans la 13^{ème} semaine de l'année scolaire (voir progression en annexe), soit dans la 1^{ère} semaine du mois de janvier.

Pour réaliser son cours l'enseignant élabore une fiche de cours en s'appuyant sur les prescriptions du programme et les recommandations du guide d'exécution. En général, il prévoit, après le titre de la leçon, un sous-titre pour chaque habileté à installer. Pour une habileté donnée, il y a le plus souvent dans le plan élaboré pour la leçon à dispenser, une partie « *définition* », une partie « *expérience et observation* », et une partie « *conclusion* ». C'est dans la partie « *expérience et observation* » que l'enseignant recourt, si possible, au matériel physique pour faire ou faire faire l'expérience visée. Nous présentons, dans l'encadré 1, les habiletés et les contenus d'apprentissage de la leçon 3, à faire acquérir aux élèves de la classe de 4^{ème}, tels que donnés dans le programme éducatif et guide d'exécution du programme de la classe.

EXEMPLE DE SITUATION : Au cours d'une séance de Travaux Pratiques, les élèves de la classe de 4ème7 du Lycée Moderne de Grand-Lahou disposent de générateurs de tension alternative. Les fiches techniques de ces générateurs sont introuvables. Les élèves veulent en élaborer. Ils entreprennent alors de visualiser à l'oscilloscope les tensions aux bornes des générateurs et de déterminer leurs caractéristiques.

Tableau des habiletés et des contenus (MENET-FP, 2014, p. 11)

HABILETES	CONTENUS
Visualiser	Une tension alternative sinusoïdale
Définir	<ul style="list-style-type: none"> • une tension alternative sinusoïdale. • la période d'une tension alternative. • la fréquence d'une tension alternative
Déterminer	les caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale (période, fréquence, valeurs maximale et efficace de la tension).
Utiliser	les relations : $N = \frac{1}{T}$ et $U_{\text{eff}} = \frac{U_m}{1,41}$

(Ci-dessous les recommandations du guide d'exécution) (MENET-FP, 2014, p. 25)

CONTENUS	CONSIGNES POUR CONDUIRE LES ACTIVITES	TECHNIQUES PEDAGOGIQUES	MOYENS ET SUPPORTS DIDACTIQUES
Visualisation d'une tension alternative sinusoïdale	Visualiser la tension alternative sinusoïdale aux bornes d'un générateur délivrant une tension alternative sinusoïdale à l'oscilloscope.	Expérimentation	Oscilloscope Générateur de tension alternative Fils de connexion Oscillogramme sur planche Voltmètre Multimètre Transformateur
Définition de : - la période d'une tension alternative - la fréquence d'une tension alternative	<ul style="list-style-type: none"> • Donner les définitions des grandeurs physiques : - période d'une tension alternative ; - fréquence d'une tension alternative ; • Donner les unités légales de ces grandeurs physiques. 	Questions-réponses	
Caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les caractéristiques de la tension alternative sinusoïdale à partir la tension visualisée. • Faire déterminer la valeur maximale U_m de la tension alternative sinusoïdale. • Faire mesurer la valeur efficace U_{eff} de la tension à l'aide d'un voltmètre. • Faire établir la relation entre U_m et U_{eff}. • Faire déterminer la période T. • Donner la relation entre T et N. • Faire calculer la fréquence N. <p><i>NB: l'étude pourra être menée avec la tension du secteur mais le professeur prendra toutes les précautions utiles (utilisation d'un transformateur en abaisseur de tension) pour ne pas exposer les apprenants(es) aux risques du courant du secteur.</i></p>	Expérimentation Exploitation Questions-réponses	

Voyons à présent la méthodologie que nous envisageons d'utiliser pour notre recherche et que nous avons testée.

5.1.3 Méthodologie de la pré-étude

5.1.3.1 Construction de notre méthodologie de recherche

Nous avons construit notre méthodologie de recherche en nous inspirant des travaux de Zietsman & Hewson (1986), Jimoyiannis & Komis (2001), Kollöffel & Jong (2013) ainsi que du constat général, tiré de l'état de l'art, selon lequel dans presque tous les travaux que nous avons lu, excepté ceux de Rutten et al. (2015) en classe entière, les élèves manipulent la simulation étudiée. Mais aussi, en partant de l'idée que l'émergence de caractéristiques individuelles pourrait favoriser l'intégration des TIC dans la pratique pédagogique (Karsenti, Peraya, & Viens, 2002, p. 466).

Il faut rappeler qu'en vue de déceler, en Afrique du Sud, chez 13 élèves et 12 étudiants des conceptions fausses concernant le concept de vitesse Zietsman et Hewson (1986) ont eu recours à deux tests : l'ADT (Apparatus Diagnostic test), et le MC.DT (Micro-Computer Diagnostic Test), incorporé dans un simulateur de remédiation de conceptions fausses, le MC.RS (Micro-Computer Remedial Sequences). L'ADT est réalisé à partir de l'observation directe de l'apprenant en activité, soumis à ce test et à un entretien avec le chercheur pendant le déroulement du test. Le second test, le MC.DT, a lieu sur l'ordinateur, à travers le simulateur MC.RS dont le rôle est d'aider à remédier aux idées fausses, d'où son nom. Ce qui nous a intéressés dans cette méthodologie, et dont nous nous sommes inspirés, vue la très courte durée dont nous disposons pour la réalisation de cette pré-étude, c'est le mode de désignation des participants après la 1^{ère} phase de désignation des participants au lancement. Au lancement, tous les 25 élèves ont été soumis à l'ADT. À l'issue de ce premier test, 2 groupes ont été constitués, un groupe expérimental, qui va utiliser plus tard le MC.DT, et un groupe témoin, groupe ayant déjà utilisé l'ADT. Ensuite, l'expérimentation va se poursuivre avec le groupe expérimental seulement. Et après chaque test, seuls les élèves ayant encore des conceptions fausses qui sont retenus pour un autre passage sur le MC.DT à travers le simulateur MC.RS, jusqu'à épuisement de l'échantillon. C'est une sorte de tirage sans remise. C'est cette idée, de pouvoir travailler avec un même et seul groupe, et aussi et surtout l'idée de remédiation, qui a retenu notre attention.

S'agissant du travail de Jimoyiannis & Komis (2001), ce qui nous a intéressé, c'est le modèle d'activités données pour évaluer les conceptions des élèves à travers leurs réponses aux tâches proposées. Ils ont adopté une échelle de 4 catégories de réponses : réponse effective/efficace (E), Idée fausse (M), réponse diverses (D), et réponses inefficace (I). Les questions proposées dans les tâches étaient ouvertes dans le questionnaire administré aux élèves. L'élève a donc été invité à exprimer son idée en la matérialisant par des mots. Nous avons trouvé cette technique intéressante et efficace pour déceler réellement les conceptions des élèves. En effet, comme le dit Perraudon (2006, p. 68), un élève peut bien réussir un travail sans pour autant avoir compris le savoir qui était en jeu. Et en science, principalement en physique, cela est courant ; les élèves peuvent manipuler des formules, réussir des calculs sans

pouvoir leur donner un sens concret, dans le monde matériel (Buty, 2003, p. s44). Selon Perraudau, « *la compréhension nécessite une lucidité, une conscience de l'activité engagée. La prise de conscience [est] souvent facilitée par la mise en mots des procédures [...]* » (Perraudau, 2006, p. 68). Et, ajoute-t-il, « *la conscience vient de l'action du sujet et de la représentation qu'il s'en est construite* » (ibid., p. 68). C'est une verbalisation écrite qui favorise le processus de compréhension par interprétation (Musial et al., 2012, p. 5). Nous nous sommes donc inspirés des tâches proposées par (Jimoyiannis & Komis, 2001) pour élaborer les nôtre.

Les travaux de Kollöffel & Jong (2013) nous ont aidé à définir des modalités d'utilisation du simulateur d'oscilloscope. Dans leur étude, ils ont comparé 3 modalités d'utilisation de la simulation, c'est-à-dire, 3 situations d'enseignement : situation d'enseignement avec le matériel seul, situation d'enseignement avec la simulation informatique seule, situation d'enseignement avec les deux (matériel réel + simulation informatique). Ainsi, nous avons cherché à comparer également, 3 situations d'enseignement : situation d'enseignement en classe entière sans simulateur d'oscilloscope, situation d'enseignement en classe entière utilisant le simulateur d'oscilloscope, avec vidéoprojecteur, et situation d'enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope en salle informatique avec vidéoprojecteur et avec un élève par ordinateur. Sur chaque ordinateur, l'élève devait manipuler le simulateur sous le contrôle de l'enseignant.

5.1.3.2 Terrain, participants, période, objectif et questions de recherche de la pré-étude

Notre pré-étude a eu lieu dans un établissement d'enseignement secondaire général public (les 24 et 25 février 2016) et à l'École normale supérieure (ENS) d'Abidjan (Côte d'Ivoire) (le 26 février 2016). Un enseignant stagiaire de physique-chimie et ses 36 élèves, d'une classe de 4^{ème}, ont volontairement accepté de participer à cette pré-étude. À l'ENS, elle a eu lieu dans la salle Informatique dédiée à la bibliothèque numérique, avec un échantillon de 10 élèves, choisi au hasard parmi les 36 élèves.

L'objectif visé par cette pré-étude était d'analyser la pertinence de notre méthodologie, et voir si, par sa mise en œuvre, elle permettait d'évaluer l'impact de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope dans les processus d'enseignement apprentissage liés respectivement aux situations décrites plus haut, de manière valide. Comme nous l'avons indiqué dans la section 5.1.2.3, l'expérimentation a porté sur la leçon 3 d'électricité intitulée « *Tension alternative sinusoïdale* ». En général, dans cette leçon, il s'agit d'étudier, en une seule séance, les caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale, c'est-à-dire, la période (T), la fréquence (N), la valeur maximale (U_m) et la valeur efficace (U_{eff}) de cette tension. Nous avons donc, lors de la pré-étude, mis à l'étude l'ensemble de ces caractéristiques.

Selon les recommandations du guide d'exécution du programme d'enseignement officiel de physique-chimie 4^{ème} (voir *Encadré 1*), l'enseignant doit faire visualiser, à l'oscilloscope, une tension alternative sinusoïdale aux bornes d'un générateur délivrant une tension alternative sinusoïdale, faire identifier les caractéristiques de cette tension, faire déterminer la valeur maximale de la tension. La technique pédagogique recommandée est l'expérimentation. Malheureusement, à l'instar de la plupart des pays d'Afrique subsaharienne

(Rabat-UNESCO, 1962, Dakar-UNESCO, 1980, Tachou, 2003,) cités par Demba (2013, p. 35) et (Gumisai, 2007)⁴⁷, les laboratoires scolaires en Côte d'Ivoire manquent de matériel d'expérimentation, comme c'est le cas, en ce qui concerne les oscilloscopes. Nous avons donc jugé opportun de recourir à un simulateur d'oscilloscope.

Ainsi, la question générale de recherche, et les questions spécifiques que nous nous sommes proposé de traiter dans cette pré-étude étaient les suivantes : Un enseignement utilisant un simulateur d'oscilloscope, permet-il aux élèves de faire des mises en relation des caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale avec les objets et évènements du quotidien ? De manière plus spécifique :

- *Quelles difficultés de compréhension des concepts de période, fréquence, valeur maximale et valeur efficace d'une tension alternative sinusoïdale les élèves rencontrent-ils ?*
- *Les fonctionnalités du simulateur d'oscilloscope permettent-ils aux élèves de faire des mises en relation des concepts étudiés avec les évènements et/ou les objets du monde physique ?*
- *L'utilisation du simulateur d'oscilloscope dans les tâches proposées ainsi que les discours et les gestes de l'enseignant favorisent-ils la construction du sens des concepts ?*
- *L'utilisation du simulateur d'oscilloscope, dans les tâches d'apprentissage proposées, modifie-t-elle les représentations ou les concepts des élèves ?*
- *Existe-t-il une différence dans l'apprentissage des caractéristiques de la tension alternative sinusoïdale entre un enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope et un enseignement n'utilisant pas le simulateur d'oscilloscope ?*

L'objectif général de la pré-étude était donc, dans le cadre du test de la méthodologie que nous avons construite, de déterminer des éléments de connaissance qui permettraient de justifier le rôle joué par le simulateur d'oscilloscope dans la compréhension des caractéristiques étudiées.

5.1.3.3 Instruments et procédure utilisés dans la pré-étude

Pour la réalisation de l'expérimentation en pré-étude, dans la salle de classe de l'établissement secondaire de notre terrain et dans la salle informatique de l'ENS d'Abidjan, nous avons eu recours à un ensemble d'instruments : un simulateur d'oscilloscope, la Plateforme de formation à distance *Espace.sandbox-jp.fr* du laboratoire Techedu de l'Université de Cergy-Pontoise, un routeur et des Clés wifi, un abonnement pour la connexion Internet, deux caméras, un ordinateur portable, un vidéoprojecteur, un écran de projection, et des câbles pour la connexion des équipements.

⁴⁷ ONU-Afrique Renouveau, www.un.org/AR.

S'agissant du simulateur d'oscilloscope, nous avons choisi, sur Internet, le simulateur *Oscilloscope AC/DC* associé à un générateur de basses fréquences (GBF), de la société eduMedia⁴⁸, bien que « payant », par rapport au simulateur libre de Serge Lagier, *Oscillo v.3.5-Mode libre*. Nous avons fait le choix du premier simulateur en raison de ses caractéristiques 3D, de ses affordances et de son acceptabilité au sens de Tricot et al. (2003, p. 396). En effet, contrairement au premier simulateur, le deuxième simulateur, en 2D, réfère explicitement à la désignation de la société de distribution de l'Électricité De France (EDF). Une désignation qui n'est pas celle de la Côte d'Ivoire, la Compagnie Ivoirienne d'Électricité ou CIE. Nous évitons ainsi un problème d'acceptabilité du simulateur, par les acteurs, en tant qu'une ressource didactique également appropriée au programme éducatif ivoirien. De plus, nous avons trouvé le premier plus ludique et plus immersif (Tyndiuk, 2005, p. 19). La figure 5 présente le simulateur que nous avons utilisé pour notre recherche.

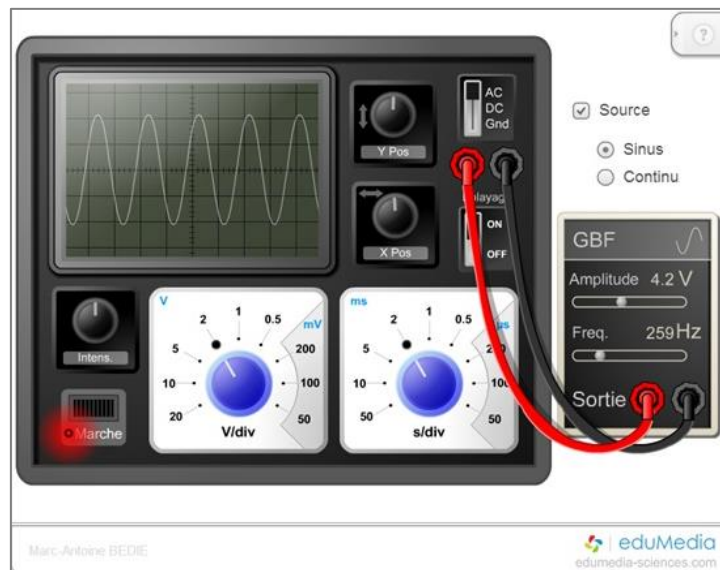


Figure 5. Le simulateur d'oscilloscope et de générateur de basse fréquence (GBF) utilisé pour l'expérimentation

Les objets interactifs du dispositif virtuel sont présentés ci-dessous ainsi que leur rôle.

Bouton « Marche » :	Permet de mettre en marche l'oscilloscope virtuel.
Bouton « Intens. » :	Permet de régler l'intensité de la luminosité de l'écran.
Écran quadrillé :	Permet l'affichage du graphe de la tension alternative sinusoïdale. Il comporte un axe horizontal (axe des X) sur lequel on lit la valeur du temps en milliseconde (ms), un axe vertical (axe des Y) sur lequel on lit la valeur de la tension en volt (V). Chaque axe porte plusieurs divisions.
Bouton « V/div » :	Permet de choisir la valeur de la tension en volt (V) pour 1 division. C'est le calibre de la tension (V/div).
Bouton « s/div » :	Permet de choisir la valeur du temps en milliseconde (ms) pour 1 division. C'est le calibre de temps (s/div).
Bouton « Y. Pos » :	Permet de régler la position verticale du spot ou du graphe.
Bouton « X. Pos » :	Permet de régler la position horizontale du spot ou du graphe.
Sélecteur « AC, DC, Gnd » :	Permet de sélectionner le mode de branchement correspondant à la source de tension voulue.
Entrée Rouge-Noir (de l'oscilloscope) :	Correspond aux bornes d'entrée de la tension dans l'oscilloscope virtuel.
Câble Rouge :	Câble de connexion des bornes d'entrée de l'oscilloscope et du GBF.

⁴⁸ Vue pour la première fois au salon EDUCATEC/EDUCATICE en novembre 2007, Paris Place de Versailles.

Câble Noir :	Câble de connexion des bornes de sortie de l'oscilloscope et du GBF
Sélecteur « Balayage » :	Permet de faire mettre le spot en mouvement (ON) ou d'arrêter le mouvement du spot (OFF).
Case « Source » à cocher :	Permet de faire choisir la source de tension, « Sinus. » pour une source de tension sinusoïdale, « Continu » pour source de tension continue.
GBF:	Générateur de tension.
Curseur Amplitude (GBF):	Permet d'augmenter (en allant vers la droite) ou de réduire (en allant vers la gauche) l'amplitude de la tension.
Curseur Freq. (GBF):	Permet d'augmenter (en allant vers la droite) ou de réduire (en allant vers la gauche) la fréquence de la tension.

Tableau 5. Description des constituants du simulateur d'oscilloscope et de générateur de basses fréquences (GBF)

L'utilisation du simulateur AC/DC vise à faire comprendre aux élèves les caractéristiques de la tension alternative sinusoïdale. Le savoir à enseigner peut être analysé, selon la théorie de la modélisation de Tiberghien & Vince (2005, p. 7), à travers plusieurs facettes que le simulateur permet de voir. Le tableau 6 présente, dans le cas de notre étude, l'analyse des facettes des concepts étudiés, en relation avec le choix des registres sémiotiques associés. Ainsi, par analogie à ce que disent Tiberghien et Vince (2005, p. 12), la fréquence de la tension alternative sinusoïdale, par exemple, peut varier de manière qualitative (peut augmenter ou diminuer). Cette variation qualitative est une facette du concept de la fréquence qui se traduit sur le graphe de la tension alternative sinusoïdale, représenté dans un repère à deux axes (1 axe horizontal (x) et 1 axe vertical (y)), par l'augmentation ou la diminution du nombre de motifs élémentaires du graphe. On peut agir sur le curseur « Freq. » du GBF en le déplaçant soit vers l'adroite (augmentation) soit vers la gauche (diminution) (voir tableau 6). Une autre facette de cette fréquence, la grandeur physique, est représentée par la valeur affichée dynamiquement sur le GBF au niveau du curseur. Chaque facette d'un concept est donc représentée dans un registre sémiotique donné (ibid., p. 12).

Facettes de « Fréquence (N) »	Facettes de « Période (T) »	Facettes de « Tension maximale (U_m) »	Registre sémiotique associé
Grandeur qu'on peut faire évoluer suivant un axe.	Grandeur qu'on peut faire évoluer suivant un axe.	Grandeur qu'on peut faire évoluer suivant un axe.	Graphe
Grandeur physique avec valeur	Grandeur physique avec valeur	Grandeur physique avec valeur	Valeurs numériques (+unité)
Augmentation ou diminution du nombre de motifs élémentaires du graphe de la tension (à observer)	Allongement ou raccourcissement du segment de droite sur l'axe x représentant le début et la fin d'un motif élémentaire du graphe de la tension (à observer)	Moitié de la distance, suivant l'axe y, entre les 2 sommets d'un motif élémentaire du graphe de la tension alternative sinusoïdale	Registre animé : mouvement de va-et-vient (augmentation-diminution) éléments du graphe de la tension alternative sinusoïdale.
Concept pouvant être défini en langue naturelle	Concept pouvant être défini en langue naturelle	Concept pouvant être défini en langue naturelle	Langue naturelle

Tableau 6. Facettes des concepts de fréquence, de période et de tension maximale et des registres associés (tableau inspiré de Tiberghien & Vince (2005, p. 12)).

Le tableau 7 présente les actions que l'utilisateur exécute sur le simulateur d'oscilloscope en lien avec les concepts étudiés.

Bouton – curseur / Actions permises	Registre sémiotique	Objet et concept en jeu
Graphe / modifications de fréquence, période et tension maximale	Graphe	Fréquence (suivant axe X) Période (axe X) Tension maximale (axe Y)
Variation des grandeurs / déplacement des curseurs « Freq. » et « Amplitude » du GBF ; rotation des boutons V/div (calibre de la tension) et s/div (balayage, période)	Expression algébrique + unité	Fréquences Tension maximale Période

Tableau 7. Différentes représentations des concepts avec le simulateur Oscilloscope AC/DC associé à un GBF (inspiré du cas du logiciel SimulaSon étudié par Tiberghien & Vince (2005, p. 12)).

Comme nous pouvons le voir, le tableau 6 présente les 4 facettes des concepts de fréquence, période et tension maximale. Chaque facette est associée à un registre sémiotique. Nous donnons, ci-après, le cas de la fréquence et de la période :

- La définition du concept en langue naturelle (la langue d'enseignement) :

Fréquence : La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se reproduit pendant une seconde. En d'autres termes, la fréquence d'une tension sinusoïdale est le nombre de motifs élémentaires de la tension qui se répètent pendant une seconde.

Période : la période d'une tension sinusoïdale est la plus courte durée au cours de laquelle un phénomène se reproduit identique à lui-même. Elle correspond à la durée d'un motif élémentaire.

- La représentation du concept à l'aide d'un graphe :

Fréquence : l'ensemble des motifs élémentaires sur une longueur suivant l'axe X correspondant à un temps d'une seconde.

Période : la distance séparant le début et la fin d'un motif élémentaire suivant l'axe X.

- La représentation du concept à l'aide d'une valeur suivie d'une unité : une grandeur physique

Fréquence : la valeur de la grandeur correspondant à fréquence suivie de son unité, l'Hertz. La fréquence s'exprime en Hertz (Hz).

Période : la valeur de la grandeur correspondant à la période suivie d'une unité, la seconde. La période d'une tension alternative s'exprime en seconde (s).

- L'association du concept à un évènement physique

Fréquence : l'évènement associé à la fréquence est la rapidité d'un mouvement d'aller-retour, un mouvement de va-et-vient. Plus le mouvement est rapide, plus la fréquence est grande ou élevée. Cela correspond à plus de motifs élémentaires.

Période : l'évènement associé à la période est le temps d'apparition et disparition du phénomène. Plus le phénomène apparaît et disparaît vite, plus la période est courte.

S'agissant de la plateforme *Espace.sandbox-jp.fr*, elle nous a servi à héberger le simulateur *Oscilloscope AC/DC*. En effet, selon notre approche méthodologique, nous avons envisagé de faire utiliser le simulateur *Oscilloscope AC/DC*, également par les élèves, dans une

sorte de classe inversée mais pas au sens propre de la classe inversée c'est-à-dire, pas dans le sens où, comme le disent Guilbault & Viau-Guay (2017, pp. 2-3), l'élève consulte tous les contenus du cours, en ligne, avant de venir en classe ; la classe étant exclusivement réservée aux exercices pratiques, à la réalisation de projets, à des échanges entre lui et l'enseignant, et entre lui et ses pairs. Ce que nous voulions, était que, à travers une manipulation anticipée, chez lui à la maison ou dans un autre lieu que l'école, la compréhension des concepts enseignés soit facilitée, pour lui, pendant le cours. Et que, lors de la manipulation du simulateur par l'enseignant pour la construction du sens des concepts en jeu, il puisse poser aisément des questions de compréhension.

Dans notre modèle, l'enseignant livre tous les contenus du cours en classe, au moment même où le cours a lieu. Les élèves n'étant pas tous en capacité d'avoir une connexion Internet pour accéder au contenu du cours avant, l'option classe inversée intégrale ne pouvait pas être mise en œuvre par souci d'égalité ou d'équité pour tous les élèves. Ne disposant que d'une licence d'utilisation personnelle, acquise par abonnement, nous avons dû prendre contact, par téléphone, avec la société eduMedia afin de savoir si, d'une part, nous pouvions utiliser leur simulateur dans le cadre de notre recherche, et d'autre part, comment faire, en cas d'autorisation, pour que les élèves puissent également y avoir accès à distance. La société eduMedia nous a donné son accord à la condition que l'application *Oscilloscope AC/DC* soit installée sur un serveur sécurisé et accessible grâce à des paramètres de connexion (identifiant + mot de passe).

Nous nous sommes alors tournés vers la branche technologique de notre laboratoire de recherche, *TecheduLab* qui a installé le simulateur *Oscilloscope AC/DC* sur la plateforme de formation *Espace.sandbox-jp.fr* de l'Université de Cergy-Pontoise, hébergée sur Internet. La plateforme *Espace.sandbox-jp.fr* est une plateforme-test de formation à distance, conçue et développée par *TecheduLab* pour permettre aux étudiants, en recherche, de tester des modules de formation à distance. C'est une instance de la plateforme *e-space.fr*. Elle comporte les mêmes commodités qu'*e-space.fr*, avec une métaphore de : salle d'accueil, bureau étudiant, salle des professeurs, foyer, salle des archives, et des sessions donnant accès à des salles de cours.

À l'intérieur de la salle de cours, il y a une étagère « documents partagés » permettant de déposer des documents sous forme de fichiers numériques. Mais il y a également bien d'autres objets, tels que des objets pour envoyer ou recevoir des mails, échanger en groupe en temps réel, entre étudiants ou entre étudiants et enseignant, au moyen d'un chat, poster un sujet de discussion sur un forum, etc. Nous avons donc créé sur la plateforme *Espace.sandbox-jp.fr* une session dénommée « *GR - 4ème A - Apprentissage des caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4ème* », puis nous y avons déposé l'*Oscilloscope AC/DC* afin que les participants à l'expérimentation (enseignant et élèves) puissent y accéder à distance. Les figures 6 et 7 montrent les liens d'accès à la session que nous avons créée, puis au lien d'accès au simulateur *Oscilloscope AC/DC*.

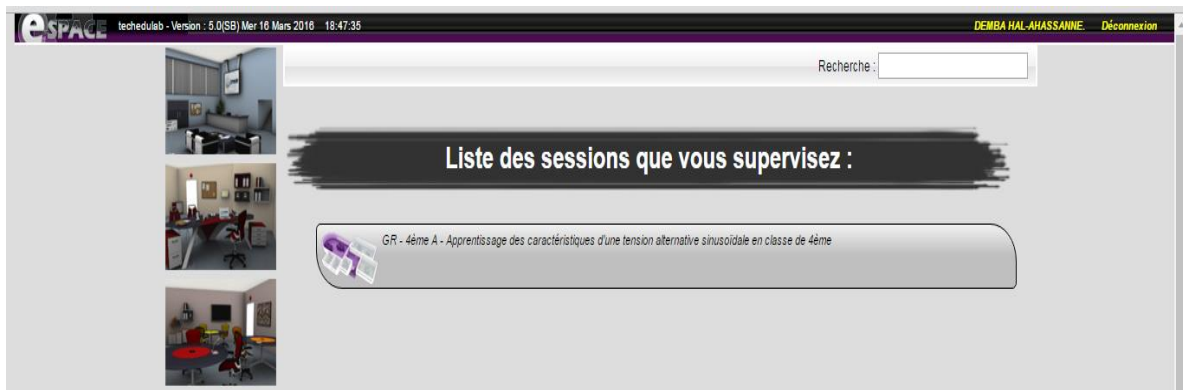


Figure 6. Lien d'accès à la session « GR-4èmeA-Apprentissage des caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4ème »

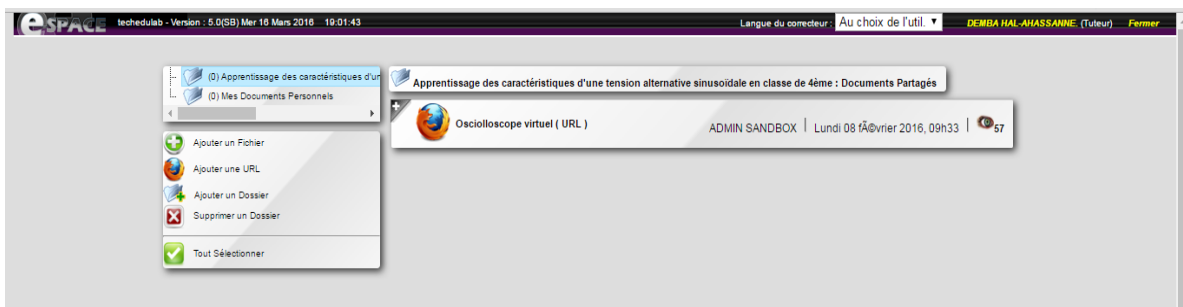


Figure 7. Lien d'accès au simulateur d'oscilloscope

Comme nous l'expliqué dans la session 1.3.1.1 « *qu'est-ce que les TIC* », l'accès à l'Internet se fait par l'intermédiaire d'un FAI (fournisseur d'accès à Internet), chez qui il faut payer un droit d'accès à Internet matérialisé par un abonnement Internet. Mais il faut aussi des équipements de connexion pour raccorder l'ordinateur de l'utilisateur au réseau Internet. Cet ordinateur doit disposer de carte réseau. Pour que, lors de l'expérimentation en classe, l'enseignant puisse accéder au simulateur *Oscilloscope AC/DC*, via son ordinateur portable, il nous a fallu acheter un routeur wifi, le *routeur 3G LTE CPE*, et souscrire à un abonnement Internet, l'établissement de l'expérimentation ne disposant pas de salle informatique dédiée aux élèves, ni de connexion à Internet. Dans la salle informatique de l'ENS, il y avait 12 ordinateurs de bureau. Aucun des 12 ordinateurs n'était équipé de carte réseau. La salle ne disposait pas non plus de connexion à Internet. Sur les 12 ordinateurs, nous en avons choisi 10 pour notre expérimentation parce que nous devons la faire avec 10 élèves dans la salle informatique. Pour que les 10 ordinateurs de bureau, choisis pour l'expérimentation, puissent accéder à Internet, via une carte réseau, nous avons dû les équiper de « cartes réseau wifi » à travers des clés wifi TP-Link, se présentant sous la forme de clés USB.

S'agissant de la procédure de mise en œuvre, nous avons demandé et obtenu du chef de l'établissement que notre expérimentation puisse se dérouler successivement sur trois jours. Le premier jour (le 24 février 2016), l'enseignant n'a pas pu faire le cours à cause d'une coupure généralisée d'électricité (dans le quartier où se trouve l'établissement). Finalement, il a fait un premier cours, en classe entière, le deuxième jour, dans la matinée du 25 février 2016, sans le simulateur d'oscilloscope, puis il a repris le même cours, dans l'après-midi du 25 février, avec le simulateur d'oscilloscope, en termes de remédiation. Le troisième jour (le 26 février 2016),

il a refait le même cours, avec le simulateur, dans la salle informatique de l'ENS, mais cette fois avec 10 élèves (05 filles, 05 garçons), sélectionnés au hasard parmi les 36 élèves. Les élèves ont été transportés, à l'ENS, par le car de transport du personnel de l'ENS.

Nous avons désigné par les lettres A, B, et C, les trois situations d'enseignement réalisées par l'enseignant stagiaire. Lors des situations d'enseignement B et C, avec le simulateur d'oscilloscope, l'enseignant s'est connecté, à partir de son ordinateur portable, à l'*Oscilloscope AC/DC*, via la plateforme *Espace.sandbox-jp.fr* à l'aide de ses paramètres de connexion. L'image du simulateur *Oscilloscope AC/DC* a été ensuite projetée sur un écran grâce à un vidéoprojecteur relié à l'ordinateur portable de l'enseignant. Les figures 8, 9 et 10 illustrent, respectivement, les trois situations.

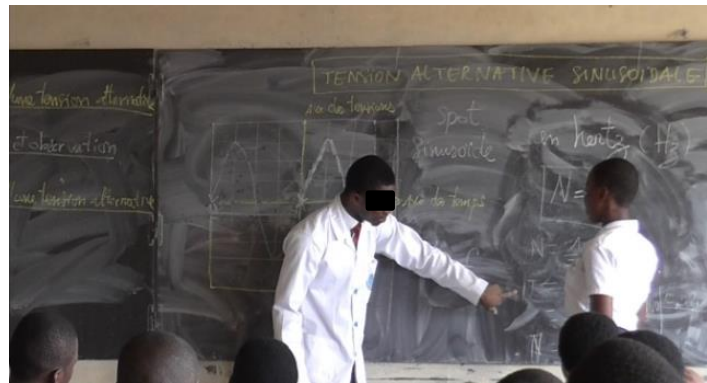


Figure 8. Enseignement sans simulateur d'oscilloscope en salle de classe (Situation A)

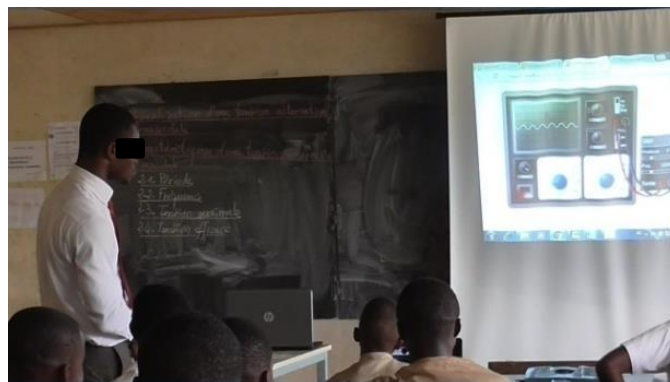
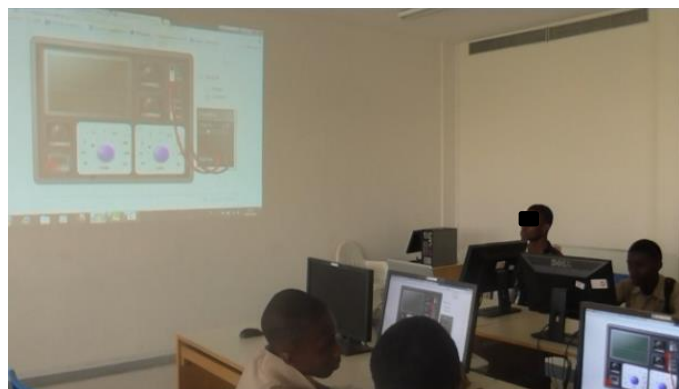


Figure 9. Enseignement avec simulateur d'oscilloscope en salle de classe (Situation B)



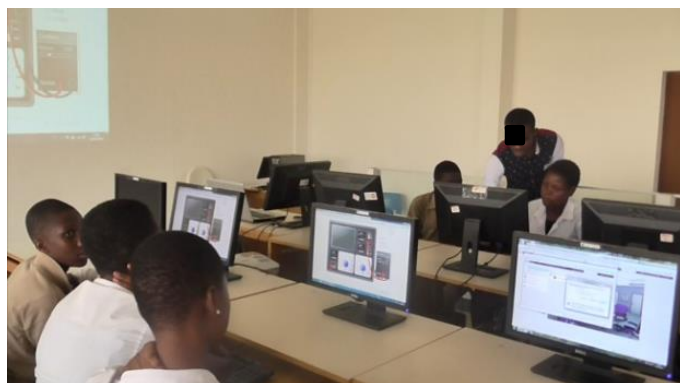


Figure 10. Enseignement avec simulateur d'oscilloscope en salle Informatique (Situation C)

5.1.3.4 Techniques de recueil des données lors de la pré-étude

Nous avons utilisé plusieurs techniques de recueil de données : le questionnaire, l'observation directe de classe en situation, l'entretien, et l'enregistrement de traces d'actions sur l'ordinateur pendant la manipulation du simulateur d'oscilloscope.

S'agissant de la technique du questionnaire, nous avons utilisé un plan pré-test/post-test, sous forme de questionnaire, pour évaluer l'évolution de la compréhension des concepts de *fréquence*, *période*, *tension maximale* et de *tension efficace* entre deux situations. Ainsi, dans notre approche de remédiation, nous avons considéré, après la situation A, le post-test de la situation A comme le pré-test de la situation B, puis le post-test de la situation B comme le pré-test de la situation C et enfin le dernier test comme le post-test de la situation C. Et les contenus des tests étaient toujours les mêmes.

Le premier jour (le 24 fév. 2016), nous avons administré deux questionnaires non standardisés ; d'abord un premier questionnaire, pendant 10 min, pour recueillir les informations générales sur les élèves participant à l'expérimentation (*sexe*, *âge*, *statut*, *expérience TIC*), puis un deuxième questionnaire, en guise de pré-test. Ce deuxième questionnaire comportait trois tâches, T1, T2, T3.

La première tâche (T1) avait pour but d'évaluer, dans un premier temps, la compréhension des élèves concernant les concepts de *tension continue*, *tension alternative*, *tension alternative sinusoïdale*, censés avoir été vus dans une leçon antérieure, puis dans un second temps, la compréhension des concepts de *fréquence*, *valeur maximale*, *valeur efficace*.

La deuxième tâche (T2), avait pour but d'évaluer la compréhension, par l'élève, des concepts étudiés, présentés selon différents registres sémiotiques (*langue naturelle*, *graphie*, *grandeur physique*).

La troisième tâche (T3) avait pour but de tester la capacité de l'élève à établir des liens entre les concepts enseignés et les événements du monde physique. La durée fixée pour chaque tâche était d'environ 10 minutes. Nous avons administré un troisième questionnaire le deuxième jour (le 25 fév. 2016), à la fin du cours sans simulateur (situation A), pendant 10 min, puis un quatrième, le dernier jour (26 févr. 2016), dans la matinée, à la fin du cours avec simulation en salle de classe (situation B), et enfin un cinquième et dernier questionnaire, dans l'après-midi, à la fin du cours avec simulateur en salle informatique (situation C).

S'agissant de l'observation de classe, elle a été réalisée pendant les trois séquences de cours. Le premier cours, en salle de classe sans le simulateur d'oscilloscope, a duré 55 min (de 08h à 8h55 GMT). Le deuxième cours, en salle de classe avec le simulateur d'oscilloscope a duré 1h15min (de 08h45 à 10h GMT), et le troisième et dernier cours, en salle informatique avec le simulateur, a duré 1h35min (de 14h10 à 15h45 GMT).

Toutes les séquences de cours ont été filmées par deux caméras, une caméra dirigée sur l'enseignant pour capter tous ses faits et gestes, afin de voir si ceux-ci favorisent la construction du sens des concepts à l'étude, et une caméra orientée vers les élèves, pour capter leurs comportements afin de voir s'ils s'intéressent au cours et y participent, car comme le disent Astolfi & Develay (2002, p. 65), « *la compréhension est quelque chose qui ne se transmet pas et qui ne peut s'opérer que moyennant la participation centrale de l'apprenant* ».

S'agissant de l'entretien, nous avons mené un entretien informel avec deux élèves, après le premier cours avec le simulateur d'oscilloscope. Le but de cet entretien était de recueillir leur sentiment sur l'utilisation d'un tel outil numérique dans l'enseignement de la physique-chimie. L'un d'eux a déclaré « ... avec ça on n'aura plus besoin de bosser la leçon à la maison, car ce qu'on a fait va rester en tête » et le second renchérit en disant « ce sera difficile d'oublier ».

S'agissant de l'enregistrement de l'écran de l'ordinateur, relatant les actions de l'enseignant pendant l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, nous avons installé le logiciel *Camtasia 8* sur l'ordinateur portable de l'enseignant. En plus des actions, le logiciel enregistre aussi la voix de l'enseignant pendant son discours. Nous avons lancé, dès le début de l'utilisation du simulateur, l'enregistreur des actions de l'enseignant. Cet enregistrement avait pour but de disposer de données permettant d'analyser la cohérence des actions de l'enseignant avec explications fournies pendant la manipulation du simulateur concernant les concepts étudiés afin de voir le simulateur a été bien utilisé ou pas pour faire comprendre les concepts. Malheureusement, par mégarde, l'enregistrement n'a pu être sauvegardé.

5.1.3.5 Méthodes de traitement et d'analyse des données recueillies lors de la pré-étude

S'agissant des questionnaires, nous avons mené deux types d'analyses, une analyse quantitative, et une analyse qualitative des réponses aux tâches T1, T2, et T3, proposées au pré-test et au post-test. Nous avons effectué deux types de traitement, un traitement quantitatif des données des questionnaires et un traitement qualitatif. Le traitement quantitatif a consisté à déterminer, à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2007, les fréquences des données concernant les réponses aux questions des questionnaires, tant pour les informations générales concernant les élèves, que pour les différentes catégories de réponses identifiées après une analyse de contenu des réponses-élèves aux questions ouvertes. Le traitement qualitatif a consisté à identifier, au moyen de la technique d'analyse de contenu (Wanlin, 2007 ; Bossé, 2012), de catégoriser les réponses-élèves selon les 4 catégories de réponses de (Jimoyiannis & Komis, 2001, p. 190) : réponse effective/efficace/valide (V), réponse diverse (D), idée fausses (F), et réponses inefficace (I).

A été considérée comme réponse valide (V), toute réponse correcte basée sur des modèles scientifiques c'est-à-dire faisant ressortir les éléments explicatifs scientifiquement

attendus ; par exemple : « *la période est la plus courte durée au cours de laquelle un phénomène se reproduit identique à lui-même* ». Une autre réponse scientifiquement correcte serait « *la période est l'inverse de la fréquence* ». Pour la fréquence, un exemple correcte serait « *la fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se reproduit pendant une seconde* ». Pour la catégorie *Réponse diverse (D)*, nous avons considéré toute réponse véhiculant une idée fausse ou une réponse correcte dont la justification est basée sur un raisonnement faux ou sur un raisonnement incomplet ou sur aucun raisonnement, comme, par exemple « *la fréquence est le nombre de motifs élémentaires* » (EL35). Ici, la réponse est incomplète. La catégorie *Réponse-Idee (F) fausse* est la catégorie des réponses dont le contexte dépend d'une idée fausse. Elle correspond aux réponses avec des éléments explicatifs non pertinents scientifiquement par rapport au sujet ou à l'objet de l'activité. Il s'agit, par exemple, d'une réponse qui contient deux ou plusieurs concepts totalement différents pour expliquer un même concept. En voici un exemple : « *la tension est l'énergie qui produit le courant électrique* » (EL3). La catégorie *Réponse inefficace (I)* traduit les cas où l'élève n'a donné aucune réponse à la question ou il a donné une réponse mais totalement impertinente, comme par exemple « *une tension continue est une tension qui ne s'arrête pas* » (EL4) ou « *[une tension électrique], c'est la pression de l'électricité sur l'appareil* » (EL2). Nous avons désigné les élèves par le code « EL » pour une question étiquette liée à l'anonymat des participants.

S'agissant de l'observation des séquences de cours, nous avons transcrit le contenu de l'enregistrement vidéo des cours réalisés en classe entière sans le simulateur d'oscilloscope et avec le simulateur d'oscilloscope, selon le modèle (Traverso, 2011). Puis nous avons analysé le contenu des transcrits selon la technique de l'analyse de contenu. Il faut préciser, qu'au moment où nous commençons la phase d'expérimentation en vraie grandeur, la transcription des vidéos de cours n'avait pas encore été faite. Nous expliquons en détail, dans la section concernant le traitement et l'analyse des données d'observation directe, la norme de transcription que nous avons utilisée.

5.1.4 Analyse critique de la méthodologie de la pré-étude et conclusion-bilan

L'objectif de la pré-étude était de tester notre méthodologie de recherche afin de savoir si elle pouvait nous permettre de mener à bien notre étude. Au regard des résultats obtenus du recueil des données et des tous premiers traitements de données, ainsi que du déroulement des activités de recherche, nous pouvons affirmer, sans risque, que cette méthodologie présente beaucoup de faiblesses. Cette faiblesse nous a même été relevée en comité de suivi de thèse. Les éléments que nous pointons sont le choix des participants du passage de la situation A à la situation B, de la situation B à la situation C, le rythme des activités de recherche, le nombre de concepts à l'étude, et les types de tâches données aux élèves.

5.1.4.1 Du rythme de l'expérimentation, et du choix des participants

Les résultats montrent, d'une manière générale, en lien avec l'ensemble des registres sémiotiques, qu'avant la situation A, presque tous les élèves ont présenté des difficultés de

compréhension des concepts de *tension électrique*, *tension continue*, *tension alternative sinusoïdale*, *fréquence*, *période*, et *valeur maximale* d'une tension alternative sinusoïdale. Après la situation A, même s'il y a eu une légère évolution dans la compréhension de ces concepts, les difficultés ont demeuré jusqu'à la fin de la situation C. Il faut noter qu'en plus des concepts cités plus haut, nous avons complété le questionnaire par le concept de *spot*, abordé par l'enseignant lors de la première séquence de cours sans simulateur. Et le concept de *spot* représentait, pour nous, un bon moyen de repérer véritablement le rôle du simulateur, à travers le défilement du spot, qu'il est impossible de visualiser sans oscilloscope.

Ces difficultés de compréhension constatées pourraient relever d'une difficulté de changement conceptuel au niveau des élèves. Vu le rythme auquel les activités se sont succédées, la persistance de ces difficultés au changement conceptuel nous semble normale, car, comme le dit Bêty (2010, p. 6), le changement conceptuel est une activité cognitive qui exige du temps et qui s'opère de manière graduelle (Bêty, 2010 ; Jimoyiannis & Komis, 2001). Or le même groupe de participants a été soumis, de manière intense, au même test deux fois successivement le premier jour de cours (le matin et l'après du 25 fév. 2016), et une troisième fois le deuxième jour de cours (le 26 fév. 2016). Ces activités, sans pause, ont dues être défavorisées par une baisse de l'efficacité des conduites attentionnelles, pour employer les termes de Perraudau (Perraudau, 2006, p. 67) sur l'importance de l'attention dans l'apprentissage, tel que nous l'avons expliqué dans la section (1.2.2.3).

S'agissant de la reconduite, à chaque fois, du même groupe d'élèves, nous cherchions à reproduire, dans une même approche de remédiation, le modèle de Zietsman et Hewson (1986). Cependant, un détail très important nous a échappé, rendant du coup notre méthodologie inefficace. En effet, dans l'étude de Zietsman et Hewson (1986), après le premier test avec les 25 participants (12 élèves et 13 étudiants), deux groupes ont été créés, un groupe expérimental, constitué par les participants qui avaient le plus de conceptions erronées, et un groupe témoin constitué des autres participants. Et le passage à nouveau au test, MC.DT avec le MC.RS, du groupe expérimental ne se faisait qu'avec un nouveau groupe expérimental constitué que des participants qui avaient encore des conceptions erronées du concept de vitesse. Alors que dans notre cas, nous avons reconduit systématiquement le groupe des participants, sauf pour la situation C, où nous avons sélectionné 10 élèves au hasard. Mais ce choix n'était pas en lien avec les élèves qui avaient encore des conceptions fausses par rapport aux concepts qui à l'étude (*tension électrique*, *tension continue*, *tension alternative sinusoïdale*, *fréquence*, *période*, *valeur maximale*, et *spot*). Cette manière de procéder ne permet pas d'obtenir des données valides, comme que cela nous a été signifié par le comité de suivi de thèse

5.1.4.2 Du nombre de concepts étudiés et du traitement des données

D'autre part, nous avons constaté, lors du traitement de nos données, concept après concept, que le nombre de concepts étudiés était tel que le temps de traitement, dans le cadre de notre recherche, était devenu trop long. C'est aussi le cas s'agissant du type de tâches proposées aux élèves afin de faire émerger leurs conceptions naïves. Certes, la technique de la verbalisation écrite (Musial et al., 2012, p. 5) s'avère intéressante et efficace pour capter les idées propres des élèves mais il aurait fallu plus d'un codeur, et non le chercheur seul (que nous

sommes), pour encoder les réponses-élèves afin d'être sûr que les catégories dans lesquelles chaque réponse-élève a été affectée, est indiscutablement la bonne. De plus, si pour 36 élèves x 3, plus 10 élèves x 1, le traitement (par nous seul) a été long mais relativement supportable, malgré le nombre de questions ouvertes, pour plus de 600 élèves cela demandera une quantité énorme de travail et une forte mobilisation de codeurs.

5.1.4.3 Des tâches d'apprentissage et de la mise en œuvre de la méthodologie

Enfin, des difficultés d'autres natures ont été rencontrées dans la mise en œuvre de notre méthodologie. Par exemple, au lancement de la pré-étude, le questionnaire donné en guise de pré-test, sur la compréhension des concepts, comportait 6 pages, en raison de 2 pages par tâche T1, T2, T3. Initialement ensemble, les trois tâches ont été dissociées à la dernière minute, avant la passation du questionnaire, puis distribuées l'une après l'autre, avec un écart de 10 minutes entre les tâches. Ce qui a entraîné une énorme perte de temps dans la réalisation du test. En plus, le questionnaire n'a pas été élaboré avec la participation de l'enseignant ni testé avant l'expérimentation, beaucoup de temps passé, lors du traitement, à organiser les questionnaires détachés et à retrouver l'élève correspondant. Pour l'expérimentation dans la salle informatique le câble du vidéoprojecteur était incompatible avec le port du pc de l'ordinateur de l'enseignant engendrant une perte de 30 min pour le remplacement du pc ; il n'y avait pas de support pour le vidéoprojecteur ; la luminosité du vidéoprojecteur était faible dans la salle ; à la base d'un problème technique, le simulateur *Oscilloscope AC/DC* n'a pu s'afficher sur 2 postes-élèves sur 10, les élèves avaient faim, une élève ayant déclaré, « *monsieur, on a faim hein, on n'a même pas mangé !* » ; l'enseignant et les élèves étaient fatigués après le cours du matin, etc.). Or, l'un des facteurs importants, pour que l'élève soit motivé pour l'apprentissage, c'est au moins la satisfaction de ses besoins physiologiques tels que manger, boire, dormir, se reposer, etc., selon la théorie de la hiérarchie des besoins de Maslow (1943) (Boidou, 2019, pp. 92-93).

5.1.4.4 Conclusion bilan de la pré-étude

En conclusion, la méthodologie mise en œuvre pendant la pré-étude a présenté plusieurs insuffisances. Elle ne pouvait donc pas être utilisée en l'état pour notre étude. Nous nous sommes donc tournés vers la revue de la littérature afin d'y apporter quelques modifications. Cela nous a conduits à adopter une nouvelle méthodologie en modifiant celle de la pré-étude, par exemple, au niveau de la constitution des groupes participant à l'étude, de l'élaboration des outils de recueil des données, et du modèle de questionnaire pré-test/post-test. Nous avons également revu nos hypothèses, et questions de recherche afférentes au regard de l'état de la question. Nous présentons, dans la section suivante, notre nouvelle méthodologie de recherche pour l'expérimentation en vraie grandeur.

5.2 Méthodologie de la recherche en vraie grandeur

5.2.1 Approche méthodologique, type de la recherche et matériel pour l'expérimentation

5.2.1.1 Contexte de l'étude en vraie grandeur

Le contexte de notre étude est le contexte naturel de l'enseignement secondaire général de la Côte d'Ivoire. Cependant, le fait que, dans ce contexte, la leçon de notre étude de cas se déroule une seule fois, en une seule séance dans l'année scolaire, nous avons été obligés de multiplier le nombre de cas afin d'observer plusieurs situations d'enseignement-apprentissage utilisant le simulateur d'oscilloscope, la leçon ne se tenant pas à la même heure, pour toutes les classes de 4^{ème} dans tous les établissements secondaires. Cela nous a donc amenés à réaliser une étude multi-cas, multi-sites (Grimes & Warschauer, 2008, p. 308).

5.2.1.2 Orientation méthodologique et type de recherche

Nous rappelons que, nous n'avons pas trouvé de données dans la littérature scientifique sur la manière d'utiliser un simulateur d'oscilloscope en classe entière, pour l'enseignement de la physique dans un contexte africain semblable à celui de l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire. De plus, nous n'enseignons pas dans le secondaire, mais plutôt dans le supérieur. Ce qui fait que nous ne maîtrisons pas bien le contexte de l'enseignement de la physique dans le secondaire. Ces deux contraintes majeures (absence de données de recherche en contexte ouest-africain et la non maîtrise du contexte de l'enseignement au secondaire) nous ont conduits à mener une recherche exploratoire.

D'après nos questions et hypothèses de recherche, notre étude s'intéresse à la fois à des données qualitatives, telles que les scores aux tests de recherche, les gains relatifs d'apprentissage, etc., et aux données quantitatives, comme par exemple, les contenus des déclarations des élèves et des enseignants, pour leurs perceptions. Ces considérations font de notre recherche, une recherche exploratoire mixte, c'est à la dire, une recherche exploratoire à la fois qualitative et quantitative.

En tenant compte du caractère exploratoire de notre étude, nous avons laissé libre cours aux enseignants d'utiliser le simulateur d'oscilloscope dans leurs cours, comme bon leur semblait, après, bien sûr, les avoir formés à l'utilisation des fonctionnalités dudit simulateur. Nous leur avons également précisé les concepts qui nous intéressaient dans le cadre de cette recherche, en l'occurrence ceux de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. L'idée de laisser la liberté d'utilisation du simulateur aux enseignants, dans un contexte naturel, a été motivée par le fait de vouloir, non seulement assurer une dimension écologique à notre travail, mais aussi et surtout de voir émerger des caractéristiques individuelles pouvant favoriser l'intégration pédagogique d'un tel outil TIC (Karsenti, Peraya, & Viens, 2002, p. 466) pour l'enseignement de ces concepts dans un contexte similaire au contexte ivoirien.

5.2.1.3 Matériel mobilisé pour l'expérimentation en vraie grandeur

Pour réaliser l'expérimentation en vraie grandeur, en contexte naturel, nous avons mobilisé pratiquement les mêmes instruments que lors de la pré-étude. Il s'agit, notamment, du simulateur *Oscilloscope AC/AC*, un ordinateur portable, un vidéoprojecteur, un support de vidéoprojecteur, réglable verticalement, en hauteur, deux caméras numériques, un écran de projection, de surface plane et rigide, fabriqué pour l'étude, de longs câbles pour la connexion du vidéoprojecteur à l'ordinateur portable, ainsi qu'aux prises du secteur électrique, des rallonges multiprises, de très grands rideaux noirs, en prévision d'une forte lumière du jour dans la salle de classe, réduisant la luminescence du vidéoprojecteur (voir annexe), et enfin, la plateforme de formation à distance, *Espace.sandbox-jp.fr* du laboratoire et le routeur wifi. Nous avons eu également recours aux services d'un jeune technicien en audiovisuel de notre institution, l'ENS d'Abidjan, en qualité de caméraman.

5.2.2 Terrain d'expérimentation en vraie grandeur et participants

5.2.2.1 Justification du choix du terrain d'expérimentation

Abordant l'importance et la pertinence du contexte dans lequel se situe la recherche, André Morin fait référence au terrain de la recherche. Pour lui, le terrain est souvent représenté par la salle de classe, en recherche en éducation (Morin, 1985, p. 38). Dès lors, le terrain constitue un élément essentiel dans le déroulement de la recherche.

Dans le cadre de notre étude, le choix du terrain d'expérimentation a été basé surtout sur la logistique. En effet, selon Miles et Huberman (1994), Pirès (1997) et Le Compte et Preissle (1993) cités par Savoie-Zajc (2006, pp. 101-102), la crédibilité d'une recherche dépend d'un certain nombre de facteurs, dont la logistique, en termes d'accessibilité, de facilité d'entrée, de calendrier, d'échéances, de disponibilité et de coûts. Nous avons donc choisi quatre établissements secondaires publics d'enseignement général dans le district d'Abidjan. Deux de ces établissements se trouvent dans la même commune que l'École Normale Supérieure d'Abidjan, l'institution dans laquelle nous sommes en service, et les deux autres sont dans une commune voisine. Ce choix offrait l'avantage d'un accès relativement facile, permettant ainsi de réduire les coûts de transport, d'accélérer la cueillette et le traitement des données (Durand, 2002) cité par (Demba, 2013, p. 23). Ces établissements disposaient de salles informatiques. De plus, les chefs de ces établissements et leurs adjoints, ainsi que leurs enseignants de physique-chimie nous ont offert un accueil chaleureux, très hospitalier, et nous ont montré une parfaite disponibilité à nous accompagner dans cette étude.

5.2.2.2 Caractéristiques du terrain d'expérimentation

Nous avons présenté, en détail dans l'annexe, les caractéristiques de ces établissements, mises à notre disposition, respectivement par chaque chef d'établissements. De manière synthétique, notre terrain de recherche est constitué de 4 lycées publics d'enseignement général de la ville d'Abidjan, d'une population totale de 13258 élèves. Nous avons désigné ces 4 établissements par les codes E1, E2, E3, et E4. Ces lycées ont été choisis du fait qu'ils

disposaient tous de salles informatiques, dans l'optique d'y faire travailler éventuellement les élèves. Mais au lancement de l'expérimentation, nous avons constaté que ces salles informatiques n'étaient pas toutes fonctionnelles. Dans cet ensemble, nous avons constaté, au hasard, qu'il y avait 2 lycées mixtes, 1 lycée de filles, et 1 lycée de garçons. La population cible, à l'intérieur de cette population globale, est celle des élèves de 4^{ème}, représentant 2057 élèves dont 1029 filles et 1028 garçons.

5.2.2.3 Participants de l'étude

Pour choisir les participants de notre expérimentation, nous avons procédé à un échantillonnage de notre population d'étude. Selon Savoie-Zajc (2006, p. 100), un échantillonnage scientifiquement valide, en recherche qualitative, doit être intentionnel, pertinent par rapport à l'objet et aux questions de recherche, et être accessible. L'objet de notre recherche est l'exploration des situations d'enseignement-apprentissage utilisant, en classe entière, un simulateur d'oscilloscope concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, en physique-chimie, au collège en Côte d'Ivoire. Nous avons donc choisi un échantillon non probabiliste, caractérisé par des groupes-classes respectifs de cinq enseignants, tenant chacun deux classes de 4^{ème}. Ces cinq enseignants proviennent d'un ensemble de 24 enseignants de physique-chimie de notre terrain de recherche (F : 6, H : 18)⁴⁹. Sur les 24 enseignants, Six (F : 2, H : 4) avaient volontairement accepté de participer à l'étude. Malheureusement, avant le début de l'expérimentation, une des deux enseignantes a été déchargée des classes de 4^{ème} qu'elle tenait, pour être réaffectée dans une classe de terminale qui n'avait pas d'enseignant de physique-chimie.

Finalement, ce sont 5 enseignants et leurs 636 élèves au total qui ont constitué les échantillons de notre étude. Les 636 élèves ont été répartis en 2 groupes, 1 groupe expérimental (n = 316) et 1 groupe témoin (n = 320). Nous n'avons pas eu besoin de faire un tri au hasard étant donné que, dès le départ, les élèves constituaient déjà 2 groupes de par leur appartenance à l'une des classes tenues par leur enseignant (Sarabando et al., 2016, p. 114). Nous désignons par A, B, C, D, E, les 5 enseignants participant à l'étude. Le tableau 8 indique la répartition des élèves par enseignant dans chacun des groupes de l'étude.

Enseignants	Groupe expérimental	Groupe témoin
A	43	46
B	76	74
C	71	70
D	58	54
E	68	76
Total Effectif	316	320

Tableau 8. Répartition des élèves, par enseignant, dans les groupes expérimentaux et témoins

⁴⁹ F=Femme, H=Homme

Voyons à présent les outils et techniques de collecte de données.

5.3 Outils et démarche de collecte des données de la recherche

Pour collecter les données de nos variables, nous avons eu recours à plusieurs techniques d'acquisition de données. Ce sont : les questionnaires élèves, les questionnaires enseignants, l'observation de classe en situation, et les entretiens semi-directifs avec les enseignants et avec le groupe-classe.

L'utilisation de plusieurs techniques de recueil de données répond à un besoin de triangulation de ces données en vue de leur assurer une certaine validité (Karsenti & al., 2011). En effet, selon Bogdan et Biklen (1992) cités par Karsenti et al. (2011), « *research validity resides primarily in determining whether the data collected by the researcher actually correspond to the phenomenon studied. Thus, triangulation validates the research's hypothesis through diverse verification methods* ». Nous présentons, dans cette section chaque technique de recueil de données utilisée.

5.3.1 Pré-test et post-test à choix multiple

5.3.1.1 But des données du pré-test et du post-test

L'utilisation d'un questionnaire pré-test/post-test vise à vérifier la première hypothèse de notre étude. Ces deux tests sont conçus pour mesurer la « quantité » d'apprentissage qu'un élève a acquise dans une matière spécifique (Kuehn, 2019).

5.3.1.2 Principe d'élaboration du pré-test et du post-test

Les deux tests ont exactement le même contenu afin de démontrer, à partir des scores attribués à l'élève, respectivement au pré-test et post-test, que l'élève a réalisé des progrès durant la période de l'apprentissage lorsque le score qu'il a obtenu au post-test est supérieur au score qu'il a obtenu au pré-test. Le contenu du test couvre l'ensemble des questions relatives à ce qui doit être enseigné. Au début de la période d'apprentissage, l'élève n'est pas censé connaître les réponses à toutes les questions posées dans le test car il n'a pas encore appris les connaissances testées. Dans ce cas, il répond ou tente de répondre aux questions en utilisant ses connaissances antérieures. En revanche, après l'apprentissage, ayant maintenant appris les connaissances testées, il devrait pouvoir répondre à un maximum de questions, et avoir ainsi un score plus élevé au post-test.

5.3.1.3 Choix du type de pré-test et du post-test : le type QCM

Dans le cadre de notre étude, nous avons conçu un pré-test/post-test à l'aide de questions à choix multiples (QCM). C'est une technique très utilisées et appropriée lorsque l'échantillon comporte un très grand nombre d'individus. C'est le cas de notre étude. Comme le disent Samuel, Azen, & Campbell-Kyureghyan (2019, p. 122), « *the most popular way to determine*

the effectiveness of the training on learning outcomes is to administer assessments with Multiple Choice Questions (MCQ) to the participants, despite the fact that in this type of assessment it is difficult to separate true learning from guessing ». Cette technique a été également utilisée par Sarabando et al. (2016, p. 116), et Ngunu Hungu (2012, p. 274). Les questions de pré-test/post-test, pour notre étude, portent sur un test de physique dont le contenu est en rapport avec les habiletés visées par la leçon 3 sur la tension alternative sinusoïdale, prescrite par le programme éducatif de physique-chimie de la classe de 4^{ème}, en Côte d’Ivoire (MENET-FP, 2014). Il s’agit, notamment, en ce qui concerne les concepts de fréquence et période, de : la définition des concepts de fréquence et période en langue naturelle (le français, langue d’enseignement) ; l’unité légale de la fréquence et celle de la période ; la détermination de la fréquence, et de la période, à partir de données graphiques ; la relation entre la fréquence et la période. Le contenu du pré-test et du post-test étant le même, seul l’ordre des questions a été modifié, comme le montre l’exemple de la figure 11, ci-après :

PRE-TEST	POST-TEST
<p>Q1 –La fréquence est :</p> <p>A. Le nombre de motifs produits en 1 seconde</p> <p>B. Le nombre de périodes</p> <p>C. La vitesse de sortie du courant</p>	<p>Q6 –La fréquence est :</p> <p>A. Le nombre de motifs produits en 1 seconde</p> <p>B. Le nombre de périodes</p> <p>C. La vitesse de sortie du courant</p>

Figure 11. Ordre des questions dans le pré-test et le post-test administrés aux élèves

Les deux tests sont constitués, chacun, de huit questions, numérotées de Q1 à Q8. Ils sont notés sur 10 points. La question 8 est un ensemble de trois questions. Ce qui fait un total de 10 questions (voir annexe A).

5.3.1.4 Administration du pré-test et du post-test

Dans chaque groupe-classe, le pré-test a été auto-administré, pendant 10 minutes, avant l’intervention pédagogique, et le post-test, également pendant 10 minutes après l’intervention pédagogique. Le tableau 9 présente le design de notre recherche.

<i>Avant</i>	Pré-test (10 minutes)	Groupes-classes
Expérimentation	Enseignant A	Ay : (Avec simulation) Ax : (Sans simulation)
	Enseignant B	By : (Avec simulation) Bx : (Sans simulation)
	Enseignant C	Cy : (Avec simulation) Cx : (Sans simulation)
	Enseignant D	Dy : (Avec simulation) Dx : (Sans simulation)
	Enseignant E	Ey : (Avec simulation) Ex : (Sans simulation)
Après	Post-test (10 minutes)	Groupes-classes

Tableau 9. Design de la recherche (tableau inspiré de Sarabando et al. (2016, p. 114)

Il faut noter que, avant de recourir au pré-test sur les savoirs concernant les concepts de fréquence et période à l'étude, nous avons passé un questionnaire d'enquête auto-administré aux groupes-classes et aux enseignants participant à l'étude. Nous présentons, dans la section ci-dessous, ces questionnaires.

5.3.2 Questionnaires élèves et enseignants

5.3.2.1 Questionnaire-élève : recueil de données sociométrique de l'élève

Comme nous l'avons expliqué dans les sections 1.2.2 à 1.2.4, les résultats/difficultés d'apprentissage d'un élève peuvent dépendre de 3 catégories de facteurs majeures : les facteurs liés à l'élève lui-même, les facteurs liés à l'école et les facteurs liés à la famille. Ainsi, la connaissance d'un ensemble d'informations extrinsèques pourrait nous aider dans l'analyse des résultats des élèves participant à notre étude. En effet selon Vilatte (2007, p. 4), le questionnaire est une des trois grandes méthodes (en référence à l'observation et à l'entretien) permettant de recueillir des informations en vue de comprendre et d'expliquer les faits psychosociologiques. Les faits liés aux activités d'enseignement et d'apprentissage se déroulant dans une salle de classe, en tant que milieu social, étant des faits psychosociologiques, nous avons donc trouvé pertinent l'utilisation d'une telle méthode de recueil de données. Concernant les élèves, nous avons élaboré un questionnaire d'enquête pour l'avant expérimentation, et un autre questionnaire d'enquête pour l'après expérimentation.

Le premier questionnaire avait pour objectif de recueillir des informations sur les élèves en vue de connaître leurs caractéristiques et leurs répartitions dans les différents groupes de l'expérimentation. Ce premier questionnaire comporte, en gros, 3 parties, repérables à travers 11 questions fermées, notées Q1 à Q11 (voir annexe A). La première partie, questions Q1 à Q6, porte sur des informations d'ordre sociologique. Elle permet de recueillir des données sur le sexe, l'âge, le statut scolaire de l'élève (Redoublant/Non redoublant), son lieu d'habitation, la catégorie socioprofessionnelle du père et celle de la mère. La deuxième partie, questions Q7 à Q10, s'intéresse à la familiarisation de l'élève avec les TIC. Elle sert à recueillir des informations sur la fréquence hebdomadaire de l'utilisation de l'ordinateur par l'élève dans différents lieux (maison, école, cyber café, autre lieu), mais aussi en salle de classe de physique-chimie.

5.3.2.2 Questionnaire d'attitude de l'élève envers la physique avant l'expérimentation

Ce questionnaire est intégré au premier questionnaire. Il en constitue la troisième et dernière partie, et représenté par la question Q11. Il vise à recueillir l'attitude envers la physique de l'élève *Avant* l'expérimentation. Nous l'avons construit en nous référant à différents modèles de questionnaires, notamment sur ceux de Ngunu Hungu (2012), Le Hebel, Monpied, & Fontanieu (2014) et Thompson & Shrigley (1986). Ce questionnaire a 26 items dont 6 négatifs (items 1, 13, 17, 19, 22, et 25). Les réponses aux 26 items sont données sur une échelle de Likert à 5 niveaux (1 : pas du tout d'accord ; 2 : pas d'accord ; 3 : Je ne sais pas ; 4 : d'accord ; 5 : complètement d'accord). Nous avons passé ce questionnaire avant l'administration du pré-test.

5.3.2.3 Questionnaire d'attitude de l'élève envers la physique après l'expérimentation

Nous avons élaboré le deuxième questionnaire en nous appuyant sur les modèles de questionnaires de Rutten et al., 2015 (pp. 1235-1236) et Ulukök & Sari (2016, p. 470). Il avait pour objectif de recueillir des informations sur les attitudes déclarées des élèves après la séquence de cours avec le simulateur d'oscilloscope, mais aussi sur leurs perceptions sur la qualité du simulateur d'oscilloscope et des conditions de son utilisation. Ce questionnaire est composé de deux questions notées Q1 et Q2. La première question, Q1, comporte 27 items. Sur ces 27 items, il y a 14 items positifs (items 1 à 14) qui portent sur les attitudes des élèves envers la physique après l'utilisation du simulateur informatique, 2 items sur leurs perceptions de la qualité du simulateur (items 15, 16), 6 items sur leurs perceptions des conditions d'utilisation du simulateur (items 18, 19, 20, 21, 22, 23) dont 3 positifs (18, 19, 23) et 3 négatifs (items 20, 21, 22), et 5 items sur leurs perceptions de la qualité d'utilisation du simulateur (17, 24, 25, 26, 27) dont 3 positifs (items 17, 24, 25) et 2 négatifs (items 26, 27). La deuxième question, Q2, est une question ouverte. Elle avait pour but de recueillir la déclaration des élèves sur les trois choses les plus importantes, selon eux, que l'enseignant voulait faire comprendre en manipulant le simulateur. Par cette question, nous cherchions à savoir si l'objectif visé par l'enseignant était le même attendu par le groupe-classe. En d'autres termes, il s'agissait de voir s'il y avait une congruence entre l'objectif de l'enseignant et l'objectif compris/perçu par le groupe-classe. La réponse à la question Q2 participe à l'évaluation de la pratique pédagogique de l'enseignant. Nous avons administré ce deuxième questionnaire une semaine après la fin de l'expérimentation.

5.3.2.4 Questionnaire-enseignant : recueil de données sociométriques et sur la pratique de l'enseignement de la physique

Concernant les enseignants participant à l'étude, nous avons également élaboré un questionnaire, à partir des modèles de questionnaires ci-dessus-cités (voir annexe A). Ce questionnaire enseignant est aussi constitué de 3 parties, repérables à travers 9 questions, Q1 à Q9. La première partie, Q1 à Q4, sert à recueillir des informations générales sociologiques sur l'enseignant (genre, âge, nombre d'années d'expérience professionnelle, statut (fonctionnaire, stagiaire, autre). La deuxième partie, Q5 à Q8, s'intéresse à sa pratique des TIC. Elle aborde sa fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur à la maison, à l'école, ou dans un autre lieu, mais aussi dans la classe, en physique-chimie. Elle questionne aussi sur les catégories de tâches pour lesquelles l'enseignant utilise le numérique (recherche sur Internet, communication, loisirs (écouter la musique, jouer). La troisième et dernière partie collecte des informations sur l'attitude de l'enseignant envers sa discipline et pratique d'enseignement. Nous avons passé le questionnaire auto-administré, en dehors de la classe.

En plus du questionnaire, nous avons également utilisé la méthode de l'observation directe de classe pour recueillir des données.

5.3.3 Observations directes des séquences de cours en situation

5.3.3.1 But des observations directes des cours en situation

Les observations directes de classes que nous avons réalisées avaient pour but de vérifier les hypothèses relatives aux pratiques de l'enseignant, et aux comportements des élèves.

En effet, la pratique de la démarche d'investigation, l'implication des groupes-classes dans la construction du savoir, la pratique d'une pédagogie d'apprentissage, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope et les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope sont des variables caractérisées, chacune en ce qui la concerne, par un ensemble d'indicateurs tels que nous les avons décrits dans la section 3.4. Ces indicateurs sont des faits, des gestes, des comportements, des événements, des actions, des opérations, des mots ou ensemble de mots, des idées, etc., qu'il faut pouvoir repérer/relever, pour être analysés.

5.3.3.2 Observation directe en tant que technique de recueil de données

L'observation directe, ou plus exactement l'enquête par observation directe, permet d'analyser des scènes sociales et des processus sociaux (Mabilon-Bonfils, 2012, p. 12). Selon l'auteure, citant Quivy et Van Campenhoudt, « *cette méthode convient particulièrement à l'analyse du non-verbal et de ce qu'il révèle : les conduites instituées et les codes comportementaux, la place du corps dans l'espace social, les modes de vie et les traits culturels, l'organisation spatiale des groupes et de la société, etc.* ». L'auteure ajoute que c'est une méthode qui offre l'avantage de saisir les comportements et les événements sur le vif, donc tels qu'ils se produisent. Et, comme elle le dit, les comportements sont plus authentiques que les paroles et les écrits car « *il est plus facile de mentir avec la bouche qu'avec le corps* ». C'est pourquoi, cette méthode est souvent utilisée pour compléter d'autres méthodes pour l'analyse des actions et des processus. L'observation directe est donc « *une méthode de recueil de données particulière [qui consiste] à observer de manière directe des situations par nécessité de recherche (par exemple des situations de classe, un conseil de classe, une cour de récréation, etc.)*. » (Mabilon-Bonfils, 2012, p. 13).

5.3.3.3 Mise en œuvre de l'observation directe

Et comme, il s'agit d'observation directe, donc de regard, de perception, d'interprétation - mais un regard circonscrit et organisé - cela suppose que le chercheur soit lui-même présent dans les situations à analyser (ibid., p. 13). Au cours de ces situations, il devra consigner les données qui l'intéressent dans le cadre de son étude, à travers plusieurs modes d'enregistrement possibles : carnet de bord, journal de terrain, grille d'observation et parfois enregistrement audio ou vidéo. Pour notre recherche, dans le contexte naturel de l'enseignement secondaire général, nous avons trouvé pertinent de choisir la méthode d'observation directe filmée parce que nous étudions, directement en salle de classe, deux types de situations d'enseignement des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4^{ème}, l'un avec le simulateur d'oscilloscope et l'autre sans le simulateur d'oscilloscope. Et puisque c'est une méthode qui permet de saisir sur le vif tous les comportements et les actions au moment où ils se produisent, elle nous a paru également bien indiquée pour capter tous les indicateurs

observables, notamment ceux qui sont liés aux caractéristiques individuelles des enseignants, et ce, de manière inopinée. Pour la mise en œuvre de cette méthode, nous avons élaboré trois grilles d'observation : une grille d'observation du comportement de l'enseignant, une grille d'observation du comportement du groupe-classe, et une grille d'observation de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope.

5.3.3.4 Grilles d'observation et d'encodage des actions de la pratique pédagogique en sciences : le Modèle MFS-TST

Concernant la grille d'observation et d'encodage de la pratique pédagogique de l'enseignant, dans le cadre de notre étude, nous avons organisé les éléments du modèle MFS-TST dans un tableau (voir annexe A), en cinq colonnes. La première colonne du tableau comporte la désignation des deux composantes dynamiques (A et B). La deuxième colonne correspond aux dix composantes du modèle (5 pour A et 5 pour B). La troisième colonne correspond à l'explication respective de chaque composante. La quatrième colonne présente un exemple de chaque composante d'après l'étude de Sarabando, Cravino, et Soares (2016, p. 118). Et la cinquième colonne présente une déclinaison des schèmes d'observation ou actions, en termes de tâches correspondant à chaque composante. Pour les indicateurs que nous recherchons, nous avons associé la *stimulation cognitive et motivationnelle du groupe-classe* [par l'enseignant] aux tâches B31, B32, B41, l'*implication et l'engagement dans la tâche du groupe-classe*, [par l'enseignant], aux tâches A11 à A17, la *régulation interactive* à la tâche A18, les *renforcements et évaluation* aux tâches B42, B43, et le *climat social du groupe-classe* à la tâche B24. Les nombres qui accompagnent les lettres A et B sont relatifs à la fois à la dynamique considérée et la composante de cette dynamique. Par exemple, A11 à A17, concernent les tâches 1 à 7 de la composante A1 de la dynamique fondamentale A, la tâche B24 est la tâche 4 de la composante de B2 de la dynamique fondamentale B. Quant aux indicateurs de *participation* des élèves, ils sont définis par les actions indiquées dans la grille d'observation des élèves.

Concernant la grille portant sur le comportement du groupe-classe, à travers ceux des élèves, nous avons défini 3 dimensions : *Attention*, *Participation générale*, et *Implication dans la démarche d'investigation* caractérisée par le SRR (Student Response Rate).

5.3.3.5 Recueil des données de notre étude par l'observation directe

Pour réaliser l'observation directe de classe, nous avons placé une caméra à l'arrière, dirigée sur l'enseignant en vue capter tous ses faits et gestes, et une caméra à l'avant, dirigée sur les élèves pour capter leurs comportements. Nous n'avons pas pu prendre l'entièreté de la classe car l'ouverture de l'objectif de la caméra-élèves était limitée. Nous nous sommes assis dans le fond de la classe, avec un cahier de recherche et stylo à la main en vue de noter certains observables, vu que, dans le cadre de l'observation directe d'une situation, le chercheur doit être dans la situation (Mabilon-Bonfils, 2012, p. 14).

L'image du simulateur d'oscilloscope a été projetée sur un écran de projection que nous avons accroché sur le tableau à craie à l'aide de deux pointes en acier, dès lors que l'enseignant en a formulé la demande au moment où il voulait utiliser le simulateur d'oscilloscope. Nous

avons accroché l'écran de projection de sorte qu'il soit centré, en longueur, sur le tableau à craie. Nous avons transporté cet écran de projection d'un établissement à l'autre. En effet, pendant la pré-étude, nous avons utilisé un écran sur pied avec une surface de projection en plastique déroulante, sensible à l'action du vent. Ce qui fait que la surface de projection n'était pas plane. Elle présentait des ondulations.

Pour offrir une meilleure qualité de visualisation de l'image, nous avons dû faire fabriquer un écran de 1m50 x 2m, en planche recouverte d'une matière en similicuir blanc, rigide et totalement plane. Nous avons placé le vidéoprojecteur sur un support métallique (réglable en hauteur) que nous avons également fait fabriquer. Le vidéoprojecteur a été installé à une distance de 1,50 à 2 m du tableau (écran de projection), selon la classe. Pour la connexion du vidéoprojecteur au PC de l'enseignant, nous avons fait fabriquer un très long câble vidéo de 6 mètres, et utilisé un long câble électrique pour la connexion à la prise électrique. Les équipements utilisés sont présentés à l'annexe A.

La troisième grille d'observation que nous avons utilisée est celle de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope. N'ayant pas trouvé de modèle de grille d'utilisation d'un simulateur d'oscilloscope pour l'enseignement-apprentissage des concepts de fréquence et période dans la littérature scientifique, à part le simulateur du son rapporté par Tiberghien et Vince (2005) dans leur étude de la fréquence et l'amplitude du son, nous avons dû construire la grille d'utilisation du simulateur d'oscilloscope en nous référant aux éléments de la théorie des deux mondes fondée sur la modélisation en physique (Tiberghien & Vince, 2005) ; (Buty, 2003) ; la théorie du contrat didactique de (Brousseau, 2011), les éléments théoriques de la démarche d'investigation et des éléments de connaissance de l'état de l'art, notamment pour ce qui est de la référence au moment d'utilisation du simulateur. Nous avons tenu compte aussi des éléments de contenu du programme d'enseignement de la leçon choisie comme étude de cas ainsi que des recommandations du guide d'exécution de ce programme. Pour nous assurer que notre observation directe de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope par l'enseignant est fiable, nous avons sollicité deux encodeurs, en mettant à leur disposition la grille d'encodage et les vidéos des séquences de cours. Cette grille d'utilisation comporte cinq phases, numérotées de 1 à 5, (1 : Introduction ; 2 : manipulation ; 3 : détermination des grandeurs physiques des concepts de fréquence et période ; 4 : Relation fréquence-période ; 5 : Consolidation).

Enfin, pour comprendre certaines motivations des enseignants ayant utilisé le simulateur d'oscilloscope, mais aussi en vue de recueillir leurs perceptions sur l'utilisation du simulateur d'oscilloscope pendant le processus enseignement-apprentissage, nous avons mené des entretiens individuels semi-dirigés. Nous avons également mené un entretien de groupe semi-dirigé avec le groupe-classe pour recueillir les perceptions des élèves sur l'impact de l'utilisation sur leur apprentissage.

5.3.4 Entretiens individuels semi-dirigés avec l'enseignant et entretien collectif avec le groupe-classe

5.3.4.1 But des données d'entretien

Dans le cadre de notre étude, nous cherchons à vérifier si l'utilisation du simulateur d'oscilloscope améliore ou pas le processus enseignement-apprentissage des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, en classe de 4^{ème}, niveau collège. Nous avons donc cherché à connaître les perceptions des élèves et celles de leur enseignant par rapport à cette utilisation, et sur les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope. Nous voulions également, à travers des questions ouvertes, comprendre l'attitude du groupe-classe pendant le déroulement de la séquence de cours avec le simulateur d'oscilloscope en confrontant les réponses des interviewés aux informations que nous avons obtenues des observations directes de classe, et des questionnaires d'enquête. Nous avons donc trouvé qu'il était pertinent de recourir à la méthode de l'entretien pour avoir des précisions sur nos données.

5.3.4.2 Choix de l'approche d'analyse : l'entretien comme technique d'investigation

Selon Mabilon-Bonfils (2012, p. 17), l'entretien est un procédé d'investigation scientifique qui permet, à travers un processus de communication verbale, de recueillir des informations en relation avec un but préalablement défini. Elle précise qu'il s'agit d'une technique exploratoire qui fait appel au point de vue de l'interviewé - qui peut être une personne ou un collectif - en vue de connaître le sens qu'il donne aux situations ; les significations qu'il attribue à sa/ses pratique(s) ; les opinions qu'il se construit sur un sujet d'intérêt ou une question, ses représentations d'un concept, etc. L'entretien est donc, d'après Mabilon-Bonfils, un moyen d'obtenir de l'interviewé qu'il explicite ce qui est implicite dans son action à travers une sorte d'auto-analyse selon P. Bourdieu cité par elle. Dans une recherche, l'entretien doit permettre, grâce aux questions abordées, de vérifier des hypothèses de recherche. Cependant, il existe plusieurs types d'entretiens.

5.3.4.3 Différents types d'entretiens

Selon Mabilon-Bonfils (2012, p. 17), il existe plusieurs techniques d'entretien. En fonction du degré de directivité de l'entretien, nous avons l'entretien non directif, l'entretien directif et l'entretien semi-directif ou semi-dirigé. L'entretien non directif donne une très grande marge de liberté d'expression à l'enquêté, à partir d'une question ouverte. L'enquêteur intervient le moins possible, si ce n'est pour relancer la communication et encourager l'enquêté à explorer plus finement le thème abordé. En revanche, l'entretien directif est très encadrant et standardisé. Il laisse ainsi une marge réduite de liberté à l'enquêté qui répond à des questions ouvertes et posées dans un ordre immuable et préétabli. Cette méthode se rapproche plus du questionnaire d'enquête.

Quant à l'entretien semi-directif, il n'est non standardisé. Pour Quivy et Van Campenhout (1995, pp. 174sq) cités par Mabilon-Bonfils (2012, p. 18) «*L'entretien semi-directif, ou semi-dirigé, est certainement le plus utilisé en recherche sociale. Il est semi-directif en ce sens qu'il n'est ni entièrement ouvert, ni canalisé par un grand nombre de questions*

précises. Généralement, le chercheur dispose d'une série de questions-guides, relativement ouvertes, à propos desquelles il est impératif qu'il reçoive une information de la part de l'interviewé. Mais il ne posera pas forcément toutes les questions dans l'ordre où il les a notées et sous la formulation prévue. Autant que possible, il 'laissera venir' l'interviewé (...). Le chercheur s'efforcera simplement de recentrer l'entretien sur les objectifs chaque fois qu'il s'en écarte et de poser les questions auxquelles l'interviewé ne vient pas par lui-même, au moment le plus approprié et de manière aussi naturelle que possible. »

5.3.4.4 Choix du type d'entretien : l'entretien semi-directif

Nous avons opté pour l'entretien semi-directif en raison de sa flexibilité. Ainsi, nous avons réalisé un entretien individuel semi-dirigé avec les enseignants B, C, D, trois des enseignants ayant participé à l'étude. Nous avons effectué aussi trois entretiens collectifs semi-dirigés *in situ* avec les groupes-classes expérimentaux des enseignants B, D, et E.

Les entretiens individuels semi-dirigés avec les enseignants, ont été réalisés en dehors de la classe. Ces entretiens ont duré entre 04 min 39s et 20 min 25. Les entretiens ont eu lieu en salle, en général. Cependant, il n'a pas été facile de trouver une salle pour réaliser l'entretien avec l'enseignant D. Nous avons fait cet entretien individuel, debout devant la salle des profs de physique-chimie qui était occupées par les collègues. Bien qu'il ait duré 04min39s, il nous a permis de relever des informations importantes.

Les entretiens semi-directifs avec les élèves des enseignants B, D et E se sont déroulés en classe entière, avec l'ensemble des élèves, afin de donner l'opportunité à tous et à chacun de s'exprimer. Le choix de réaliser cet entretien dans le groupe-classe a l'avantage de permettre aux participants de s'exprimer plus librement. Ce choix permet de prendre en compte leur dimension affective (Mian Bi, 2010). Pour mieux cerner notre objet de recherche (Mabilon-Bonfils, 2012; Mayer & Ouellet, 1991 cités par Mian, 2010), nous avons élaboré un guide d'entretien. Tous ces entretiens ont été enregistrés.

5.4 Démarches de traitement et d'analyse des données de l'étude

Nous avons eu recours à plusieurs outils de recueil de données pour « triangulariser » nos données afin d'en vérifier la cohérence (Jaillet, 2013, p. 16). Pour chacun de ces outils, nous décrivons l'objet du traitement, et en quoi a consisté le traitement des données recueillies.

5.4.1 Démarche de traitement et d'analyse des données des questionnaires élèves et enseignants

5.4.1.1 But du traitement des questionnaires d'enquête

Globalement, nous avons administré trois questionnaires : un questionnaire-élèves *Avant* l'expérimentation, un questionnaire-élèves *Après* l'expérimentation, et un questionnaire-enseignant. Le premier questionnaire-élève (avec 11 questions) comporte principalement deux parties, la première (questions Q1 à Q10) porte sur les données sociologiques de l'élève, et la

seconde sur les données concernant son attitude envers la physique (question 11). Les données recherchées à travers ce questionnaire concernent les variables de contrôle ou extrinsèques, hormis celles relatives à l'attitude de l'élève qui est une variable indépendante. Le traitement des données de ce premier questionnaire-élève vise à contrôler, d'une part, l'effet des variables extrinsèques sur les variables indépendantes, et d'autre, à évaluer l'attitude des élèves envers la physique avant l'expérimentation.

Le deuxième questionnaire-élève est destiné aux élèves des groupes-classes expérimentaux. Elle comporte, en gros, deux parties. La première recueille des données sur l'attitude des élèves des groupes-classes expérimentaux afin de savoir si, à l'issue de l'expérimentation, l'utilisation du simulateur a amélioré leur attitude envers la physique. Ce qui représenterait un impact positif de cet outil techno-pédagogique. La deuxième partie de ce questionnaire tente de recueillir les perceptions des élèves des groupes-expérimentaux concernant l'objectif de l'enseignement-apprentissage utilisant le simulateur d'oscilloscope. Le traitement des données recueillies dans ce cadre cherche à vérifier la congruence ou non entre l'objectif perçu par les élèves du groupe-classe et celui visé par l'enseignant, un aspect important, en didactique, pour un apprentissage efficace (Rutten et al., 2015, p. 1228).

Le questionnaire - enseignant porte sur les données sociologiques de l'enseignant ainsi que sur son attitude envers la pratique de l'enseignement de la physique. Le but du traitement de ces données est d'aider à l'analyse des gains d'apprentissage par rapport aux caractéristiques de l'enseignant.

5.4.1.2 Préparation des données des questionnaires d'enquête

Nous avons d'abord préparé les données sur le logiciel Microsoft Excel 2007. Nous avons ainsi constitué une base de données avec le logiciel Excel, en saisissant toutes les données collectées par les questionnaires d'enquête. Afin d'assurer l'anonymat des participants, nous avons pris soin de numéroter ces questionnaires, de 1 à 636, en partant du premier élève, codé « EL1 », pris au hasard dans l'établissement E1 au dernier élève, codé « EL636 », pris également au hasard dans l'établissement E4. Nous avons ensuite importé les données sur le logiciel SPSS 20 pour leur traitement statistique.

5.4.1.3 Traitement des données des questionnaires-élèves

Dans un premier temps, le traitement des données a consisté à faire un tri à plat des données issues des questionnaires pour connaître les caractéristiques de nos échantillons selon les différentes variables de contrôle, à partir de la question suivante : ***Quelle est la répartition des élèves dans nos échantillons selon les modalités de chaque variable ?***

Nous avons donc déterminé la répartition des élèves (en effectif et en pourcentage), selon les modalités respectives de chacune des variables extrinsèques : le genre, l'âge, le statut de l'élève (Redoublant ou non), la fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur, la pratique Internet, la pratique Communication, la pratique Loisirs, du côté de l'élève ; les catégories socioprofessionnelles (csp) du père et de la mère, le lieu d'habitation, et le type d'établissement,.

Nous avons effectué quelques regroupements de certaines données lorsque cela nous a paru nécessaire, pour leur traitement. C'est ainsi que pour l'âge de l'élève, par exemple, après avoir observé l'existence d'âges différents, de 11 à 17 ans, nous avons jugé pertinent de regrouper les élèves par rapport à l'âge officiel de scolarisation en classe de 4^{ème} dans le système éducatif ivoirien, qui est 14 ans (MENET-FP/DSPS, 2018, p. 107). Ainsi, nous avons constitué une nouvelle variable, *Classe d'âges*, avec trois modalités d'âges, « Moins de 14 ans », « 14 ans », « Plus de 14 ans ». Pour la *Catégorie socioprofessionnelle (csp)* du père et celle de la mère, nous avons 5 modalités de la variable : « 1 : Cadre », « 2 : Agent de maîtrise », « 3 : Ouvrier », « 4 : Artisan », « 5 : Sans emploi ». Étant donné que les agents de maîtrise sont des cadres subalternes, et vu que les élèves issus de parents cadres ou agents de maîtrise sont très majoritaires dans notre échantillon, nous avons regroupés les 5 modalités de csp en 2 modalités : une modalité « Cadres » regroupant les csp « cadre » et « Agent de maîtrise », et, une modalité « Autres CSP » regroupant les csp « ouvrier », « artisan » et « Sans emploi ».

En ce qui concerne la fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur (FHUO), nous avons calculé, pour un élève donné, la moyenne des fréquences d'utilisation de l'ordinateur dans les différents lieux, en arrondissant le résultat du calcul à l'unité la plus proche lorsque la décimale était égale ou supérieure à 5. Nous donnons, dans le tableau 10, ci-dessous un exemple de calcul de la FHUO d'un élève :

Lieux	0 fois	1 fois	2 fois	Plus de 2 fois
a) À l'école	X			
b) À la maison	X			
c) Dans un cyber café				X
d) Autre (chez un parent, un ami, ...)	X			

Tableau 10. Exemple de réponse à la question Q5 du questionnaire élève

Nous avons attribué la modalité « *Jamais* » à la fréquence d'utilisation « 0fois » avec le coefficient « 1 », la modalité « *À l'occasion* » pour « 1fois » avec le coefficient « 2 », la modalité « *Souvent* » pour « 2fois » avec le coefficient « 3 », et la modalité « *Toujours* » pour « plus de 2fois » avec le coefficient « 4 ». La FHUO de l'élève est donc : $(1+1+4+1) \div 4 = 7 \div 4 = 1,75 \approx 2$. En fonction des valeurs discrètes possibles que peut prendre la variable *Fréquence Hebdomadaire d'Utilisation de l'Ordinateur (FHUO)*, soient 0, 1, 2, 3, 4, nous avons défini 5 modalités de la variable FHUO : 0 = « *Jamais* » ; 1 = « *Rarement* » ; 2 = « *À l'occasion* » ; 3 = « *Souvent* », 4 = « *Toujours* ».

Concernant la pratique Internet (respectivement la pratique de Communication, et la pratique de Loisirs), nous avons considéré seulement les réponses positives (« Oui »). Nous avons attribué le coefficient « 1 » à la modalité « Oui » et le coefficient « 0 » à la modalité « Non ». Nous avons calculé le niveau de pratique Internet (ou simplement *pratique Internet*) en additionnant les chiffres correspondant à la modalité « Oui », uniquement pour les activités relatives à Internet. Nous avons fait de même pour la *pratique de Communication* avec les activités relatives à la communication, et pour la *pratique de Loisirs* avec les activités relatives aux loisirs. Les valeurs possibles étant 0, 1, 2, 3 et 4, nous avons attribué la modalité « Aucune »

à 0, « Faible » à 1, « Moyenne » à 2, « Bonne » à 3 et « Excellente » à 4. Nous donnons, ci-dessous, dans le tableau 11, un exemple de calcul des niveaux de pratique pour un élève donné.

Le tableau 11 présente l'extrait du questionnaire correspondant à la question 10 : « Q10- Tu utilises un ordinateur ou un téléphone portable pour quoi faire ? (Mets une croix dans la case qui convient) ».

Activités	Sur l'ordinateur		Sur le Tél. portable	
	Oui	Non	Oui	Non
Faire des recherches personnelles sur internet		X	X	
Faire des recherches sur internet pour un travail de l'école	X		X	
Communiquer avec des amis		X	X	
Communiquer avec la famille		X	X	
Ecouter la musique		X	X	
Jouer	X		X	

Tableau 11. Exemple de réponse à la question Q10 du questionnaire élève

Pour le calcul des niveaux de pratique Internet, Communication, et Loisirs, nous avons procédé comme suit : Pratique Internet = 0+1+1+1 = 3 → « [pratique Internet] Bonne » ; Pratique de Communication = 0+1+0+1 = 2 → « [pratique de Communication] « Moyenne » ; Pratique de Loisirs = 0+1+1+1 = 3 → « [pratique des Loisirs] Bonne ».

Dans un deuxième temps, nous avons cherché à savoir si les groupes de l'étude (groupe du sous-échantillon expérimental, et groupe du sous-échantillon témoin ; (groupe-classe expérimental et groupe-classe témoin), à comparer, étaient semblables ou significativement différents selon nos variables de contrôle. En effet, comme nous l'avons déjà précisé, l'objectif de ce travail de recherche est de comparer deux situations d'enseignement-apprentissage des notions de fréquence et de période d'une tension alternative sinusoïdale, au collège, en classe de 4^{ème}, l'une avec le simulateur d'oscilloscope, et l'autre sans le simulateur d'oscilloscope. Le but étant de savoir si la situation utilisant le simulateur d'oscilloscope est significativement plus favorable ou non que la situation traditionnelle, sans technologie. Cela revient donc à comparer les performances d'apprentissage de ces deux notions, en termes de compréhension, de deux groupes, l'un enseigné avec le simulateur et l'autre sans le simulateur, performances mesurées par les gains relatifs d'apprentissage respectifs.

Pour pouvoir comparer les deux situations d'apprentissage, et les analyser en fonction des variables que nous avons retenues comme explicatives, il faut que ces deux groupes soient comparables selon ces variables explicatives, les effets des autres variables, c'est-à-dire les effets des variables extrinsèques étant considérés comme non significatifs pour les deux groupes à comparer. Les groupes ayant été choisis au hasard, et de fait, le contrôle des variables a donc consisté à chercher à répondre à la question suivante : ***Y-a-t'il une différence significative entre les groupes de l'étude selon nos variables de contrôle ?***

Pour savoir s'il y avait une différence significative entre ces groupes selon les variables considérées, nous avons croisé chaque variable extrinsèque avec la variable type de groupe, puis avec la variable groupe-classe vu que notre échantillon émane de groupes-classes différents

appartenant à des établissements différents. Ce croisement a consisté à tester le lien entre les deux variables considérées, en déterminant le khi-deux et la probabilité p de rejet, au seuil de 5%, de l'hypothèse nulle (H_0) en faveur de l'hypothèse alternative (H_1). L'hypothèse nulle est l'hypothèse qui stipule qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes selon la variable considérée. L'hypothèse alternative est l'hypothèse qui affirme qu'il existe une différence significative entre les deux groupes, lorsque l'hypothèse nulle n'est pas vérifiée. Pour rejeter l'hypothèse nulle H_0 , la valeur de la probabilité p doit être inférieure à 5%, soit 0,05. Dans le cas contraire, on accepte l'hypothèse nulle H_0 .

Le résultat du test effectué peut être résumé comme indiqué ci-dessous. Nous dirons, selon la variable considérée, que :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \text{il n'y a pas de différence significative entre les groupes} \quad \text{si } p > 0,05 \\ H_1 : \text{il y a une différence significative entre les groupes} \quad \text{si } p < 0,05 \end{array} \right.$$

Toujours dans l'optique de contrôler les variables de l'étude, nous avons également croisé l'ensemble de ces variables entre elles pour déterminer l'existence de lien de dépendance éventuelle à l'aide d'un test d'analyse des correspondances multiples (ACM). Les résultats de tous les tests réalisés sont présentés dans le chapitre *Résultats*.

5.4.1.4 Traitement des données des questionnaires-enseignants

À propos des enseignants, le traitement a porté sur les variables genre, âge, ancienneté, expérience professionnelle, fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur, fréquence d'utilisation de l'ordinateur en physique, pratique Internet, pratique de Communication, pratique de Loisirs, pratique de l'activité pédagogique, attitude envers la pratique enseignante.

Comme dans le cas des élèves, nous avons également procédé à quelques regroupements de modalités dans le cas des enseignants. En effet, à partir des modalités d'âges observés chez les 5 enseignants (29 ans, 35 ans, 40 ans, 46 ans, 50 ans), nous avons créé une variable *Classe d'âges Enseignant* avec 4 modalités, « Moins de 30 ans », « 30 – 39 ans », « 40 – 49 ans », et, « 50 ans et plus ». Nous avons ensuite déterminé les répartitions des enseignants selon ces différentes variables. Concernant l'ancienneté dans la pratique de l'enseignement, nous avons relevé 5 modalités de la variable ancienneté (1 an, 7 ans, 12 ans, 19 ans, 21 ans). Nous avons regroupé ces 5 modalités en 2 modalités, « moins de 10 ans » et « plus de 10 ans » en créant la variable *Expérience professionnelle*.

En ce qui concerne la détermination de la fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur, la fréquence d'utilisation de l'ordinateur en physique, la pratique Internet, la pratique de Communication, la pratique de Loisirs, la pratique de l'activité pédagogique, nous avons procédé comme dans le cas des élèves. Nous donnons, dans le tableau 12, ci-dessous, l'exemple de la pratique de l'activité pédagogique (pap) déclarée d'un enseignant.

Le tableau 12 présente l'extrait du questionnaire correspondant à la question 8 : « Q8- A quelle fin, utilisez-vous un ordinateur ou un téléphone portable ? (cochez la case) ».

Activités	Sur l'ordinateur		Sur le Tél. portable	
	Oui	Non	Oui	Non
Faire des recherches personnelles sur internet (<i>pi</i>)*	X		X	
Faire des recherches sur internet pour préparer mon cours (<i>pi</i>)	X			X
Communiquer avec des amis (<i>pc</i>)	X		X	
Communiquer avec la famille (<i>pc</i>)		X	X	
Saisir un devoir avec un logiciel de traitement de texte (<i>pap</i>)	X			X
Calculer les moyennes des élèves avec un tableur (<i>pap</i>)	X			X
Préparer une présentation de type PowerPoint (<i>pap</i>)	X			X
Enseigner ma discipline (<i>pap</i>)	X			X
Ecouter la musique (<i>pl</i>)		X	X	
Jouer (<i>pl</i>)		X	X	

Tableau 12. Exemple de réponse à la question Q8 du questionnaire d'attitudes Enseignant

(*) Pi : pratique internet ; pc : pratique de communication ; pap : pratique de l'activité pédagogique ; pl : pratique de loisirs.

Pour le calcul du niveau de pratique d'activité pédagogique de l'enseignant à l'aide du numérique, nous avons additionné les valeurs des coefficients correspondant, soit $pap = 1+0+1+0+1+0+1+0 = 4$. Sur un maximum possible de 8 « Oui », cette valeur, 4, correspond à la modalité « Moyenne » [pratique].

Il faut noter, qu'en ce qui concerne le questionnaire d'attitudes des enseignants envers leur pratique d'enseignement, nous avons, à l'instar de celui des élèves, vérifié la fiabilité de ce questionnaire en testant la cohérence des items à partir des réponses des enseignants à ces différents items. Nous avons obtenu un coefficient *Alpha de Cronbach* de 0,804 soit 80,4% (voir annexe A). La valeur du coefficient étant supérieure à 70%, nous avons donc admis que ce questionnaire d'attitudes des enseignants envers leurs pratiques d'enseignement était fiable.

5.4.1.5 Du traitement du questionnaire d'attitude envers la science

En ce qui concerne l'Attitude des élèves envers la physique Avant l'expérimentation, nous avons déterminé leurs attitudes globales envers la physique, à partir des items du questionnaire, en considérant l'attitude dominante déclarée sur l'ensemble des items. Nous avons utilisé l'approche de Le Hebel et al. (2014, p. 188) pour traiter les réponses des élèves aux différents items. Pour chaque élève, nous avons déterminé le nombre d'items positifs à partir des coefficients attribués aux modalités « D'accord » et « Complètement d'accord » en les additionnant. Nous avons fait de même pour déterminer le nombre d'items négatifs repérés par les modalités « Pas du tout d'accord » et « Pas d'accord ». Ainsi, l'attitude globale envers la physique est positive si l'attitude dominante envers la physique est positive. Elle est négative si l'attitude dominante est négative et neutre si l'attitude dominante est neutre. Nous avons fait un tri à plat qui a consisté à déterminer la répartition des élèves de l'échantillon selon les trois modalités de l'attitude globale envers la physique avant l'expérimentation.

Il faut noter qu'avant l'administration du questionnaire d'attitudes *avant* l'expérimentation, nous avons vérifié la fiabilité de ce questionnaire en testant la cohérence des items le constituant, à partir des réponses données par les élèves à ces items. Pour cela, nous avons calculé le coefficient *Alpha de Cronbach*. Nous avons obtenu, pour 611 observations valides, un coefficient Alpha de Cronbach de 0,662 soit environ 0,7 (voir résultat du test à l'annexe A). Nous avons donc estimé que notre questionnaire d'attitudes est fiable car la valeur du coefficient *Alpha de Cronbach* est environ égale à 0,7 soit 70% (Ulukök & Sari, 2016, p. 469).

La détermination des attitudes des élèves envers la physique *avant* l'expérimentation avait pour finalité de vérifier l'hypothèse H2 de notre étude, hypothèse qui stipule que le gain d'apprentissage dépend de l'attitude des élèves envers la physique. Nous avons donc testé, au seuil de 5%, le lien de dépendance fonctionnelle entre le gain relatif d'apprentissage et les modalités d'attitudes des élèves avant l'expérimentation.

N'ayant pas trouvé de lien de dépendance fonctionnelle entre le gain relatif d'apprentissage et l'attitude des élèves envers la physique *avant* l'expérimentation, nous avons poussé notre recherche en analysant le lien de dépendance fonctionnelle entre le score au pré-test et l'attitude des élèves envers la physique *avant* l'expérimentation, puis le lien de dépendance fonctionnelle entre le score au post-test et l'attitude des élèves envers la physique *après* l'expérimentation, et enfin entre le gain relatif d'apprentissage et l'attitude des élèves envers la physique *après* l'expérimentation, afin de savoir si l'effet attitude n'a pas été dû à la présence du simulateur d'oscilloscope. Ainsi, nous avons été amenés à répondre aux questions statistiques suivantes :

- (1). *Existe-t-il un lien de dépendance fonctionnelle entre le gain relatif d'apprentissage et l'attitude des élèves envers la physique avant l'expérimentation ?*
- (2). *Existe-t-il un lien de dépendance fonctionnelle entre le score au pré-test et l'attitude des élèves envers la physique avant l'expérimentation ?*
- (3). *Existe-t-il un lien de dépendance fonctionnelle entre le score au post-test et l'attitude des élèves envers la physique après l'expérimentation ?*
- (4). *Existe-t-il un lien de dépendance fonctionnelle entre le gain relatif d'apprentissage et l'attitude des élèves envers la physique après l'expérimentation ?*

Le résultat des tests effectués, entre les modalités des deux variables à l'étude, peut être traduit par le système ci-dessous :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \text{il n'y a pas de lien de dépendance fonctionnelle si } p > 0,05 \\ H_1 : \text{il y a un lien de dépendance fonctionnelle si } p < 0,05 \end{array} \right.$$

La normalité de la distribution du gain relatif d'apprentissage, de celle des scores au pré-test et au post-test, n'étant pas assurée dans les deux groupes à la fois, et l'homogénéité des variances des groupes correspondant aux trois modalités d'attitude des élèves envers la

physique (*positif, négatif, neutre*) non plus, nous ont conduits au choix du test de Kruskal-Wallis, un test d'ANOVA non paramétrique. Les résultats de ces traitements sont présentés dans le chapitre *Résultats*.

Il faut noter que, pour la fiabilité du questionnaire d'attitudes après l'expérimentation, nous avons évalué sa cohérence interne en déterminant un coefficient *Alpha de Cronbach* de 0,758 soit 75,8%, pour 294 observations valides sur les 316 élèves (voir annexe A).

Voyons maintenant pourquoi et comment nous avons traité et analysé les données issues du pré-test et du post-test administrés aux élèves pour évaluer leur progression dans la compréhension des deux notions, fréquence et période, à l'issue de l'expérimentation.

5.4.2 Démarche de traitement et d'analyse des données du pré-test et du post-test

5.4.2.1 Objectif du traitement des données du pré-test et du post-test

Comme nous l'avons déjà précisé, l'objectif principal de cette étude, est de chercher à savoir si les élèves des groupes-classes qui ont été enseignés à l'aide du simulateur d'oscilloscope comprennent significativement mieux les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, que les élèves des groupes-classes qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope.

Pour pouvoir répondre à cette question, nous avons cherché à savoir, si, à la fin de l'enseignement à l'aide du simulateur d'oscilloscope, c'est-à-dire, à la fin de l'expérimentation, l'on constate qu'il y a eu un progrès significatif au niveau de la compréhension de ces deux notions. Autrement dit, il s'agit de savoir si, pour un même enseignant, le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe expérimental est significativement supérieur à celui du groupe-classe témoin. Ce qui nous a amenés à nous poser la question statique suivante : ***La stratégie d'enseignement (AVEC ou SANS simulateur) affecte-elle significativement le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes de 4^{ème} de même niveau de départ concernant la compréhension des notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?***

Nous expliquons, dans la section suivante, comment nous avons procédé pour traiter de cette question.

5.4.2.2 Procédure de traitement pour la comparaison des gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes expérimental et témoin d'un même enseignant

Nous avons procédé en plusieurs étapes pour comparer les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes expérimental et témoin.

Nous avons effectué deux sortes d'analyse. Nous avons fait d'abord une analyse globale de la progression des élèves de notre échantillon d'étude. Nous avons divisé l'échantillon en deux groupes, un groupe expérimental, en fusionnant tous les groupes-classes expérimentaux, et un groupe témoin en fusionnant tous groupes-classes témoins. Nous avons fait ensuite une analyse plus fine pour explorer d'avantage les effets liés à l'utilisation du simulateur

d'oscilloscope concernant l'apprentissage des notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale.

Concernant l'analyse globale, nous avons d'abord analysé la progression globale du groupe expérimental, du pré-test au post-test, et également la progression globale du groupe témoin, du pré-test au post-test. Ensuite, nous avons évalué l'équivalence des niveaux de départ et de fin d'expérimentation de chaque groupe pour savoir s'il y avait une différence significative entre les deux niveaux afin de dire si la progression du groupe concerné a été significative ou pas. Enfin, nous avons comparé le gain relatif d'apprentissage du groupe expérimental et celui du groupe témoin pour savoir laquelle des deux méthodes d'enseignement-apprentissage a favorisé le plus la compréhension des notions de fréquence et période, à l'étude.

Concernant les groupes-classes, nous avons cherché à savoir si les groupes-classes en jeu étaient comparables selon leur niveau de connaissances de départ, niveau avant l'expérimentation. Nous avons alors vérifié l'équivalence des deux groupes-classes selon leurs moyennes au score au pré-test. Ensuite, nous avons cherché à savoir si chaque groupe-classe avait progressé dans la compréhension des notions de fréquence et période, au terme de l'enseignement dispensé, à travers leur gain d'apprentissage. Enfin, nous avons cherché à savoir si le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe expérimental était significatif par rapport à celui du groupe-classe témoin.

5.4.2.3 Comparaison des niveaux de connaissances des groupes-classes expérimental et témoin d'un même enseignant avant l'expérimentation

S'agissant du niveau des élèves avant l'expérimentation, nous avons observé plusieurs modalités de scores au pré-test. Ces scores varient de 0 à 6. Nous avons regroupé ces modalités en 4 modalités selon le score obtenu sur une échelle de 10. Ainsi, nous avons créé la variable *Niveau de l'élève au départ*, avec 5 modalités : « *très faible* » pour les scores inférieurs à 3, « *faible* » pour les scores de 3 (inclus) à 5 (exclu), « *Moyen* » pour les scores de 5 (inclus) à 7 (exclu), « *fort* » pour les scores de 7 (inclus) à 9 (exclu), et « *très fort* » pour les scores de 9 (inclus) à 10 (inclus).

La comparaison des niveaux de connaissances, au départ, des groupes-classes expérimental et témoin d'un même enseignant a consisté à faire un test d'équivalence des niveaux de ces deux groupes-classes, à partir des scores au pré-test. Pour cela, nous avons d'abord vérifié la normalité de la distribution de ces scores afin de choisir le test approprié (paramétrique ou non paramétrique). Le test d'équivalence est un test de comparaison de moyennes des deux groupes-classes.

Si μ_1 et μ_2 sont les deux moyennes, H_0 l'hypothèse nulle, et H_1 l'hypothèse alternative, et p la probabilité de rejet de l'hypothèse nulle au seuil de 5%, alors, on a :

$$\left\{ \begin{array}{ll} H_0 : \mu_1 = \mu_2 & \text{si } p > 0,05 \quad (\text{il y a normalité de la distribution}) \\ H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 & \text{si } p < 0,05 \quad (\text{il y a pas de normalité de la distribution}) \end{array} \right.$$

Nous avons ensuite testé l'hypothèse d'homogénéité des variances des scores au pré-test. Si σ_1^2 et σ_2^2 sont les variances respectives des deux groupes-classes, alors on a :

$$\left\{ \begin{array}{ll} H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 & \text{si } p > 0,05 \text{ soit } 5\% \text{ (il y a homogénéité des variances)} \\ H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 & \text{si } p < 0,05 \text{ soit } 5\% \text{ (il n'y pas d'homogénéité des variances)} \end{array} \right.$$

Le résultat du test de normalité a montré que la distribution des scores au pré-test n'est pas normale, pour les deux groupes-classes. Le résultat du test d'homogénéité a montré que les variances des groupes-classes expérimental et témoin ne sont pas non plus homogènes. Cela nous a amenés à choisir le test, non paramétrique, U de Mann-Whitney pour tester l'équivalence des moyennes des scores au pré-test des deux groupes-classe. Nous avons présenté les résultats de ces traitements dans le chapitre *Résultats* en tenant compte de la règle suivante :

$$\left\{ \begin{array}{ll} H_0 : \mu_1 = \mu_2 & \text{si } p > 0,05 \text{ (il y a équivalence des niveaux au départ)} \\ H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 & \text{si } p < 0,05 \text{ (il n'y a pas équivalence des niveaux au départ)} \end{array} \right.$$

Voyons à présent les gains obtenus par chaque groupe-classe afin de savoir si le groupe-classe a progressé ou pas au niveau de la compréhension des notions de fréquence et période étudiées, après la séquence d'enseignement.

5.4.2.4 Progression des groupes-classes expérimental et témoin, d'un même enseignant, entre le début et la fin de l'expérimentation

Nous nous sommes posé la question suivante : ***Pour un même enseignant, le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin ont-ils progressé significativement concernant la compréhension des notions de fréquence et de période d'une tension alternative sinusoïdale après la séquence d'enseignement ?***

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à chaque groupe-classe individuellement. Nous avons analysé l'homogénéité de l'apprentissage au sein du groupe-classe, à partir des scores au pré-test puis au post-test. Dans un deuxième temps, nous avons analysé le progrès réalisé par chaque-classe.

Pour savoir si l'apprentissage était homogène au sein du groupe-classe, nous avons calculé la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation (CV) des scores. Nous l'avons fait pour les scores du pré-test, et pour les scores du post-test, pour le groupe-classe expérimental, et pour le groupe-classe témoin. Le coefficient de variation est l'écart-type relatif⁵⁰ à la moyenne. Il exprime mieux la distance du score à la moyenne des scores indépendamment de l'échelle de notation. Il permet ainsi d'avoir un aperçu global de l'homogénéité des scores au sein d'un groupe-classe par rapport à un autre.

⁵⁰ $CV = \frac{\text{Ecart-type}}{\text{Moyenne}}$

Pour évaluer le progrès réalisé par le groupe-classe par rapport à son niveau de départ concernant la compréhension deux notions étudiées, fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, nous avons déterminé le gain total du score obtenu par le groupe en faisant la différence entre la moyenne des scores au post-test et la moyenne des scores au pré-test. Nous avons ensuite calculé, pour chaque groupe-classe, le gain relatif d'apprentissage. Nous avons considéré qu'il y a progrès dans l'apprentissage lorsque le signe du gain total est positif. Il y a régression lorsque le signe est négatif et il n'y a ni progrès ni régression lorsque le gain total est nul. Pour toutes fins utiles, nous avons établi pour nos échantillons, la répartition des élèves qui ont progressé et celle des élèves qui n'ont pas progressé.

Cependant, ces progrès sont-ils significatifs au niveau de chaque groupe-classe ? Pour répondre à cette question, nous nous sommes basés sur le critère de significativité de l'apprentissage selon D'Hainaut (1975, pp. 158-159). En effet, pour D'Hainaut, le progrès concernant un apprentissage est significatif lorsque le gain relatif d'apprentissage est supérieur à 30-35%, (Ouattara, 2019, 96). Dans le cas de notre étude, il y a eu certes progrès au niveau de chaque type de groupe-classe, mais ces progrès ne sont pas significatifs car le gain relatif de chaque groupe-classe ne dépasse pas 30%. Tous les résultats des traitements sont présentés dans le chapitre *Résultats*.

Par ailleurs, nous constatons que dans la majorité des cas, où les groupes-classes sont comparables, d'après leur niveau identique au départ de l'expérimentation, les gains relatifs des groupes-classes expérimentaux sont supérieurs à ceux des groupes-classes témoins. Mais ces différences sont-elles significatives ? En d'autres termes, malgré ces différences perçues, les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes d'un même enseignant ne sont-ils pas équivalents ?

5.4.2.5 Comparaison des gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes expérimental et témoin d'un même enseignant

Pour comparer les gains relatifs d'apprentissage du groupe-expérimental et du groupe témoin d'un même enseignant, nous nous sommes d'abord intéressés aux niveaux de départ de ces deux groupes-classes afin de savoir s'ils étaient identiques avant l'expérimentation. La comparaison des niveaux de départ des groupes-classes des cinq enseignants, A, B, C, D, et E, a montré que les groupes-classes de chaque enseignant avaient le même niveau de connaissance au départ de l'expérimentation, sauf dans le cas de l'enseignant E où le niveau de connaissances du groupe-classe témoin était plus élevé que celui du groupe-classe expérimental.

Pour la comparaison des gains relatifs des deux groupes-classes, des enseignants, A, B, C, et D, nous avons effectué un test d'équivalence des moyennes de ces deux groupes-classes, expérimental et témoin, afin de savoir si ces moyennes étaient significativement différentes ou pas. Pour ce faire, nous avons choisi le test non paramétrique U de Mann-Whitney, après avoir montré que la normalité de la distribution des gains relatifs d'apprentissage n'était pas vérifiée, et que l'homogénéité des variances des moyennes des scores n'était pas non plus assurée. Les résultats de ces tests sont présentés dans le chapitre *Résultats*.

Pour la comparaison des groupes-classes, expérimental et témoin, de l'enseignant E, nous avons d'abord comparé les niveaux de fin de ces groupes-classes, vu que les niveaux de ces groupes-classes étaient différents au départ. Nous avons ensuite comparé les gains relatifs des deux groupes-classes afin de savoir dans lequel de ces groupes-classes la progression a été relativement la plus forte. Ainsi nous avons considéré que le groupe-classe ayant le plus petit niveau de départ a le plus progressé si le gain relatif d'apprentissage est supérieur à celui du groupe-classe qui avait le niveau le plus élevé au départ. Nous avons également analysé l'évolution de la progression de chaque catégorie d'élèves (chaque modalité du niveau de départ) dans chaque groupe-classe. Cette analyse a consisté à savoir si le nombre d'élèves d'une catégorie inférieure a diminué au profit de catégories supérieures. Il s'agit de savoir, par exemple, si au post-test, le nombre de faibles a diminué par rapport au pré-test.

5.4.3 Démarche de traitement et d'analyse des données de l'observation directe de classe

5.4.3.1 But de l'analyse des données de l'observation directe de classe

Pour vérifier les hypothèses H3 et H4, nous avons besoin des données sur l'implication des élèves dans la démarche d'investigation POE pratiquée par l'enseignant, ainsi que le niveau de cette pratique. Pour la vérification des hypothèses H5 et H6, les données dont nous avons besoin sont celles relatives à la participation globale des élèves des groupes-classes dans le déroulement du cours, et celles qui caractérisent la pédagogie de l'apprentissage pratiquée également par l'enseignant. Enfin pour la vérification de l'hypothèse H7, et celle de l'hypothèse H8, nous avons besoin d'avoir les données sur l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, par l'enseignant, afin de savoir si elle a été appropriée ou non, ainsi que sur les conditions de cette utilisation. Tous ces éléments de savoir, ne peuvent être repérés qu'à travers les actions de l'enseignant, le comportement des élèves, et les événements qui se produisent dans l'environnement propre de la classe, qu'il est indispensable d'observer et de constater.

Le traitement des sources de l'observation directe, en l'occurrence, l'enregistrement vidéo, permettant de revenir sur les scènes des séquences de cours, mais aussi les prises de notes des blocs-notes, a pour but d'identifier les indicateurs de ces données. Ce traitement a donc consisté à analyser le contenu de ces sources pour en extraire les informations nécessaires à notre étude.

5.4.3.2 Choix de l'approche d'analyse des données de l'observation directe : l'analyse du contenu

L'approche d'analyse que nous avons choisie est une approche dite analyse de contenu catégorielle. C'est une approche qualitative parmi les différentes approches d'analyse des données qualitatives existantes. Elle propose « *une stratégie qui réduit les données à leur signification considérée comme universelle et reproductible* » (Berrouk, 2010, p. 117 cité par Ouattara, 2019, p. 80). Berelson, cité par Leray (2008, p. 5), la définit comme « *une technique de recherche servant à la description objective, systématique et quantitative du contenu manifeste des communications* ». D'après L'Écuyer (2011, p. 9), il s'agit plutôt d'une

description objectivée qu'une description objective. L'objectivation renvoyant, selon lui, au fait que deux personnes différentes, analysant un même contenu, devraient pouvoir arriver aux mêmes conclusions. Tandis que l'objectivité, souvent mise en opposition avec la subjectivité, peut reposer sur des critères encore plus subjectifs que ceux utilisés dans les approches qualifiées de subjectives (L'Écuyer, 2011, p. 10). Enfin, l'analyse de contenu catégorielle permet de retracer, de quantifier, et même d'évaluer les idées ou les sujets contenus dans un corpus (Leray, 2008, p. 5) ou encore de classifier ou de codifier des éléments recherchés dans le matériel analysé (L'Écuyer 2011, pp. 6-9). Nous décrivons ci-dessous le principe de réalisation d'une analyse de contenu.

5.4.3.3 Principes et phases chronologiques de l'analyse des données de l'observation directe

En effet, l'application de l'analyse de contenu catégorielle, à un corpus, obéit à des principes généraux et des phases chronologiques (Ouattara, 2019, p. 82), 3 phases selon Wanlin (2007, p. 249) : la préanalyse, l'exploitation du matériel ainsi que le traitement des résultats, l'inférence et l'interprétation. Pour plus de clarté dans la mise en œuvre de cette analyse, L'Écuyer (2011, pp. 57-114) propose 6 étapes. Ce sont : *Lectures préliminaires et établissement d'une liste d'énoncés* (étape 1), *choix et définition des unités de classification* (étape 2), *processus de catégorisation et de classification* (étape 3), *quantification et traitement statistique* (étape 4), *description scientifique* (étape 5), et *interprétation des résultats* (étape 6).

L'étape 1 consiste à lire, à plusieurs reprises, toutes les vidéos de cours afin d'identifier les particularités du corpus, se familiariser avec son contenu et retenir les idées-forces. Cette étape conduit à l'élaboration d'une grille d'analyse ou grille d'encodage comportant des catégories et parfois des sous-catégories de variables ainsi que les unités de classification et leur définition.

L'étape 2 concerne le choix de l'unité d'information en tant qu'unité de sens ou de classification. C'est la plus petite unité de mesure de l'information recherchée. Elle peut être une idée, un signe, un mot, un groupe de mots, une phrase ou une portion de phrase voire un paragraphe ou un texte entier (Leray, 2008 et Quintin, 2008 cités par Ouattara, 2019, p. 80, L'Écuyer, 2011, p. 59). Son choix dépend des objectifs de la recherche et du type d'analyse de contenu que l'on souhaite faire, analyse quantitative de contenu ou analyse qualitative de contenu (L'Écuyer, 2011, pp. 59-60).

L'étape 3 concerne l'exploitation du matériel. En d'autres termes, il s'agit du codage ou de l'encodage du corpus, et de l'affectation des différentes unités de sens dans leurs catégories respectives.

L'étape 4 comporte deux volets. Le premier volet concerne la quantification des unités de sens. Elle consiste à compter, à l'intérieur de chaque catégorie, le nombre d'unités de sens et à calculer les fréquences ou les pourcentages d'apparition de ces unités de sens d'un mot, d'un symbole, d'une phrase ou d'une expression caractéristiques, Le volet traitement statistique concerne les calculs et test statistiques en vue de faire des comparaisons par rapport à d'autres variables (exemple : comparer deux groupes en fonction de la fréquence d'apparition de l'unité d'information considérée).

L'étape 5 est celle que L'Écuyer a appelée « description scientifique ». Elle correspond à l'étape de l'analyse quantitative de contenu, à partir des résultats de l'étape 4, et de l'analyse qualitative de contenu. L'analyse quantitative consiste à donner un ordre de grandeur de la répartition des unités de sens dans les différentes catégories de la grille d'analyse (L'Écuyer, 2011, p. 101). Elle peut également consister à comparer les similitudes ou les différences entre deux ou plusieurs groupes en faisant ressortir les corrélations ou les variations éventuelles. Quant à l'analyse qualitative, elle consiste, au-delà des chiffres, à « *décrire les particularités spécifiques des différents éléments (mots, phrases, idées, ...) regroupés sous chacune des catégories et qui se dégagent en sus des seules significations quantitatives* » (L'Écuyer, 2011, p. 31). La dernière étape, l'étape 6, concerne l'interprétation des résultats. Celle-ci est diversement appréhendée, selon les auteurs cités par L'Écuyer (2011, p. 109).

Ainsi, pour Clapier-Valladon (1980a), l'interprétation peut consister à analyser les relations entre les différentes composantes du corpus afin de comprendre le sens du phénomène analysé. Pour d'Unrug (1974), elle vise à expliquer les causes des résultats de l'analyse quantitative et de l'analyse qualitative ainsi que la signification de ces causes. Enfin pour Giorgi (1971, 1975a), elle renvoie à l'« *explication de ce qui se passe dans le sujet à partir du matériel analysé pour mieux comprendre ce qui se joue en lui (...)* ». ».

Nous dirons, simplement, en accord avec L'Écuyer (2011, p. 110) que l'interprétation permet de répondre aux questions soulevées par les objectifs de la recherche. Il faut noter qu'il peut arriver que la quantification des unités de sens ne soit pas nécessaire à l'intérieur des catégories, surtout, comme le dit Berelson (1952, p. 119 cité par L'écuyer, 2011, pp. 99-100), lorsque, par exemple, l'analyse porte sur la présence ou l'absence de l'élément de contenu recherché, ou lorsque les catégories sont nombreuses et que les énoncés sont en très petits nombres, non significatifs, dans chaque catégorie (L'Écuyer, 2011, p. 99) ou encore « *lorsque les catégories sont elles-mêmes peu « formalisées » (Berelson 1952, pp. 125-126), c'est-à-dire lorsque l'objectif poursuivi vise une analyse assez générale du phénomène plutôt que très détaillée.* » (L'Écuyer, 2011, p. 99).

Il faut noter que nous avons observé et filmé 13 séquences de cours : 3 pendant la pré-étude, avec un même enseignant que nous avons désigné par P0, et 10 pendant l'expérimentation en vraie grandeur, avec 5 enseignants désignés A, B, C, D, E (soit 2 enregistrements par enseignant). Tous les enregistrements vidéo ont été transcrits sur support papier afin de pouvoir rechercher, plus facilement, les indicateurs liés à la pratique de l'enseignant (démarche P-O-E et pédagogie de l'apprentissage), à l'attitude et à la participation du groupe classe pendant le déroulement de la leçon, à l'utilisation du simulateur informatique par l'enseignant, et aux conditions d'utilisation du simulateur. Les transcriptions ont été faites par 2 jeunes enseignants de physique chimie (1 homme et 1 femme), professeurs de lycée et collège, et 2 étudiants de niveau licence. Elles sont consignées dans le document Annexe B. Nous présentons, dans la section suivante, la norme de transcription que nous avons utilisée.

5.4.3.4 Norme et procédure de transcription adoptée dans notre recherche

Pour réaliser la transcription, nous nous sommes attachés à appliquer les règles du cadre de référence de la 34^{ième} section du CNRS dont un exemplaire est étudié au sein du laboratoire

ICAR (UMR 5191) émanant de la convention ICOR servant à notifier les phénomènes oraux et verbaux. Un axe de recherche existe en Sciences du Langage pour définir les méthodologies de transcription des phénomènes oraux et verbaux. C'est dans une perspective de partage de corpus (cf. projet CLAPI) que nous nous sommes intéressée à cette dimension. Nous retenons pour notre travail plusieurs sources dont voici une synthèse Webographique⁵¹ :

- La convention ICOR (2013) et sa version 2 [1] ;
- Un premier article de recherche de V. Traverso, 2012 ;
- Un second article de recherche de V. Traverso, 2008 ;
- Le travail de norme sur la base du cadre de référence de l'Université Montpellier3 [2] ;
- Le travail sur la norme du CNTRL [3] ;
- L'article de recherche de L. Mondada, 2000.

Nous retenons pour notre travail :

- Le temps ;
- Le numéro de tour de paroles ;
- Les changements de locuteur ;
- Les chevauchements ne sont pas représentés mais sont pris en compte en termes de changement de locuteur ;
- Les pauses ne sont pas notifiées ;
- Aucune ponctuation n'est mise, sauf pour les cas clairement identifiables par l'intonation, la prosodie des réponses au sens du rythme et des sons associés aux mots ;
- La fin d'une phrase est notifiée par le sigle suivant (.).

Pour réaliser cette transcription, nous nous appuyons sur un tableau à 5 entrées (ou colonnes) qui se présente comme suit :

Temps	Tour de parole	Locuteur	Contenu verbal	Gestes + ressource
-------	----------------	----------	----------------	--------------------

Le contenu de chaque colonne est le suivant :

- Temps : temps au début du tour de paroles depuis le début de l'entretien ;
- Tour de parole^o: numéro du tour de paroles ;
- Locuteur : identifié par « E » pour les élèves, « P » pour l'enseignant, et « CH » pour le chercheur ;
- Contenu verbal : contenu verbal des locutions en respectant notre « code » de transcription ;
- Gestes + ressources: contenu non verbal correspondant à des gestes, des postures, etc.

⁵¹[1] Corinte, (s .d.). Repéré à http://icar.univ-lyon2.fr/projets/corinte/bandeau_droit/convention_icor.htm

[2] Université de Montpellier. Normes de transcription. (s.d.). Repéré à <http://asl.univ-montp3.fr/UE11/norme.pdf>

[3] Université de Nancy. ATILF UMR 7118 TCOF. Traitement de corpus oraux en français. (s.d.). Repéré à <http://www.cnrtl.fr/corpus/tcof/TCOFConventions.pdf>

❖ *Données primaires et données secondaires*

La donnée primaire est l'enregistrement vidéo des séquences de cours ou audio des entretiens d'explicitation. La transcription est considérée comme la donnée secondaire.

❖ *Réduction des données secondaires : l'encodage des transcriptions*

La réduction des données secondaires se réalise par l'encodage des contenus oraux et verbaux des enseignants en fonction de la grille d'analyse issue du cadrage théorique (voir tableaux Annexes A9 et A10). Chaque registre de chaque catégorie se voit identifié par un code unique de 1 à 3 lettre(s). Les premières grilles d'encodage comportaient au total 109 codes dont 53 codes pour les actions de l'enseignant, 24 codes pour le comportement des élèves, et 32 codes concernant la manière d'utiliser le simulateur d'oscilloscope. Nous avons effectué une première réduction en revisitant la littérature scientifique pour rendre plus concises nos grilles d'encodage. Par exemple, pour la première grille concernant les actions de l'enseignant, nous nous sommes basés sur le modèle MFS-TST de Lopes et al.(2010), en ne considérant que la catégorisation concernant les questions de prédiction, les questions d'observation, les questions d'explication, les questions de rappel ainsi que les autres types de questions et le répondant à la question posée, selon le modèle de la démarche d'investigation POE proposé par Rutten et al.(2015, p. 1231). Ces éléments sont suffisants pour la détermination du SRR et de l'ICS. Ainsi, nous avons laissé tomber, de la toute première grille construite à partir de celle utilisée par Ngunu Hungu (2012, p. 272), la catégorisation concernant le style de l'enseignant.

Pour la catégorisation concernant les variables effets-clés retenues pour la pratique pédagogique de l'enseignant, à savoir, la stimulation cognitive et motivationnelle (SCM) de la classe, l'implication et l'engagement à la tâche (IET) [du groupe-classe], la réponse et le renforcement des réponses-élèves (RER), la régulation interactive (RI) et le climat social (CS), nous avons identifié 14 codes dans le modèle MFS-TST. Au total, pour ces deux pratiques, nous avons finalement généré 18 codes correspondant aux indicateurs de ces variables catégorielles (4 pour la démarche POE, et 14 pour la pratique pédagogique). Pour les élèves, nous n'avons retenu que la catégorisation concernant le comportement du groupe-classe, caractérisé par l'attention, la participation et l'implication du groupe-classe dans la pratique de la démarche d'investigation. Nous avons obtenu 15 codes. Dans le cas de l'utilisation du simulateur, le nombre de code est resté inchangé, soit 32 codes. Nous avons donc réduit le nombre de codes de 109, initialement, à 63 codes, au total.

Nous avons réalisé une deuxième réduction grâce à l'encodage du corpus de données d'observation en regroupant des codes qui prêtaient à confusion. Nous présentons ci-dessous le processus d'encodage mis en œuvre.

❖ *Processus d'encodage : exemple d'encodage*

Pour fiabiliser, notre grille d'encodage, nous avons d'abord fait un inter-codage de 5 min de vidéos de l'enseignant P0, par nous-mêmes et 2 de nos pairs doctorants. Pour ce faire, nous avons mis un kit d'encodage, composé d'un extrait de vidéo de 5 min, d'un document comportant 1 minute d'encodage, d'un glossaire sur les codes élaborés.

Nous avons ensuite réalisé un autre inter-codage complet de toutes les vidéos des séquences de cours SANS et AVEC le simulateur informatique de l'enseignant P0, par les 2 jeunes enseignants de physique chimie et nous-mêmes. L'inter-codage avait pour but de déterminer les écarts d'interprétation des indicateurs qui pouvaient exister entre encodeurs.

Dans les sections qui suivent, nous rapportons les traitements que nous avons effectués dans le cadre de notre étude concernant les différents éléments de savoirs que nous recherchons par l'observation directe.

5.4.3.5 Des éléments de savoir de la démarche d'investigation POE : implication des élèves (SRR) et pratique enseignante (ICS)

Les éléments de sens que nous avons cherché à mettre en évidence sont ceux qui caractérisent l'implication des élèves dans la démarche d'investigation POE, et ceux qui caractérisent la pratique de cette démarche par l'enseignant. Le repérage de ces éléments de sens, nous ont permis de déterminer le Student Response Rate (SRR) ou le taux de réponse des élèves du groupe-classe aux questions posées par l'enseignant au cours de la pratique de cette démarche, et l'Inquiry cycle Score (ICS) ou le score matérialisant le niveau de pratique de la démarche POE par l'enseignant. Pour faciliter l'identification de ces éléments de sens, nous avons élaboré une grille d'observation ou d'encodage de ces éléments (voir à l'annexe A9).

Pour calculer l'ICS, Rutten et al. (2015, p. 1231) ont défini un système de pondération hiérarchique se présentant comme suit : P-O-E = 6 ; P-E = 5 ; P-O = 4 ; P = 3 ; E = 2 ; O-E = 2 et E = 1. Le raisonnement qu'ils mettent en avant, pour justifier la pondération hiérarchique, est que, le niveau taxonomie d'une question d'observation est plus bas que celui d'une question de prédiction, et d'une question d'explication, selon la taxonomie de Bloom. De plus, ils estiment qu'une démarche d'investigation ne vaut que par l'existence d'une question de prédiction. Un cycle complet, est constitué d'une question de prédiction (P), suivie d'une question d'observation (O), elle-même, suivie d'une question d'explication (E). Ils définissent comme question de prédiction, toute question posée aux élèves en vue de prévoir le comportement du phénomène avant même l'expérimentation, en ces termes, « *Students are asked to predict how a phenomenon will develop further before this has actually happened* » (Rutten et al., 2015, p. 1231).

Une question d'observation est une question posée aux élèves sur ce qu'ils observent au moment où le phénomène se manifeste. C'est, par exemple, une question du genre « *And what do you see right now?* ». Enfin, une question d'explication est une question posée aux élèves d'expliquer pourquoi le phénomène se comporte d'une certaine façon, par exemple, « *Now how do you explain this result?* ». Dans l'apparition des occurrences, des pondérations peuvent se chevaucher. Dans ce cas, les auteurs suggèrent, lorsque des cycles se chevauchent, que le cycle ayant la pondération la plus élevée soit retenu. Par exemple, dans le cas de la séquence P-P-P-O-E-E, nous ne comptons pas séparément, P, PO, PE ou E. Ici, le cycle qui sera retenu est le cycle POE car c'est lui qui a le poids le plus élevé, soit 6. Il faut noter qu'un cycle OOO, n'est pas compté. Il est exclu. En revanche, les cycles PPPP ou EEE, sont comptés une seule fois, P, ou E. Dans cette méthode, les questions de rappel et autres types de questions sont ignorés. Grâce à l'analyse du contenu des transcriptions des enregistrements vidéo des séquences de

cours effectués (voir document Annexes B: Transcriptions), nous avons relevé les occurrences des différents types de questions (P, O, E, et r), posées par chaque enseignant. Les questions mises en rouge sont celles qui ont été répondues par le groupe-classe.

L'implication du groupe classe dans le déroulement de la démarche d'investigation, et donc, pendant les phases de *Prédiction-Observation-Explication*, est évaluée à l'aide du taux de réponses-élèves (*Student Response Rate (SRR)*) (Rutten et al., 2015). Pour calculer ce taux de réponses-élèves, seules les réponses aux questions de physique ont été considérées. Nous considérons comme questions de physique, les questions de *connaissance* (K), les questions de *rappel* (r), les questions de *prédiction* (P), les questions d'*observation* (O) et les questions d'*explication* (E). Le SRR du groupe-classe, selon le modèle de (Rutten et al., 2015), est donné par la formule⁵² suivante :

$$SRR = 100 * \frac{\text{Nb. de Q. rép. par le Gpe Clas.}}{\text{Nb. de Q. rép. par le Gpe Clas.} + \text{Nb. de Q. rép. par l'ens.}}$$

Nous donnons, ci-dessous, un exemple de calcul, d'ICS et de SRR, à partir du cas de l'enseignant A, en charge du groupe-classe expérimental, Ay. La figure 12, ci-après, est un extrait du tableau que nous avons élaboré pour présenter les occurrences que nous avons relevées concernant les différents types de questions :

	ICS	SRR	
Ay	12	40	60 E P P O E O r r O E O P r r P
Bx	10	42	58 r r r r E E r r r E P E O O O r O P O O r r
By	26	68	32 r r r r r r r r r r O P O E O O O O O E O O
Cx	2	33	67 O O E

Figure 12. Extrait du tableau des relevés des occurrences du cycle POE de la démarche d'investigation (voir Annexe A15)

Ainsi, les occurrences des types de questions posées par l'enseignant A, lors de la séquence de cours avec le sous-groupe expérimental Ay, sont (d'après l'échelle de pondération hiérarchique) :

$$\begin{matrix} \text{E} & \text{P} - \text{P} - \text{O} - \text{E} - \text{O} & \text{r} - \text{r} & \text{O} - \text{E} & \text{O} & \text{P} - \text{r} - \text{r} - \text{P} \\ || & & & || & & || \\ 1 & + & 6 & + & 2 & + & 3 = 12 \end{matrix}$$

Donc, nous avons :

⁵² Significations : Q =Question, rép. Répondues ; Gpe Clas = Groupe classe, ens. = Enseignant

$$\text{ICS} = 1 + 6 + 2 + 3 = 12$$

$$\text{SRR} = 100 * \frac{6}{15} = 40$$

Le tableau 13 présente les tests que nous avons réalisés pour vérifier les hypothèses H3 et H4. Dans ce tableau, nous avons libellé les hypothèses sous leur forme simplifiée.

Hypothèses	Tests réalisés
H3 : Le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend du <i>Student Response Rate</i> (SRR)	Test de corrélation linéaire entre le gain relatif d'apprentissage et le SRR
H4 Le Student Response Rate (SRR) dépend de l' <i>Inquiry Cycle Score</i> (ICS)	Test de corrélation linéaire entre le SRR et l'ICS

Tableau 13. Tests de vérification des hypothèses 3 et 4 relatives à la démarche d'investigation POE

Nous avons indiqué les résultats des différents traitements dans le chapitre concernant les résultats. À présent, voyons, dans la section ci-dessous, comment nous avons procédé pour la pratique de la pédagogie de l'apprentissage.

5.4.3.6 Des éléments de savoir de la pédagogie centrée sur l'apprentissage : participation globale des élèves et pratique pédagogique de l'enseignant

Les éléments de sens que nous avons cherchés à mettre en évidence concernent ceux relatifs aux actions de l'enseignant, et aux comportements des élèves du groupe-classe. Concernant l'enseignant, il s'agit des actions à l'endroit du groupe-classe, qui tendent à engendrer sa *stimulation cognitive et motivationnelle* (SCM), son *implication et son engagement dans la tâche* (IET), mais aussi des actions de *régulation interactive* (RI) de l'activité du groupe-classe, de *renforcements et d'évaluation des réponses* (RER) du groupe-classe, de rappel à l'ordre pour maintenir un *climat social* (CS) apaisé dans le groupe-classe. Concernant les élèves du groupe-classe, il s'agit d'indicateurs qui montrent que le groupe-classe participe au déroulement du cours, à la construction du savoir. Il s'agit donc des éléments qui montrent que le groupe-est attentionné et intéressé par ce que fait l'enseignant, ses interactions avec l'enseignant, etc.

Pour repérer les indicateurs dont nous avons parlé précédemment, nous avons élaboré une grille d'encodage des actions de l'enseignant (voir annexe A) et une grille d'encodage des éléments de comportement des élèves du groupe-classe (voir annexe A10). Pour l'enseignant, nous nous sommes basés sur le modèle MFS-TST (*Model of Formative Situation for Teaching Science and Technology*) de Lopes et al. (2010), et celui de Rutten et al. (2015). Pour le groupe-classe, nous nous sommes référés, certes, à la grille de Rutten et al. (2015), mais aussi à celle de Ngunu H. (2012). Pour assurer la fiabilité de nos grilles, nous avons fait faire des essais d'encodage par deux de nos pairs. Nous avons mis à leur disposition un kit d'encodage composé de la grille d'encodage avec une description des éléments de sens, un extrait d'enregistrement vidéo, et un exemple d'encodage. Cette approche nous a permis de réduire la liste des éléments

de sens en combinant certains éléments, et d'améliorer aussi la description des éléments de sens.

Pour connaître le niveau de pratique de la pédagogie d'apprentissage de chaque enseignant, et le niveau de participation des groupes-classes au déroulement du cours, nous avons déterminé le nombre d'occurrences des indicateurs de SCM, IET, RI, RER et CS. Ensuite, nous avons fait une analyse quantitative du contenu des séquences de cours à partir de tests statistiques. Le test a consisté à déterminer l'intensité du lien entre le niveau de participation du groupe-classe et le niveau de pratique de la pédagogie centrée sur l'apprentissage. Le tableau 14 présente les tests que nous avons réalisés pour vérifier les hypothèses H4 et H5. Dans ce tableau, nous avons libellé les hypothèses sous leur forme simplifiée.

Hypothèse	Test réalisé
H5 : Le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend de leur niveau de participation globale dans le cours.	Test de corrélation linéaire entre le gain relatif d'apprentissage et le niveau de participation globale du groupe-classe.
H6 : Le niveau de participation globale des groupes-classes dépend du niveau de pratique de la pédagogie de l'apprentissage de l'enseignant.	Test de corrélation linéaire entre Niv.Participation et Niv.Pratique PA

Tableau 14. Tests de vérification des hypothèses 3 et 4 relatives à la pédagogie de l'apprentissage

Les résultats de ces tests sont présentés dans le chapitre des résultats. La section suivante s'intéresse au traitement des éléments de sens de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope par l'enseignant.

5.4.3.7 Des éléments de savoir de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope et des conditions de son utilisation

Pour vérifier l'hypothèse H7, nous avons fait une analyse qualitative à partir de la présence ou non des éléments de sens lors de l'utilisation du simulateur par l'enseignant pendant la séquence de cours. Pour repérer la présence des indicateurs d'utilisation, nous avons élaboré, en absence, dans la littérature scientifique, de modèles de grille standard dédiée à une telle utilisation, une grille d'encodage (voir annexe A), en nous basant, notamment, sur les éléments de connaissance de la théorie des deux mondes, du contrat didactique en termes d'objectif de l'apprentissage, et sur le moment d'utilisation des simulations (Spodniakovà Pfefferovà, 2015).

Le tableau 15 indique l'analyse que nous avons réalisée pour vérifier l'hypothèse H7.

Hypothèse	Type d'analyse réalisée
H7 Les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes dépendent de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope par l'enseignant, pendant la	Analyse qualitative de contenu basée sur la congruence des objectifs d'apprentissage des élèves avec celui de l'enseignant, de la mise en relation des concepts, de la

construction des connaissances sur les concepts de physique en jeu.	présentation des différents registres des concepts et du moment d'utilisation du simulateur.
---	--

Tableau 15. Tests de vérification des hypothèses 3 et 4 relatives à la pédagogie de l'apprentissage

Nous avons aussi observé les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope pendant la séquence de cours, à travers l'environnement de la salle, et les comportements des élèves, leur confort assis, ainsi que l'intensité de la chaleur et celle du bruit que nous percevions. Cependant, pour conforter notre constat, nous avons estimé qu'il fallait connaître les ressentis des élèves eux-mêmes sur la question.

5.4.4 Démarche de traitement et d'analyse des données des entretiens individuels et collectifs semi-dirigés

5.4.4.1 But de l'analyse des données de l'entretien semi-directif avec élèves et enseignants et choix de l'approche d'analyse

L'analyse des données de l'entretien avait pour but de repérer, dans les discours des élèves mais aussi des enseignants, des extraits significatifs de déclaration relatifs aux conditions d'apprentissage dans lesquelles se trouvaient les élèves lors de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope. Ces extraits renvoient aux ressentis des élèves eux-mêmes mais aussi aux perceptions des enseignants sur ces conditions. L'objectif visé par cette analyse était de mettre en évidence que le gain relatif d'apprentissage dépend également des conditions d'apprentissage avec le simulateur d'oscilloscope, notre hypothèse H8.

Au-delà des conditions d'apprentissage, nous voulions aussi, à travers les extraits de discours des élèves, et des enseignants, savoir les effets perçus du simulateur d'oscilloscope, par les élèves et les enseignants, sur leurs activités cognitives, notamment en termes d'amélioration de la mémorisation des informations, de facilitation de l'apprentissage ou du processus enseignement-apprentissage, d'amélioration de la concentration des élèves, ou tous autres effets bénéfiques. Nous entendions ainsi vérifier l'hypothèse H9 de notre étude.

L'approche d'analyse que nous avons choisie est la même que dans le cas de l'observation directe de classe. Il s'agit de l'analyse de contenu catégorielle dont nous avons décrit en détail le principe de mise en œuvre dans la partie concernant la démarche et le traitement des données de l'observation directe.

Nous rappelons que les entretiens avec les enseignants étaient individuels. En revanche, pour le groupe-classe, nous avons mené l'entretien avec l'ensemble des élèves de la classe. Tous ces entretiens étaient semi-directifs. Nous avons élaboré une grille d'encodage du contenu des enregistrements audio ou vidéo de ces entretiens (voir annexe A). Les extraits que nous recherchions concernent l'objectif du cours utilisant le simulateur d'oscilloscope afin de savoir s'il y avait congruence avec l'objectif du cours prévu par l'enseignant. Ces extraits concernent aussi les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope, l'utilisation du simulateur en termes de mise en relation avec les notions de fréquence et de période, les effets cognitifs perçus par les élèves dans le cadre de l'apprentissage des notions de fréquence et de période, mais également des effets perçus par les enseignants sur leur pratique pédagogique.

5.4.4.2 De la congruence de l'objectif du cours perçu par les élèves du groupe-classe avec celui de l'enseignant

Citant Vermunt & Verloop (1999), Rutten et al. (2015) rapportent que « *learning can be disrupted by a lack of congruence between students' self-regulation and teachers' external regulation of learning processes* » (Rutten et al., 2015, p. 1228). Pour construire un apprentissage efficace, la congruence entre les buts d'apprentissage des élèves et de l'enseignant est donc considéré comme un aspect important du processus d'apprentissage par les auteurs. L'enseignant devra donc, en début d'activité, définir clairement l'objectif d'apprentissage (Cilianu-Lascu, 2001, p. 30) et en vérifier la compréhension par les élèves.

Dans le cadre de notre étude, nous avons posé, au cours de nos entretiens avec les élèves des groupes-classes expérimentaux des enseignants B, D et E, des questions tendant à déceler ce que les élèves avaient compris comme objectif d'apprentissage lors de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope. Nous avons formulé ces questions sous différentes formes, par exemple, *qu'est-ce que l'enseignant voulait vous faire comprendre en utilisant le simulateur d'oscilloscope ? Sur quoi portait le cours ?* Nous rapportons, dans la partie présentation des données issues des entretiens semi-directifs avec élèves et enseignants, du chapitre *Résultats*, des extraits significatifs des élèves en réponse à cette question.

5.4.4.3 Des éléments de savoir sur les conditions d'utilisation du simulateur pendant l'apprentissage des notions de fréquence et de période

Concernant la vérification de l'hypothèse H8, les données dont nous avons besoin étaient celles qui étaient en rapport avec les conditions d'utilisation du simulateur. Nous faisons allusion, en particulier, au confort assis des élèves du groupe-classe, à la chaleur dans la salle de classe, ou au manque de circulation d'air, aux bruits gênant l'audition du discours de l'enseignant, ou encore à la visibilité de l'image vidéo-projetée du simulateur d'oscilloscope sur l'écran ou de tous autres événements défavorables. Nous avons donc identifié tous les extraits de discours renvoyant à ses éléments. Nous les présentons également dans le chapitre *Résultats*. Le tableau 16 indique le type d'analyse que nous avons réalisée pour vérifier l'hypothèse H8 de notre étude.

Hypothèse	Type d'analyse réalisée
H8 : Les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes dépendent des conditions d'utilisation du simulateur.	Analyse qualitative consistant à mettre en évidence les difficultés d'apprentissage ou non des élèves dans les conditions d'utilisation du simulateur, à travers leurs déclarations.

Tableau 16. *Analyse qualitative des gains relatifs d'apprentissage par rapport aux conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope*

Voyons à présent, le rôle significatif que le simulateur d'oscilloscope a joué dans la construction des savoirs liés aux notions de fréquence et de période, ainsi ses effets sur le processus enseignement-apprentissage.

5.4.4.4 De l'utilité du simulateur d'oscilloscope et des effets cognitifs de son utilisation sur le processus enseignement-apprentissage

Le but même de ce travail de recherche est de tenter de mettre en évidence l'impact de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur la compréhension des élèves concernant les notions de fréquence et de période d'une tension alternative sinusoïdale, en classe de 4^{ème}, niveau collège en Côte d'Ivoire. Nous avons analysé cet impact à deux niveaux : au niveau de l'utilisation même du simulateur d'oscilloscope pour la construction des savoirs concernant les notions de fréquence et de période selon la théorie des deux mondes (Tiberghien & Vince, 2005 ; Buty, 2003), et au niveau des effets perçus par les élèves et les enseignants sur leurs activités cognitives.

Concernant l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, nous nous sommes intéressés aux extraits de discours qui renvoient au fait d'associer, par exemple, la notion de fréquence, ou celle de période, à un évènement qui se produit dans le monde physique, et en lien avec l'utilisation du simulateur. Ici, nous avons considéré comme évènement du monde matériel les évènements plutôt simulés (ou modélisés) sur l'écran du simulateur d'oscilloscope. Le fait de pouvoir faire cette mise en relation des notions de fréquence et de période, avec ces évènements liés au phénomène étudié, est pour nous une preuve de l'utilité du simulateur pour l'apprentissage de ces notions.

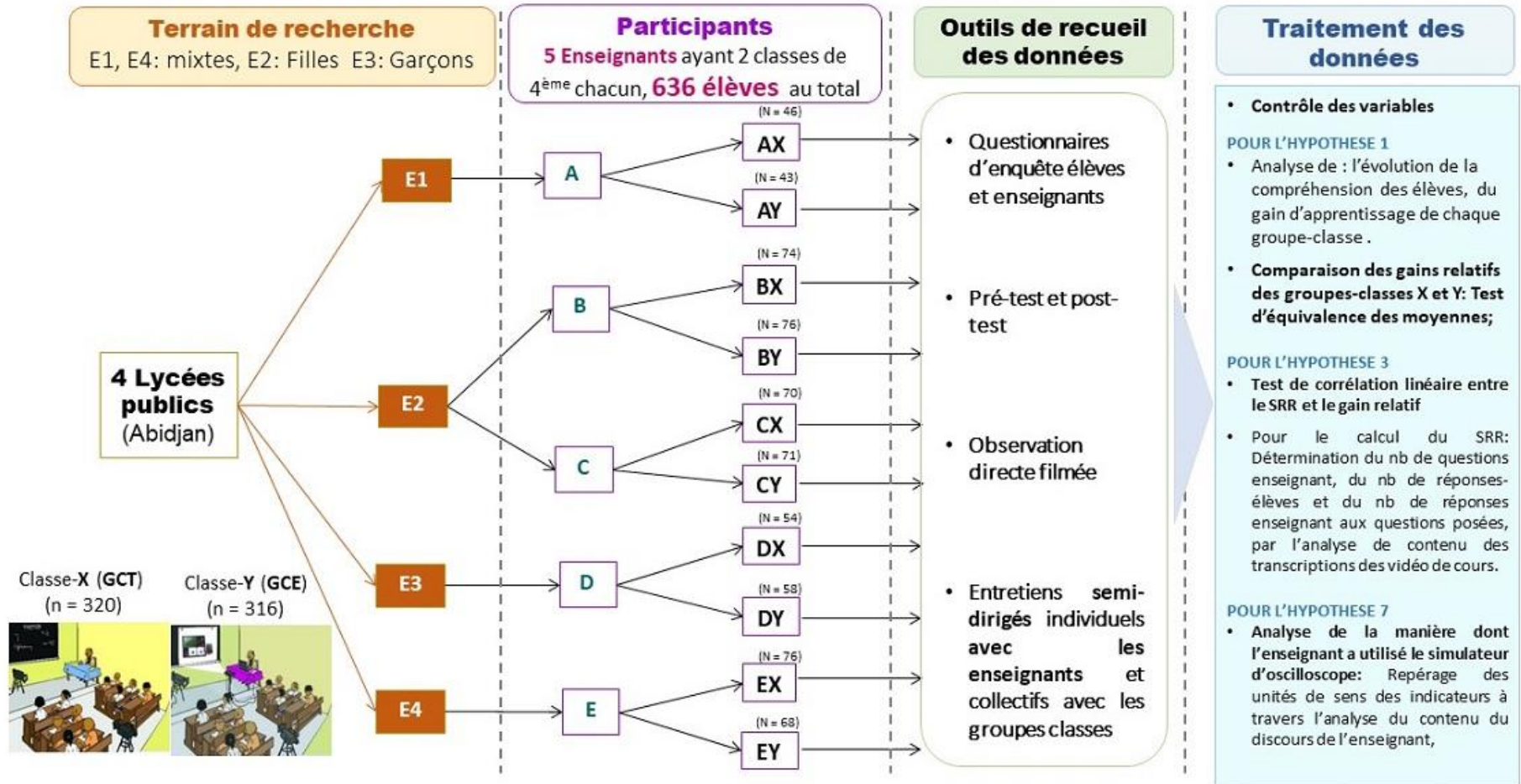
En ce qui concerne les effets perçus de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur les activités cognitives des apprenants, et sur le processus de l'enseignement, nous nous sommes référés à la littérature. En effet, la littérature scientifique rapporte que les simulations favorisent, par exemple, la motivation, la mémorisation, la compréhension des notions, ainsi que la concentration et l'engagement des élèves à la tâche (Spodniakovà Pfefferová, 2015 ; Droui & El Hajjami, 2014). Au regard de ces connaissances, nous avons, fait l'hypothèse (H9) que, dans le cadre de notre étude, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope améliorera la mémorisation des notions étudiées, facilitera leurs explications, par l'enseignant, et leur compréhension. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons recherché des extraits significatifs dans le discours des élèves renvoyant à ces effets. Ces extraits sont également présentés dans le chapitre *Résultats*. Nous indiquons dans le tableau 17 le type d'analyse que nous avons effectuée, à partir de ces données, pour vérifier notre hypothèse H9.

Hypothèse	Type d'analyse réalisée
H9 : L'utilisation du simulateur d'oscilloscope améliore la mémorisation des notions de fréquence, facilite leur compréhension, leur explication ainsi que la concentration des élèves pendant le cours.	Analyse qualitative consistant à lier la réussite ou non de l'apprentissage à l'amélioration des capacités cognitives de l'élève, à travers leurs déclarations.

Tableau 17. Analyse qualitative des gains d'apprentissage selon les perceptions des élèves et des enseignants concernant les effets du simulateur sur le processus enseignement-apprentissage

Nous présentons dans le chapitre suivant, les différents résultats que nous avons obtenus après la mise en œuvre de notre méthodologie de recherche dont la synthèse est schématisée à la page suivante.

Schéma de synthèse de la méthodologie de la recherche



***NB** : Sur le schéma, seuls les résumés des traitements des hypothèses H1, H3 et H7 de la recherche sont indiqués.*

Chapitre 6 – Résultats de la recherche

Nous présentons dans ce chapitre les données et les résultats de l'expérimentation. Les données sont les informations qui nous permettent de vérifier nos hypothèses d'une part, de statuer et nous prononcer sur les questions de recherche d'autre part. Selon notre approche, nous présenterons toutes les données que nous jugeons utiles pour l'expression de nos résultats et leurs interprétations, et pas seulement les données relatives aux variables à contrôler, les variables extrinsèques. Ainsi, nous présenterons, certes les données concernant les variables extrinsèques mais également des données issues des tests de recherche.

6.1 Présentation et analyse descriptive des données par outil de collecte

6.1.1 Données issues de l'administration des questionnaires d'enquête

6.1.1.1 Répartition des élèves selon les variables liées à l'élève

❖ Répartition des élèves selon le Genre

- Par rapport à l'échantillon global

Genre	Effectif	Pourcentage (%)
Garçon	223	35,5 %
Fille	405	64,5%
Total	628	100 %

Tableau 18. Répartition des élèves de l'échantillon selon le genre

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Genre	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Garçon	106 (33,87%)	117 (37,14 %)
Fille	207 (66,13%)	198 (62,86%)
Total	313	315

Tableau 19. Répartition des élèves selon le genre dans le groupe expérimental et le groupe témoin

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (Y) et Témoins (X)

Genre	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
G.	27 (58,7%)	14 (35,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	51 (100,0%)	58 (100,0%)	39 (52,0%)	34 (50,0%)
F.	19 (41,3%)	26 (65,0%)	73 (100,0%)	76 (100,0%)	70 (100,0%)	71 (100,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	36 (48,0%)	34 (50,0%)
Total	46	40	73	76	70	71	51	58	75	68

G : Garçon ; F : Filles

Tableau 20. Répartition des élèves de l'échantillon selon le genre dans les groupes-classes

Notre corpus de données provient d'un échantillon de 636 participants dont 628 valides. Il y a donc 08 données manquantes dues à un remplissage incomplet du questionnaire. Sur les 628 participants valides (tableau 18), représentant 100% des données considérées concernant le genre, il y a 64,5% de filles et 35,5% de garçons. Notre échantillon comporte donc presque deux fois plus de filles que de garçons. Cette répartition, en termes de supériorité du nombre des filles par rapport à celui des garçons, s'observe également lorsque nous considérons globalement le sous-échantillon expérimental (ou groupes expérimental) et le sous-échantillon témoin (ou groupe témoin). Ainsi dans le groupe expérimental, il y a 207 filles, soit 66,13%, contre 106 garçons soit 33,87% des 313 élèves du sous-échantillon expérimental. Dans le groupe témoin, il y a 198 filles représentant 62,86% des 315 élèves du sous-échantillon témoin contre 117 garçons, soit 37,14% des 315 élèves. En revanche, lorsque nous observons les répartitions au niveau des groupes-classes, expérimental et témoin d'un même enseignant, nous constatons qu'elles sont plutôt mitigées. En effet, dans le cas des groupes-classes de l'enseignant A, il y a plus de garçons (58,7%) que de filles (41,3%) dans le groupe-classe expérimental (Ay), et plus de filles (65,0%) que de garçons (35,0%) dans le groupe-classe témoin (Ax). Dans le cas des groupes-classes de l'enseignant E, il y a plus de garçons (52,0%) que de filles (48,0%) dans le groupe-classe expérimental (Ey), tandis que dans le groupe-classe témoin (Ex), il y a autant de filles (50,0%) que de garçons (50,0%). Quant aux groupes-classes, By, Bx, et, Cy, Cx, respectivement des enseignants B et C, il n'y a que des filles (100%), tandis que dans les groupes-classes, Dy et Dx de l'enseignant D, il n'y a que des garçons. Comme nous le voyons, il y a une différence de répartition des élèves selon le genre dans les groupes expérimentaux et témoins. Mais cette différence est-elle significative ? Si la réponse est indiscutable pour les groupes-classes des enseignants, B, C et D, nous ne pouvons rien affirmer avec certitude concernant les groupes-classes des enseignants A et E, ni concernant les sous-échantillons expérimental et témoin de notre échantillon global. Pour le savoir, nous allons nous référer aux résultats du test statistique du khi-deux.

Globalement, concernant le groupe expérimental et le groupe témoin (tableau 19), les résultats du test statistique du khi-deux (khi-deux = 0,736 et $p = 0,405 > 0,05$), issus du croisement des variables *Type de groupe* et *Genre*, montrent que le groupe expérimental et le groupe témoin ne sont pas significativement différents selon le genre. Ainsi, nous pouvons considérer que les deux groupes sont semblables selon le genre c'est-à-dire qu'il y a autant de

filles dans le groupe expérimental que dans le groupe témoin, et autant de garçons dans le groupe expérimental que dans le groupe témoin (*voir les résultats du traitement en annexe A*).

Par contre, concernant les groupes-classes (tableau 20) expérimental et témoin de l'enseignants A, le résultat du test statistique du khi-deux (A : khi-deux = 4,816 et $p = 0,033 < 0,05$) montre que les deux groupes-classes sont significativement différents selon le genre. En revanche, le résultat du test statistique du khi-deux pour l'enseignant E (khi-deux = 0,057 et $p = 0,868 > 0,05$) montre qu'il n'y a pas de différence significative entre le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin selon le genre. En ce qui concerne les enseignants B, C et D, le test statistique du khi-deux n'a retourné aucun résultat parce que pour ces groupes-classes, il n'existe aucun croisement en raison de l'évidence de cette différence significative vu que ces groupes-classes ne sont pas mixtes (*voir tableau des résultats à l'annexe A*).

❖ Répartition des élèves selon la Classe d'âges

Dans notre échantillon, nous avons 623 données valides selon l'âge. L'âge minimum des élèves est de 11 ans et l'âge maximum est de 17 ans. La moyenne d'âge est 13,76 ans avec un écart-type d'âge de 0,72 ans. La moyenne d'âge et l'écart-type d'âge montrent que l'âge de la plupart des élèves se situe autour de 14 ans. Voyons donc la répartition des élèves selon qu'ils ont moins de 14 ans, 14 ans ou plus de 14 ans.

- Par rapport à l'échantillon global

Classe d'âges	Effectif	Pourcentage (%)
Moins de 14 ans	207	33,2 %
14 ans	372	59,7%
Plus de 14 ans	44	7,1%
Total	623	100 %

Tableau 21. Répartition des élèves de l'échantillon selon la classe d'âges

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Classe d'âges	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Moins de 14 ans	98 (32,13%)	109 (34,28) %
14 ans	181 (59,34%)	191 (60,06%)
Plus de 14 ans	26 (8,52%)	18 (5,66%)
Total	305	318

Tableau 22. Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon la classe d'âges

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

Cl.âges	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Moins de 14 ans	11 (29%)	11 (24%)	21 (28%)	19 (26%)	30 (44%)	24 (35%)	14 (25%)	23 (43%)	22 (32%)	32 (43%)
14 ans	23 (61%)	31 (67%)	50 (68%)	48 (65%)	34 (50%)	43 (62%)	38 (67%)	31 (57%)	36 (53%)	38 (50%)
Plus de 14 ans	4 (11%)	4 (9%)	3 (4%)	7 (9%)	4 (6%)	2 (3%)	5 (9%)	0 (0%)	10 (15%)	5 (7%)
Total	38	46	74	74	68	69	57	54	68	75

Tableau 23. Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la classe d'âges

Sur les 623 participants valides de l'échantillon (tableau 21), 372 élèves ont 14 ans, soit 59,7% des participants, 33,2% ont moins de 14 ans et 7,1% ont plus de 14 ans. Il y a donc beaucoup plus d'élèves de 14 ans dans l'échantillon. Cela nous paraît normal, car selon le rapport statistique du MENET-FP, l'âge normal de scolarisation en classe de 4^{ème}, dans le système éducatif en Côte d'Ivoire, est de 14 ans (MENET-FP/DSPS, 2018, p. 107). Ensuite, viennent les élèves de moins de 14 ans (33,2%) puis les élèves de plus de 14 ans (7,1%). Cette répartition s'observe, aussi globalement (tableau 22), pour les trois modalités (14 ans, Moins de 14 ans et plus de 14 ans), dans le groupe expérimental (59,34% ; 32,13% et 8,52%) et dans le groupe témoin (60,06% ; 34,28% et 5,66%) mais aussi au niveau de tous les groupes-classes (tableau 23) expérimentaux (Ay : 60,53% ; 28,95% ; 10,53%) ; (By : 67,57% ; 28,38% ; 4,05%) ; (Cy : 50,00% ; 44,12% ; 5,88%) ; (Dy : 66,67% ; 24,58% ; 8,77%) ; (Ey : 52,94% ; 32,35% ; 14,71%) et dans les groupes-classes témoins (Ax : 60,53% ; 28,95% ; 10,53%) ; (Bx : 67,57% ; 28,38% ; 4,05%) ; (Cx : 62,32% ; 34,78% ; 2,90%) ; (Dx : 57,1% ; 42,59% ; 0,0%) ; (Ex : 50,67% ; 42,67% ; 6,67%). Nous constatons, par modalité, une différence entre les groupes expérimentaux et témoins, et entre les répartitions des groupes-classes expérimentaux et témoins. Cette différence est-elle significative ?

D'une manière globale, les résultats du test statistique de khi-deux (khi-deux : 0,038 et $p = 0,361 > 0,05$) montrent que le groupe expérimental et le groupe témoin ne sont pas significativement différents selon la variable *Classe d'âges*. Les proportions d'élèves de 14 ans, de moins de 14 ans et de plus de 14 ans peuvent donc être considérées comme étant les mêmes dans les deux types de groupes. Dans le cas des groupes-classes de chaque enseignant, les résultats du test statistique du khi-deux, pour les enseignants A (khi-deux = 0,427, et $p = 0,808 > 0,05$), B (khi-deux = 1,741 et $p = 0,419 > 0,05$), C (khi-deux = 2,378 et $p = 0,305 > 0,05$), et E (khi-deux = 3,238 et $p = 0,198 > 0,05$), montrent que les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs ne sont pas significativement différents selon les modalités de la variable *Classe d'âges*. En revanche, pour le groupes-classes de l'enseignant D, le résultat du test statistique du khi-deux (khi-deux = 7,824 et $p = 0,020 < 0,05$) montre qu'il y a une différence significative entre ces deux groupes selon les modalités de la variable *Classe d'âges*.

En d'autres termes, le groupe-classe expérimental (Dy) et le groupe-classe témoin (Dx) sont significativement différents.

❖ **Répartition des élèves selon la fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur (FHUO)**

- Par rapport à l'échantillon global

FHUO	Effectif	Pourcentage (%)
Jamais	4	0,7 %
Rarement	171	27,8%
À l'occasion	359	58,4%
Souvent	75	12,2%
Toujours	6	1,0%
Total	615	100 %

Tableau 24. Répartition des élèves de l'échantillon selon la FHUO

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

FHUO	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Jamais	3 (1,0%)	1 (0,3 %)
Rarement	77 (25,1%)	94 (30,5%)
À l'occasion	180 (58,6%)	179 (58,1%)
Souvent	42 (13,7%)	33 (10,7%)
Toujours	5 (1,6%)	1 (0,3%)
Total	307	308

Tableau 25. Répartition des élèves dans les groupes, expérimental et témoin, selon la FHUO

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

FHUO	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Jamais	1 (2,6%)	0 (0,0%)	21 (28,4%)	18 (26,9 %)	1 (1,4%)	0 (0,0%)	1 (1,7%)	1 (1,9%)	17 (25,4%)	26 (35,1%)
Rarement	7 (17,9%)	14 (30,4%)	45 (60,8%)	38 (56,7%)	22 (31,9 %)	23 (33,8%)	10 (17,2%)	13 (24,5%)	39 (58,2%)	44 (59,4%)
À l'occasion	27 (69,2%)	28 (60,9%)	8 (10,8%)	11 (16,4%)	37 (53,2%)	40 (58,8%)	32 (55,2%)	29 (54,7%)	9 (13,4%)	3 (4,1%)
Souvent	4 (10,3%)	4 (8,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	9 (13,0 %)	5 (7,4%)	12 (20,7%)	10 (18,9%)	2 (3,0%)	1 (1,4%)
Toujours	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	3 (5,2%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
Total	39	46	74	67	69	68	58	53	67	74

Tableau 26. Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la FHUO

Concernant l'échantillon global de notre étude, sur 615 participants valides, 359 participants, soit 58,4%, ont déclaré utiliser à l'occasion l'ordinateur par semaine, 27,8% rarement, 12,2% souvent, seulement 1% toujours et 0,7%, ont déclaré ne jamais utiliser l'ordinateur. Cette répartition, dans le même ordre, s'observe également pour le groupe expérimental (à l'occasion : 58,6% ; rarement : 25,1% ; souvent : 13,7% ; toujours : 1,6% et jamais : 1%) et pour le groupe témoin (à l'occasion : 58,1%, rarement : 30,5%, souvent : 10,7%, toujours : 0,3% et jamais : 0,3%). Comme nous pouvons le constater, selon les réponses déclarées, les élèves qui utilisent l'ordinateur à l'occasion sont plus nombreux aussi bien dans l'échantillon global que dans les sous-échantillons expérimental et témoin. Ensuite viennent ceux qui l'utilisent rarement puis souvent. Quant à ceux qui l'utilisent toujours ou jamais, ils sont relativement peu. Mais il faut noter que, dans l'ensemble, ce sont 99,3 % d'élèves qui ont déclaré utiliser l'ordinateur. En revanche, dans les groupes-classes la répartition des élèves selon leur fréquence hebdomadaire d'utilisation est mitigée. Dans les groupes-classes des enseignants A, C et D, les réponses déclarées par les élèves montrent qu'ils sont nombreux à utiliser l'ordinateur à l'occasion par semaine. Par contre, dans les groupes-classes des enseignants B et E, les réponses déclarées montrent que les élèves sont nombreux à utiliser l'ordinateur rarement. Dans tous les cas quelle que soit la répartition considérée, les élèves qui ont déclaré utiliser au moins une fois l'ordinateur sont majoritaires. Avec ces répartitions variées, peut-on dire que les groupes expérimentaux sont significativement différents des groupes témoins selon la fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur ? Voyons ce que disent les résultats du test statistique du khi-deux ?

D'après les résultats du test statistique du khi-deux (khi-deux = 6,438 et $p = 0,169 > 0,05$), issus du croisement de la variable *Fréquence hebdomadaire d'utilisation de l'ordinateur* (FHUO) et de la variable *Type de groupe*, la différence entre le groupe expérimental et le groupe témoin n'est pas significative selon la FHUO. Concernant les groupes-classes des enseignants A (khi-deux = 2,794 et $p = 0,424 > 0,05$), B (khi-deux = 0,950 et $p = 0,622 > 0,05$), C (khi-deux = 2,275 et $p = 0,517 > 0,05$), D (khi-deux = 3,503 et $p = 0,477 > 0,05$) et E (khi-deux = 5,184 et $p = 0,159 > 0,05$), les résultats du test statistique du khi-deux montrent que les groupes-classes expérimentaux et témoins ne sont pas significativement différents. (Voir résultats des traitements en annexe A).

❖ Répartition des élèves selon la Pratique Internet

- Par rapport à l'échantillon global

Pratique Internet	Effectif	Pourcentage (%)
Aucune	40	6,4 %
Faible	78	12,5%
Moyenne	425	67,9
Bonne	57	9,1
Excellente	26	4,2%
Total	626	100 %

Tableau 27. Répartition des élèves de l'échantillon selon la pratique d'Internet

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Pratique Internet	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Aucune	19 (6,1%)	21 (6,7 %)
Faible	38 (12,2%)	40 (1,3%)
Moyenne	222 (71,2%)	203 (64,6%)
Bonne	21 (6,7%)	36 (11,5%)
Excellente	12 (3,8%)	14 (4,5%)
Total	312	314

Tableau 28. Répartition des élèves dans les groupes, expérimental et témoin, selon la pratique Internet

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

P.Internet	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Aucune	5 (11,9%)	2 (4,3%)	4 (5,4%)	3 (4,2%)	2 (2,8%)	3 (4,3%)	3 (5,3%)	4 (7,7%)	5 (7,4%)	9 (12,2%)
Faible	6 (14,3%)	5 (10,9%)	14 (18,9%)	18 (25,0%)	13 (18,3%)	12 (17,1%)	0 (0,0%)	1 (1,9%)	5 (7,4%)	4 (5,4%)
Moyenne	24 (57,1%)	30 (65,2%)	47 (63,5%)	44 (61,1%)	48 (67,6%)	46 (65,7%)	51 (89,5%)	29 (55,8%)	52 (76,5%)	54 (73,0%)
Bonne	6 (14,3%)	7 (15,2%)	7 (9,5%)	4 (5,6%)	5 (7,0%)	7 (10,0%)	0 (0,0%)	15 (28,8%)	3 (4,4%)	3 (4,1%)
Excellente	11 (26,2%)	2 (4,3%)	2 (2,7%)	3 (4,2%)	3 (4,2%)	2 (2,9%)	3 (5,3%)	3 (5,8%)	3 (4,4%)	4 (5,4%)
Total	42	46	74	72	71	70	57	52	68	74

Tableau 29. Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la pratique d'Internet

Pour la variable Pratique Internet (tableau 27), 626 élèves de l'échantillon de l'étude ont complété correctement le questionnaire. Sur ces 626 participants valides, la plupart, soit 67,9% des participants, ont une pratique Internet déclarée moyenne, pour des recherches sur Internet, que ces recherches soient personnelles ou pour l'école. Très peu d'entre eux, soit 4,1% ont une pratique Internet déclarée excellente, et pour 6,4% des élèves il n'y aucune pratique Internet déclarée. En revanche, 12,5% ont une pratique Internet déclarée faible et 9,1% ont une pratique Internet déclarée bonne. Finalement, 93,4% des élèves de l'échantillon de l'étude ont une pratique Internet déclarée. La majorité des élèves semble donc utiliser les TIC pour faire des recherches sur Internet. Cette tendance de la répartition se retrouve aussi bien dans le groupe expérimental et le groupe témoin globaux (tableau 28) que dans les groupes-classes expérimentaux et témoins (tableau 29), où la majorité des élèves ont une pratique Internet déclarée moyenne, même si dans le groupe-classe expérimental de l'enseignant A (57,1%) et dans le groupe-classe témoin de l'enseignant D (55,8%) cette majorité reste très relative. En considérant les groupes d'expérimentation (expérimentaux et témoins), nous remarquons une différence de répartitions entre ces groupes. Cette différence est-elle significative ?

Concernant le groupe expérimental et le groupe témoin, globaux (tableau 28), les résultats du test statistique du khi-deux (khi-deux = 5,096 et $p = 0,278 > 0,05$) montrent que la différence entre les deux groupes n'est pas significative selon la pratique Internet. Pour les groupes-classes expérimentaux et témoins (tableau 29), les résultats du test statistique du khi-deux, pour les groupes-classes expérimentaux et témoins, respectivement, des enseignants A (khi-deux = 2,276 et $p = 0,685 > 0,05$), B (khi-deux = 1,733 et $p = 0,785 > 0,05$), C (khi-deux = 0,809 et $p = 0,937 > 0,05$), et E (khi-deux = 1,183 et $p = 0,881 > 0,05$), montrent que les groupes-classes de l'enseignant ne sont pas significativement différents. Par contre, d'après les résultats du test du khi-deux (khi-deux = 22,010 et $p = 0,000 < 0,05$), il y a une différence significative entre le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin de l'enseignant D selon la pratique Internet.

❖ Répartition des élèves selon la Pratique de Communication

- Par rapport à l'échantillon global

Pratique de Communication	Effectif	Pourcentage (%)
Aucune	38	6%
Faible	44	7%
Moyenne	401	63,8%
Bonne	123	19,6%
Excellente	23	3,7%
Total	629	100 %

Tableau 30. Répartition des élèves de l'échantillon selon la Pratique de Communication

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Pratique de Communication	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Aucune	17 (5,4%)	21 (6,7 %)
Faible	24 (7,7%)	20 (1,3%)
Moyenne	177 (56,5%)	224 (64,6%)
Bonne	85 (27,2%)	38 (11,5%)
Excellente	10 (3,2%)	13 (4,5%)
Total	313	316

Tableau 31. Répartition des élèves dans les groupes, expérimental et témoin, selon la Pratique de Communication

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

P.Commu-nication.	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Aucune	7 (16,7%)	3 (6,5%)	5 (6,8%)	4 (5,6%)	4 (5,6%)	4 (5,7%)	1 (1,8%)	5 (9,6%)	0 (0,0%)	5 (6,8%)
Faible	2 (4,8%)	2 (4,3%)	4 (5,4%)	5 (6,9%)	5 (7,0%)	4 (5,7%)	6 (10,5%)	3 (5,8%)	7 (10,3%)	6 (8,1%)
Moyenne	30 (71,4%)	34 (73,9%)	58 (78,4%)	57 (79,2%)	57 (80,3%)	54 (77,1%)	10 (17,5%)	35 (67,3%)	22 (32,4%)	44 (59,5%)

Bonne	2 (4,8%)	5 (10,9%)	5 (6,8%)	3 (4,2%)	4 (5,6%)	5 (7,1%)	38 (66,5%)	6 (11,5%)	36 (52,9%)	19 (25,7%)
Excellente	1 (2,4%)	2 (4,3%)	2 (2,7%)	3 (4,2%)	1 (1,4%)	3 (4,3%)	3 (5,3%)	3 (5,8%)	3 (4,4%)	2 (2,7%)
Total	42	46	74	72	71	70	57	52	68	74

Tableau 32. Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la pratique de Communication

Nous avons obtenu 629 réponses valides sur un total de 639 élèves. Comme dans le cas de la Pratique Internet, la plupart des participants, soit 401 élèves sur les 629 élèves valides, représentant 63,8% des élèves de l'échantillon de l'étude (tableau 30), ont une pratique de communication déclarée moyenne, qu'il s'agisse de communiquer avec les amis ou avec la famille. De plus 19,6% ont une pratique de communication déclarée bonne et 3,7% ont une pratique déclarée excellente. C'est au total, 94% des élèves de l'échantillon de l'étude qui ont une pratique de communication déclarée par les TIC. Les 629 réponses valides se répartissent (tableau 31) en 313 réponses pour le groupe expérimental global, sur un total de 316 élèves, et 316 réponses pour le groupe témoin global de 320 élèves au total. Dans ces deux groupes, la répartition des élèves est telle que la majorité des élèves ont également une pratique de communication déclarée moyenne, soit 56,5% pour le groupe expérimental et 64,6% pour le groupe témoin. Ce sont, globalement, 94,6% des élèves qui ont une Pratique de communication déclarée, de faible à excellente, pour le groupe expérimental, et 93,3% des élèves pour le groupe témoin. En revanche, même si les répartitions des élèves dans les groupes-classes des enseignants A, B, et C suivent la même tendance (tableau 32) que pour les échantillons globaux, la situation est différente dans les groupes-classes des enseignants D et E. En effet, pour les enseignants D et E, la Pratique de communication déclarée moyenne est majoritaire dans le groupe-classe témoin (Dx : 67,3% ; Ex : 59,5% des élèves) tandis que celle déclarée bonne est majoritaire dans le groupe-classe expérimental (Dy : 66,5% ; Ey : 52,9% des élèves). Certes, la répartition des élèves par modalité de la variable Pratique de communication est mitigée. Cependant, il ressort des réponses déclarées que la plupart des élèves, dans tous les groupes-classes, ont une pratique de communication par les TIC. Dans le groupe-classe expérimental de l'enseignant E, ce sont même les 100% des élèves de ce groupe. Les différences constatées au niveau de la répartition des groupes expérimentaux et témoins sont-elles significatives au point d'établir que les types de groupes sont différents ? Voyons donc du côté des résultats du test statistique du khi-deux.

Concernant le groupe expérimental global et le groupe témoin global, les résultats du test statistique du khi-deux (khi-deux = 24,630 et $p = 0,000 < 0,05$) montrent que ces deux groupes sont très significativement différents. Dans le cas des groupes-classes, les résultats du test montrent que les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants D (khi-deux = 40,622 et $p = 0,000 < 0,05$) et E (khi-deux = 17,474 et $p = 0,002 < 0,05$), sont également significativement différents. Par contre, pour les enseignants A (khi-deux = 3,294 et $p = 0,510 > 0,05$), B (khi-deux = 0,904 et $p = 0,924 > 0,05$) et C (khi-deux = 1,296 et $p = 0,862 > 0,05$), les résultats du test montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin. Autrement dit, pour ces trois enseignants, A, B et C, les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs sont semblables selon la pratique de communication.

❖ *Répartition des élèves selon la Pratique de Loisirs*

- Par rapport à l'échantillon global

Pratique de Loisirs	Effectif	Pourcentage (%)
Aucune	40	6,4%
Faible	10	1,6%
Moyenne	471	74,9%
Bonne	61	9,7%
Excellente	47	7,5%
Total	629	100 %

Tableau 33. Répartition des élèves de l'échantillon selon la Pratique de Loisirs

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Pratique de Loisirs	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Aucune	23 (7,3%)	17 (5,4%)
Faible	3 (1,0%)	7 (2,2%)
Moyenne	238 (76,0%)	233 (73,7%)
Bonne	29 (9,3%)	32 (10,1%)
Excellente	20 (6,4%)	27 (8,5%)
Total	313	316

Tableau 34. Répartition des élèves dans les groupes, expérimental et témoin, selon la Pratique de Loisirs

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

P.Loisirs	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Aucune	6 (14,3%)	2 (4,3%)	5 (6,8%)	4 (5,6%)	3 (4,2%)	4 (5,7%)	4 (6,9%)	3 (5,8%)	5 (7,4%)	4 (5,3%)
Faible	1 (2,4%)	1 (2,2%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (1,4%)	1 (1,4%)	0 (0,0%)	1 (1,9%)	1 (1,5%)	4 (5,3%)
Moyenne	29 (69,0%)	32 (69,6%)	56 (75,7%)	59 (81,9%)	56 (78,9%)	53 (75,7%)	44 (75,9%)	35 (67,3%)	53 (77,9%)	54 (71,1%)
Bonne	3 (7,1%)	3 (6,5%)	9 (12,2%)	5 (6,9%)	6 (8,5%)	8 (11,4%)	6 (10,3%)	9 (17,3%)	5 (7,4%)	7 (9,2%)
Excellente	3 (7,1%)	8 (17,4%)	4 (5,4%)	4 (5,6%)	5 (7,0%)	4 (5,7%)	4 (6,9%)	4 (7,7%)	4 (5,9%)	7 (9,2%)
Total	42	46	74	72	71	70	58	52	68	76

Tableau 35. Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon la Pratique de Loisirs

Dans l'échantillon de l'étude (tableau 33), 471 participants sur 626 valides, soit 74,9% des élèves, ont une pratique de loisirs déclarée moyenne, 9,7% ont une pratique de loisirs déclarée excellente, et 7,5% une pratique de loisirs déclarée bonne. Au total, 93,6% des élèves ont une pratique de loisirs par les TIC, pour jouer et écouter la musique. 313 réponses des 626 réponses valides sont du groupe expérimental globalement constitué de 316 élèves, et les autres 316 réponses valides sont du groupe témoin global, constitué de 320 élèves. La répartition des élèves selon la pratique de loisirs, dans ces deux groupes, suivent la même tendance (tableau 34) que dans l'échantillon global. Ainsi, dans le groupe expérimental, la majorité des 313 élèves, soit 76,0%, ont une pratique de loisirs déclarée moyenne. Dans le groupe témoin, cette majorité des élèves, qui ont une pratique de loisirs déclarée moyenne, est 73,7% des 316 élèves. Globalement, 92,7% des élèves du groupe expérimental et 94,6% des élèves du groupe témoin ont une pratique de loisirs déclarée par les TIC. Pour les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants, c'est également la même tendance (tableau 35). En comparant les groupes expérimentaux et témoins, 2 à 2, selon qu'ils soient les sous échantillons globaux, ou des groupes-classes par enseignant, nous constatons une différence entre les répartitions des élèves. Cette différence est-elle significative ?

Les résultats du test statistique du khi-deux concernant les sous-échantillons globaux, montrent que le groupe expérimental et le groupe témoin sont semblables selon la pratique de loisirs (khi-deux = 3,729 et $p = 0,444 > 0,05$). Ceux du test statistique du khi-deux pour les groupes-classes montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs de chaque enseignant. En d'autres termes, le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin de l'enseignant A (khi-deux = 4,247 et $p = 0,374 > 0,05$) sont semblables selon la pratique de loisirs. Il en est de même pour les groupes-classes de l'enseignant B (khi-deux = 1,305 et $p = 0,728 > 0,05$), de l'enseignant C (khi-deux = 0,615 et $p = 0,961 > 0,05$), de l'enseignant D (khi-deux = 2,448 et $p = 0,654 > 0,05$) et de l'enseignant E (khi-deux = 2,636 et $p = 0,621 > 0,05$).

❖ **Répartition des élèves selon l'Attitude dominante des élèves envers la Physique Avant l'expérimentation**

- Par rapport à l'échantillon global

Attitude envers la phys.	Effectif	Pourcentage (%)
Négative	91	14,6%
Positive	499	80,2%
Neutre	32	5,1%
Total	622	100 %

Tableau 36. Répartition des élèves de l'échantillon selon l'Attitude dominante envers la physique

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Attitude envers la phys.	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Négative	55 (17,8%)	36 (11,5%)
Positive	234 (75,7%)	265 (84,7%)
Neutre	20 (6,5%)	12 (3,8%)
Total	309	313

Tableau 37. Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon l'Attitude dominante envers la physique

- Par rapport aux groupes-classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

Attitude env. Phys.	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Négative	4 (10,0%)	8 (17,4%)	7 (9,5%)	6 (8,5%)	12 (17,1%)	2 (2,9%)	17 (29,8%)	6 (11,8%)	15 (22,1%)	14 (18,7%)
Positive	35 (87,5%)	36 (78,3%)	65 (87,8%)	62 (87,3%)	55 (78,6%)	67 (95,7%)	38 (66,7%)	44 (86,3%)	41 (60,3%)	56 (74,7%)
Neutre	1 (2,5%)	2 (4,3%)	2 (2,7%)	3 (4,2%)	3 (4,3%)	1 (1,4%)	2 (3,5%)	1 (2,0%)	12 (17,6%)	5 (6,7%)
Total	40	46	74	71	70	70	57	51	68	75

Tableau 38. Répartition des élèves dans les groupes-classes selon l'Attitude dominante envers la physique

Nous avons obtenu, sur les 636 élèves de l'échantillon de notre étude, 622 réponses valides. Le tableau 36 indique que l'attitude dominante déclarée envers la physique avant l'expérimentation, de 499 élèves sur les 622 élèves, soit 80,2% des élèves, est positive contre 14,6% déclarées négatives et 5,1% déclarées neutres. Il y a donc plus d'attitudes positives déclarées que d'attitudes négatives déclarées dans l'échantillon global. En d'autres termes, il y a donc plus d'attitudes déclarées favorables envers la physique que d'attitudes envers la physique déclarées défavorables. Nous avons la même tendance (tableau 37) des attitudes dominantes envers la physique dans le groupe expérimental global (positives : 75,7%, négatives : 17,8%) et dans le groupe témoin (positives : 84,7%, négatives : 11,5%). Idem pour les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants (tableau 21). Cependant, nous remarquons, avant l'expérimentation, qu'il y a plus d'élèves qui ont une attitude globale envers la physique déclarée positive et moins d'élèves ayant une attitude globale déclarée négative dans le groupe témoin que dans le groupe expérimental. Dans les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants, A, B, C, D et E les répartitions sont mitigées. Pour les groupes-classes, Ay et Ax, de l'enseignant A, la proportion d'élèves ayant une attitude envers la physique déclarée positive est plus élevée et une proportion d'élèves ayant une attitude envers la physique déclarée négative plus faible dans le groupe expérimental (Ay) que dans le groupe témoin (Ax). Dans tous les autres groupes-classes, c'est la situation contraire (tableau 38) que nous observons. Cette différence d'attitudes envers la physique est-elle significative par rapport aux deux types de groupes ?

Globalement, les résultats du test statistique du khi-deux (khi-deux = 7,867 et $p = 0,020 < 0,05$) montrent que le groupe expérimental et le groupe témoin sont significativement différents selon l'attitude envers la physique avant l'expérimentation. En ce qui concerne les groupes-classes de l'enseignant C, les résultats du test statistique du khi-deux (khi-deux = 9,323 et $p = 0,009 < 0,05$) montrent que le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin sont significativement différents selon l'attitude envers la physique. En revanche, pour les enseignants, A (khi-deux = 1,268 et $p = 0,530 > 0,05$), B (khi-deux = 0,286 et $p = 0,867 > 0,05$) et E (khi-deux = 4,906 et $p = 0,086 > 0,05$), il n'y a pas de différence significative entre le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin. Pour l'enseignant D (khi-deux = 5,718 et $p = 0,057 > 0,05$), il est fort possible que les groupes-classes soient significativement différents vu la valeur de p (0,057) qui est sensiblement égale à 0,05.

❖ Répartition des élèves selon le statut de Redoublant

- Par rapport à l'échantillon global

Redoublant	Effectif	Pourcentage (%)
Oui	24	3,9 %
Non	594	96,1%
Total	618	100 %

Tableau 39. Répartition des élèves de l'échantillon selon le statut de Redoublant

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Redoublant	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Oui	8 (2,6%)	16 (5,1%)
Non	297 (97,4%)	297 (94,9%)
Total	305	313

Tableau 40. Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon le statut de Redoublant

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

Redoublant	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Oui	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	6 (8,6%)	3 (4,4%)	2 (2,9%)	4 (7,0%)	2 (3,8%)	1 (1,5%)	6 (8,0%)
Non	38 (100%)	6 (100%)	74 (100%)	64 (91,4%)	65 (95,6%)	67 (97,1%)	53 (93,0%)	51 (96,8%)	67 (98,5%)	69 (92,0%)
Total	38	46	74	70	68	69	57	53	68	75

Tableau 41. Répartition des élèves dans les groupes-classes selon le statut de Redoublant ou non

Nous avons obtenu 618 réponses valides sur un total de 636 réponses de notre échantillon d'étude (tableau 39). D'après les réponses déclarées, seulement 24 élèves, soit 3,9% des élèves, reprennent la classe de 4^{ème}. La majorité des élèves, soit 96,1% des élèves sont donc

à leur première année de scolarisation en classe de 4^{ème}. Ils sont supposés n'avoir pas de connaissance maîtrisée sur les concepts de fréquence et période, deux concepts nouveaux pour eux selon le programme d'enseignement de la classe de 4^{ème} en physique. Parmi les 618 élèves, 305 élèves sont du groupe expérimental et 313 élèves appartiennent au groupe témoin (tableau 40). Il y a 97,4% de non redoublants et 2,6% de redoublants dans le groupe expérimental contre 94,1% de non redoublants et 5,1% de redoublants dans le groupe témoin. Les répartitions des élèves redoublants et non redoublants dans le groupe expérimental et dans le groupe témoin sont différentes. De même, dans les groupes-classes expérimentaux et témoins des enseignants respectifs, il y a très peu de redoublants, et plus de 90% de non redoublants (tableau 41). Pour les groupes-classes des enseignants A et le groupe-classe expérimental de l'enseignant B, il n'y a même aucun redoublant d'après les réponses déclarées. Nous remarquons qu'il y a une différence entre les proportions des élèves respectivement des groupes et groupes-classes expérimentaux et celles des groupes et groupes-classes témoins. Mais cette différence est-elle significative ?

Les résultats du test statistique du khi-deux (khi-deux = 2,564 et $p = 0,144 > 0,05$) indiquent que, globalement, le groupe expérimental et le groupe témoin ne sont pas significativement différents selon le statut de Redoublant de l'élève. En ce qui concerne les groupes-classes expérimentaux et témoins, seuls ceux de l'enseignant B sont significativement différents, d'après les résultats du test statistique du khi-deux (khi-deux = 6,619 et $p = 0,012 < 0,05$). Il n'y a pas de différence significative entre les groupes-classes expérimentaux et témoins des autres enseignants, C (khi-deux = 0,223 et $p = 0,681 > 0,05$), D (khi-deux = 0,560 et $p = 0,680 > 0,05$) et E (khi-deux = 3,266 et $p = 0,119 > 0,05$). Les groupes-classes de l'enseignant A ont été exclus du test car il n'y a pas de redoublant dans ces groupes-classes.

6.1.1.2 Données sur la répartition des élèves selon les variables liées à la famille : profils sociologiques des élèves

❖ Répartition des élèves selon la catégorie socioprofessionnelle (csp) du père

- Par rapport à l'échantillon global

CSP Père	Effectif	Pourcentage (%)
Cadre	164	26,8 %
Agent de maîtrise	352	57,6%
Ouvrier	66	10,8%
Artisan	8	1,3%
Sans emploi	21	3,4%
Total	611	100 %

Tableau 42. Répartition des élèves selon la csp du père

En regroupant les CSP du père en deux grandes catégories, nous obtenons le tableau 51.

CSP Père	Effectif	Pourcentage (%)
Cadres	516	84,5 %
Autres CSP	95	15,5%
Total	611	100 %

Tableau 43. Répartition des élèves de l'échantillon selon la csp du père

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

CSP Père	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Cadres	266 (87,2%)	250 (81,7%)
Autres CSP	39 (12,8%)	56 (18,3%)
Total	305	306

Tableau 44. Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon la csp du père

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

CSP Père	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Cadres	34 (87,2%)	31 (67,4%)	71 (95,9%)	61 (89,7%)	61 (91,0%)	57 (85,1%)	46 (80,7%)	44 (86,3%)	54 (79,4%)	57 (77,0%)
Autres CSP	5 (12,8%)	15 (32,6%)	3 (4,1%)	7 (10,3%)	6 (9,0%)	10 (14,9%)	11 (19,3%)	7 (13,7%)	14 (20,6%)	17 (23,0%)
Total	39	46	74	68	67	67	57	51	68	74

Tableau 45. Répartition des élèves dans les groupes-classes selon la csp du père

Concernant la csp du père, nous avons obtenu, globalement, 611 réponses valides sur 636 élèves dans l'échantillon de l'étude. Sur ces 611 réponses (voir tableau 42), il ressort des déclarations des élèves que 57,6% des élèves ont un père Agent de maîtrise, 26,8% ont un père Cadre, 10,8% ont un père Ouvrier, 1,3% ont un père Artisan et 3,4% ont un père Sans emploi. Les Agents de maîtrise étant assimilés à des cadres subalternes, ce sont donc au total 84,5% des élèves qui ont un père appartenant à la catégorie des Cadres. Les autres, 15,5% des élèves ont un père appartenant à la catégorie des autres CSP, c'est à dire, ouvrier, artisan ou sans emploi. Ces 611 élèves se répartissent entre le groupe expérimental et le groupe témoin (voir tableau 43). Le groupe expérimental a 305 élèves dont 87,2% sont issus d'un père de la catégorie Cadres et 12,8% issus d'un père de la catégorie Autres CSP. Le groupe témoin a 306 élèves dont 81,7% sont d'un père de la catégorie Cadres, et 18,3% d'un père de la catégorie Autres CSP. Les élèves, dont le père est de la catégorie Cadres, sont très majoritaires dans l'échantillon. Il en est de même pour ceux des groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants (voir tableau 45). Les répartitions des élèves, selon la CSP du père, ne sont pas égales dans les deux-types de groupes et de groupes-classes. Mais ces différences sont-elles significatives ?

D'après les résultats du test du khi-deux (khi-deux = 3,537 et $p = 0,074 > 0,05$), il n'y a pas de différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin selon la CSP du père. Il en est de même des groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants B (khi-deux = 2,108 et $p = 0,195 > 0,05$), C (khi-deux = 1,136 et $p = 0,425 > 0,05$), D (khi-deux = 0,602 et $p = 0,606 > 0,05$) et E (khi-deux = 0,118 et $p = 0,840 > 0,05$). En revanche, pour l'enseignant A (khi-deux = 4,593 et $p = 0,041 < 0,05$), le groupe-classe expérimental est significativement différent du groupe-classe témoin selon la CSP du père.

❖ *Répartition des élèves selon la catégorie socioprofessionnelle (csp) de la mère*

- Par rapport à l'échantillon global

CSP Mère	Effectif	Pourcentage (%)
Cadre	207	33,9 %
Agent de maîtrise	247	40,4%
Ouvrier	63	10,3%
Artisan	76	12,4%
Sans emploi	18	2,9%
Total	611	100 %

Tableau 46. Répartition des élèves de l'échantillon selon la csp de la mère

Les CSP de la mère, en deux grandes catégories, nous donne le tableau 46.

CSP Mère	Effectif	Pourcentage (%)
Cadres	454	74,3 %
Autres CSP	157	25,7%
Total	611	100 %

Tableau 47. Répartition des élèves de l'échantillon selon la csp de la mère

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

CSP Mère	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Cadres	234 (76,7%)	220 (71,9%)
Autres CSP	71 (23,3%)	86 (28,1%)
Total	305	306

Tableau 48. Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon la csp de la mère

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

CSP Mère	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Cadres	32 (82,1%)	34 (73,9%)	63 (85,1%)	53 (77,9%)	51 (76,1%)	48 (71,6%)	39 (68,4%)	35 (68,6%)	49 (72,1%)	50 (67,6%)
Autres CSP	7 (17,9%)	12 (26,1%)	11 (14,9%)	15 (22,1%)	16 (23,9%)	19 (28,4%)		16 (31,4%)	19 (27,9%)	24 (32,4%)
Total	39	46	74	68	67	67	57	51	68	74

Tableau 49. Répartition des élèves dans les groupes-classes selon la csp de la mère

Concernant la csp de la mère, sur 611 élèves de l'échantillon de l'étude, il ressort des réponses déclarées des élèves (voir tableau 46) que 40,4% des élèves sont issus d'une mère Agents de maîtrise, 33,9% d'une mère Cadre, 12,4% d'une mère Artisan, 10,3% d'une mère Ouvrier et 2,9% d'une mère Sans emploi. Les Agents de maîtrise étant assimilés à des cadres, ce sont donc 74,3% des élèves de l'échantillon qui sont issus d'une mère de la catégorie Cadres

(voir tableau 47) et les autres élèves, soit 25,7%, ont une mère appartenant aux autres CSP, c'est-à-dire, Ouvrier, Artisan ou Sans emploi. Ces 611 élèves se répartissent, globalement, entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Le groupe expérimental a 305 élèves, dont 76,7% ont une mère de la catégorie Cadres (voir tableau 48), contre 23,3% qui ont une mère de la catégorie Autres CSP. Le groupe témoin a 306 élèves avec 71,9% des élèves d'une mère de CSP Cadres et 28,1% des élèves d'une mère d'Autres CSP. Dans notre échantillon d'étude, les élèves issus d'une mère de la catégorie Cadres sont donc majoritaires, et plus nombreux dans le groupe expérimental (76,7%) que dans le groupe témoin (71,9%). Dans les groupes-classes expérimentaux et témoins (voir tableau 41), nous avons la même tendance. Les élèves ayant une mère de la catégorie Cadres sont plus nombreux que les élèves de mère de la catégorie Autres CSP. En outre, hormis le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin de l'enseignant D où les proportions des élèves sont sensiblement les mêmes (voir tableau 49), les proportions des élèves dans les autres groupes-classes expérimentaux, dont la mère appartient à la CSP Cadres, sont plus élevées que celles des élèves dans les groupes-classes témoins. Ces différences de proportions selon la CSP de la mère, entre les groupes (resp. les groupes-classes) expérimentaux, et les groupes (resp. groupes-classes) témoins sont-elles significatives ?

D'après les résultats du test du khi-deux (khi-deux = 1,863 et $p = 0,195 > 0,05$), il n'y a pas de différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin selon la CSP de la mère. De même, les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants A (khi-deux = 0,805 et $p = 0,439 > 0,05$), B (khi-deux = 1,226 et $p = 0,286 > 0,05$), C (khi-deux = 0,348 et $p = 0,694 > 0,05$), D (khi-deux = 0,001 et $p = 1,000 > 0,05$) et E (khi-deux = 0,339 et $p = 0,588 > 0,05$), ne sont pas significativement différents selon la CSP de la mère.

❖ Répartition des élèves selon le lieu d'habitation

- Par rapport à l'échantillon global

Lieu Habitation	Effectif	Pourcentage (%)
Résidentiel	436	71,4%
Populaire	175	28,6%
Total	611	100 %

Tableau 50. Répartition des élèves selon le lieu d'habitation

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Lieu Habitation	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Résidentiel	223 (73,1%)	213 (69,6%)
Populaire	82 (26,9%)	93 (30,4%)
Total	305	306

Tableau 51. Répartition des élèves du groupe expérimental et du groupe témoin selon le lieu d'habitation

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

L.Habitation	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Résidentiel	30 (78,9%)	26 (56,5%)	59 (79,7%)	54 (79,4%)	53 (77,9%)	58 (86,6%)	38 (66,7%)	32 (62,7%)	43 (63,2%)	43 (58,1%)
Populaire	8 (21,1%)	20 (43,5%)	15 (20,3%)	14 (20,6%)	15 (22,1%)	9 (13,4%)	19 (33,3%)	19 (37,3%)	25 (36,8%)	31 (41,9%)
Total	38	46	74	68	68	67	57	51	68	74

Tableau 52. Répartition des élèves dans les groupes-classes selon le lieu d'habitation

Sur les 611 élèves de l'échantillon de notre étude, qui ont complété correctement le questionnaire d'enquête, 436 élèves, soit 71,4% ont déclaré vivre dans un quartier résidentiel. En revanche, 175 élèves, soit 28,6% des élèves, ont déclaré résider dans un quartier populaire. Il y a donc beaucoup plus d'élèves qui vivent dans un quartier résidentiel que dans un quartier populaire. Ces données sont en adéquation avec la répartition des élèves selon les csp des parents, et la zone géographique de notre terrain d'expérimentation. En effet, les 4 lycées de notre terrain d'expérimentation sont situés dans une commune résidentielle et une autre que l'on peut considérer comme telle. D'une manière générale, ce sont des communes relativement calmes et où le coût du loyer est relativement élevé contrairement aux communes populaires, assez bruyantes, avec des coûts de loyer accessibles. Les communes résidentielles sont majoritairement habitées par les cadres et autres salariés dont les revenus sont conséquents. De plus, ces données nous semblent être cohérentes avec la politique d'affectation des élèves dans les lycées et collèges après les examens d'entrée en classes de 6^{ème} et de seconde, adoptée par le gouvernement et mise en œuvre par le Ministère de l'éducation nationale. Cette politique vise à affecter les enfants dans des établissements publics non très loin de leur lieu de résidence. C'est pourquoi, une fois en classes d'examen, il est demandé aux élèves, de compléter un formulaire ou fiche de vœux d'orientation avec la contribution des parents quant au choix des établissements dans lesquels, ils souhaiteraient être affectés. Les 611 élèves sont répartis entre groupe expérimental et le groupe témoin (voir tableau 51). Le groupe expérimental a 305 élèves. Selon les réponses déclarées, 73,1% vivent dans un quartier résidentiel contre 26,9% qui vivent dans un quartier populaire. Le groupe témoin a 306 élèves. D'après les réponses déclarées 69,6% des élèves habitent dans un lieu résidentiel et 30,4% habitent dans un lieu populaire. Selon les réponses déclarées, la proportion des élèves du groupe expérimental, qui habitent dans un lieu résidentiel (73,1%) est supérieure à la proportion des élèves du groupe témoin (69,6%) qui habitent dans un lieu résidentiel. Nous observons pratiquement les mêmes tendances dans le cas des groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants (voir tableau 52). Ces différences de proportions entre le groupe expérimental et témoin, d'une part, et entre les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants d'autre part, selon le lieu d'habitation, sont-elles significatives ?

Les résultats du test du khi-deux (khi-deux =0,919 et $p = 0,371 > 0,05$) montrent que, globalement, le groupe expérimental et le groupe témoin ne sont pas significativement différents selon le lieu d'habitation. Il en est de même pour les groupes-classes expérimentaux

et témoins respectifs des enseignants B (khi-deux = 0,002 et $p = 1,000 > 0,05$), C (khi-deux = 1,718 et $p = 0,261 > 0,05$), D (khi-deux = 0,182 et $p = 0,691 > 0,05$) et E (khi-deux = 0,390 et $p = 0,607 > 0,05$). En revanche, pour le groupe-classe expérimental et le groupes-classe témoin de l'enseignant A (khi-deux = 4,709 et $p = 0,038 < 0,05$), il y a une différence significative selon le lieu d'habitation.

6.1.1.3 Des données selon des variables liées à l'école

Il s'agit des données, par rapport à l'enseignant ou de l'établissement lui-même. Comme nous l'avons précisé dans la section 1.2.3, ces données pourraient expliquer aussi les résultats ou les difficultés d'apprentissage. Nous présentons donc la répartition des élèves selon le type d'établissement.

❖ Répartition des élèves selon le type d'établissement

- Par rapport à l'échantillon global

Type d'établissement	Effectif	Pourcentage (%)
Lycée de Garçons	112	17,6%
Lycée de Filles	291	45,8%
Lycée Mixte	233	36,6%
Total	636	100 %

Tableau 53. Répartition des élèves selon le type d'établissement

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Type d'établissement	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Lycée de Garçons	58 (18,4%)	54 (16,9%)
Lycée de Filles	147 (46,5%)	144 (45,0%)
Lycée Mixte	111 (35,1%)	122 (38,1%)
Total	316	320

Tableau 54. Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon le type d'établissement

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

Type Étab.	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Lycée Garçons	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	38 (66,7%)	32 (62,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
Lycée Filles	0 (0,0%)	0 (0,0%)	59 (100%)	54 (100%)	53 (100%)	58 (100%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
Lycée Mixte	43 (100%)	46 (100%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	43 (100%)	43 (100%)
Total	43	46	76	74	71	70	58	54	68	76

Tableau 55. Répartition des élèves dans les groupes-classes selon le type d'établissement

D'après le tableau 53, la majorité des 636 élèves proviennent du lycée de filles, soit 45,8% des élèves de l'échantillon. Les 36,6% des élèves viennent d'un lycée mixte et le reste, soit 17,6% des élèves proviennent d'un lycée de garçons. Globalement, ces 636 élèves se répartissent entre le groupe expérimental et le groupe témoin (voir tableau 54). Dans le groupe expérimental, il y a 316 élèves dont 46,5% dans le lycée de filles, 35,1% dans les lycées mixtes et 18,4% dans le lycée de garçons. Dans le groupe témoin, il y a 320 élèves dont 45,0% dans le lycée de filles, 38,1% dans les lycées mixtes et 16,9% dans le lycée de garçons. Nous constatons une différence dans la répartition des élèves dans ces deux groupes selon le type de l'établissement. Mais cette différence est-elle significative ?

Les résultats du khi-deux (khi-deux = 0,668 et $p = 0,716 > 0,05$), montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Il faut noter que, s'agissant des groupes classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants, ceux-ci sont directement liés aux types d'établissement (voir tableau 55).

6.1.1.4 Autres données issues des questionnaires

Il s'agit des données provenant du questionnaire administré aux groupes-classes expérimentaux après l'expérimentation, et des données issues du questionnaire-enseignant.

❖ *Fréquence des déclarations des élèves sur les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope*

- Par rapport au groupe expérimental global

Variables	Modalités	Effectif	Pourcentage (%)
Lumière (forte)	Avis favorable	76	25,6%
	Avis défavorable	169	56,9 %
	Avis neutre	52	17,5%
	<i>Total</i>	297	100 %
Bruit (gênant)	Avis favorable	106	35,7%
	Avis défavorable	158	53,2%
	Avis neutre	33	11,1%
	<i>Total</i>	297	100 %
Chaleur	Avis favorable	74	24,9%
	Avis défavorable	179	60,3%
	Avis neutre	44	14,8%
	<i>Total</i>	297	100 %
Visibilité de l'image	Avis favorable	194	65,3%
	Avis défavorable	75	25,3%
	Avis neutre	28	9,4%
	<i>Total</i>	297	100%
Qualité de l'image	Avis favorable	165	55,6%
	Avis défavorable	60	20,2%
	Avis neutre	72	24,2%
	<i>Total</i>	297	100%
Utilité du simulateur	Avis favorable	148	49,8%
	Avis défavorable	64	21,5%
	Avis neutre	85	28,6%
	<i>Total</i>	297	100%

Utilisabilité du simulateur	Avis favorable	158	53,2%
	Avis défavorable	62	20,9%
	Avis neutre	77	25,9%
	<i>Total</i>	<i>297</i>	<i>100%</i>

Tableau 56. Fréquences des déclarations des élèves sur les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope dans l'échantillon global

- Par rapport aux groupes-classes expérimentaux

<i>Variables</i>	<i>Modalités</i>	Ay N = 40	By N = 76	Cy N = 58	Dy N = 58	Ey N = 65
Lumière (forte)	Avis favorable	27,5%	21,1%	28,1%	29,8%	23,9%
	Avis défavorable	50,0%	61,8%	57,9%	54,4%	56,7%
	Avis neutre	22,5%	17,1%	14,0%	15,8%	19,4%
	<i>Total</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
Bruit (gênant)	Avis favorable	25,0%	35,5%	42,1%	36,8%	35,8%
	Avis défavorable	55,0%	53,9%	45,6%	56,1%	55,2%
	Avis neutre	20,0%	10,5%	12,3%	7%	9,0%
	<i>Total</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
Chaleur	Avis favorable	32,5%	17,1%	29,8%	29,8%	20,9%
	Avis défavorable	52,5%	69,7%	52,6%	56,1%	64,2%
	Avis neutre	15,0%	13,2%	17,5%	14,0%	14,9%
	<i>Total</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
Visibilité de l'image	Avis favorables	65,0%	56,6%	77,2%	57,9%	71,6%
	Avis défavorables	27,5%	32,9%	12,3%	31,6%	20,9%
	Avis neutres	7,5%	10,5%	10,5%	10,5%	7,5%
	<i>Total</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
Qualité de l'image	Avis favorables	55,0%	56,6%	51,7%	55,2%	58,5%
	Avis défavorables	22,5%	19,7%	27,9%	20,7%	13,8%
	Avis neutres	22,5%	23,7%	22,4%	24,1%	27,7%
	<i>Total</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
Utilité du simulateur	Avis favorables	50,0%	56,6%	50,88%	47,37%	43,28%
	Avis défavorables	22,5%	11,8%	21,05%	24,56%	29,85%
	Avis neutres	22,5%	31,6%	28,07%	28,07%	26,87%
	<i>Total</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
Utilisabilité du simulateur	Avis favorables	62,5%	51,3%	58,62%	52,63%	45,45%
	Avis défavorables	17,5%	19,7%	24,14%	22,81%	19,70%
	Avis neutres	20,0%	28,9%	17,24%	24,56%	34,85%
	<i>Total</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>

Tableau 57. Fréquence des déclarations sur les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope

D'après les données des tableaux 56 et 57, aussi bien dans le groupe expérimental global que dans les groupes-classes expérimentaux, la majorité des élèves ont estimé que la lumière n'était pas trop forte dans la classe, que le bruit et la chaleur n'étaient pas gênants pour le bon déroulement du cours. Dans l'ensemble, la majorité a trouvé que l'image projetée du simulateur était bien visible, c'est-à-dire assez nette. Les objets symbolisés (boutons, curseurs, écran, ...) étaient reconnaissables et leur rôle compréhensible. De plus, le simulateur leur a semblé facile

à manipuler, et convenir à l'enseignement-apprentissage des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. En somme, les conditions d'utilisation du simulateur n'étaient pas défavorables.

❖ *Données concernant les enseignants*

<i>Variables</i>	<i>Modalités</i>	<i>Effectif</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Genre</i>	Homme	4	80,0 %
	Femme	1	20,0%
	<i>Total</i>	5	100 %
<i>Classe d'âge</i>	Moins de 40 ans	2	40,0 %
	Entre 40 et 49 ans	2	40,0%
	50 ans et plus	1	20,0%
	<i>Total</i>	5	100 %
<i>Expérience professionnelle</i>	Moins de 10 ans	2	40,0 %
	10 ans et plus	3	60,0%
	<i>Total</i>	5	100 %
<i>Fréquence Hebdomadaire Utilisation Ordi. (FHUO)</i>	À l'occasion	2	40,0 %
	Souvent	3	60,0%
	<i>Total</i>	5	100 %
<i>Fréquence d'utilisation ordi. (FUO) en physique</i>	Jamais	3	60,0 %
	À l'occasion	1	20,0%
	Souvent	1	20,0%
	<i>Total</i>	5	100 %
<i>Pratique Internet</i>	Moyenne	1	20,0 %
	Bonne	3	60,0%
	Excellente	1	20,0%
	<i>Total</i>	5	100 %
<i>Pratique de communication avec les TIC</i>	Moyenne	1	20,0 %
	Bonne	3	60,0%
	Excellente	1	20,0%
	<i>Total</i>	5	100 %
<i>Pratique de loisirs avec les TIC</i>	Moyenne	1	20,0 %
	Bonne	1	20,0%
	Excellente	3	60,0%
	<i>Total</i>	5	100 %
<i>Activité pédagogique avec les TIC</i>	Faible	4	80,0 %
	Moyenne	1	20,0%
	<i>Total</i>	5	100 %
<i>Attitude dominante envers l'enseignement de la physique</i>	Positive	5	100,0 %
	Négative	0	0,0%
	<i>Total</i>	5	100 %

Tableau 58. Répartition des enseignants selon les variables les caractérisant

Les données du tableau 58 montrent que la plupart des enseignants de notre étude sont des hommes, représentant 80% des 5 enseignants participant à l'étude. 60% des enseignants ont plus de 40 ans d'âge. La moyenne d'âge est de 40 ans, avec un écart-type d'âges de 8,4 ans. Le plus jeune enseignant a 29 ans tandis que le plus âgé a 50 ans. 60% de ces enseignants ont plus

de 10 ans d'expérience professionnelle. Deux enseignants ont moins de 10 ans d'ancienneté dans le métier, l'un avait 7 ans et l'autre (l'enseignant de 29 ans) avait seulement un an d'expérience au moment de notre étude. Tous affichent une attitude positive envers leur pratique d'enseignement de la discipline. La majorité d'entre eux (60%) utilisent souvent l'ordinateur chaque semaine et justifient d'une bonne pratique Internet et d'une pratique de communication avec les TIC. Mais ils ont surtout une pratique excellente des loisirs à l'aide des TIC. En revanche, la plupart (80%) utilisent très peu les TIC pour des activités pédagogiques. La majorité (60%) n'y fait jamais recours pour dispenser les cours de physique.

6.1.2 Données issues du pré-test et du post-test

6.1.2.1 Répartition des élèves selon le Niveau au départ de l'expérimentation

- Par rapport à l'échantillon global

Niveau au départ	Effectif	Pourcentage (%)
Très faible	287	47,7%
Faible	267	44,4%
Moyen	48	8,0%
Total	602	100 %

Tableau 59. Répartition des élèves de l'échantillon selon leur niveau au départ

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Niveau au départ	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Très faible	134 (44,7%)	153 (50,7%)
Faible	146 (48,7%)	121 (40,1%)
Moyen	20 (6,7%)	28 (9,3%)
Total	300	302

Tableau 60. Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin niveau au départ

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

Niveau de départ	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Très faible	29 (63,0%)	20 (51,3%)	35 (47,9%)	27 (40,9%)	43 (67,2%)	34 (52,3%)	17 (29,8%)	19 (37,3%)	19 (28,4%)	44 (59,5%)
Faible	14 (30,4%)	19 (48,7%)	34 (46,6%)	29 (43,9%)	19 (29,7%)	27 (41,5%)	34 (59,6%)	26 (51,0%)	40 (59,7%)	25 (33,8%)
Moyen	3 (6,5%)	0 (0,0%)	4 (5,5%)	10 (15,2%)	2 (3,1%)	4 (6,2%)	6 (10,5%)	6 (11,8%)	8 (11,9%)	5 (6,8%)
Total	46	39	73	66	64	65	57	51	67	74

Tableau 61. Répartition des élèves dans les groupes-classes selon leur niveau au départ

Nous avons obtenu 602 réponses valides sur 636 élèves dans l'ensemble de notre échantillon d'étude. Les 602 réponses valides correspondent aux participants qui ont effectué les deux tests de recherche (pré-test et post-test), soit 94,7% des élèves de l'échantillon. Seulement 8,0% d'entre eux, présentent un niveau moyen de connaissance sur les concepts visés (tableau 59). En revanche, 47,7% de ces élèves ont un niveau très faible, et 44,4% un niveau faible. Au total, ce sont donc 92,1% des 602 élèves qui ont un niveau relativement faible concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. Ces 602

élèves se répartissent entre le groupe expérimental (300 élèves), et le groupe témoin (302 élèves) (tableau 60). Dans le groupe expérimental la proportion des élèves très faibles à faibles est 93,4%, les autres 6,7% ont un niveau moyen.

Dans le groupe témoin la proportion de ces élèves, de niveau très faible à faible, est 90,8% contre 9,3% de niveau moyen. Nous avons également des répartitions similaires, des élèves de niveau très faible à faible, dans les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants (tableau 61), Ay (93,4%), Ax (100%), By (9,5%), Bx (84,8%), Cy (96,9%), Cx (93,8%), Dy (89,4%), Dx (88,3%), Ey (88,1%) et Ex (93,3%). C'est dans le groupe-classe témoin Bx que la proportion totale d'élèves très faibles à faibles est relativement moins élevée que dans les autres groupes-classes. Et c'est le groupe-classe dans lequel il y a plus d'élèves de niveau moyen (15,2%), comparé aux autres groupes-classes.

Ces résultats nous semblent justifiés car les connaissances vérifiées sont, en grande partie nouvelles pour ces élèves, car la plupart d'entre eux (96,1%) sont à leur première année de scolarisation en classe de 4^{ème} (*voir répartition des élèves selon leur statut de Redoublant*). Ces connaissances font l'objet de la leçon qui doit être dispensée. Les élèves n'étaient donc pas censés les détenir avant l'expérimentation. Ils ont tenté de répondre aux questions relatives à ces deux concepts grâce à leurs connaissances antérieures. En considérant un groupe ou un groupe-classe expérimental et le groupe ou le groupe-classe témoin correspondant, nous constatons que les proportions des élèves de niveau très faible à faible, et celles des élèves de niveau moyen, sont différentes. Mais cette différence est-elle significative ?

D'après les résultats du test statistique du khi-deux (khi-deux = 4,925 et $p = 0,085 > 0,05$), globalement, le groupe expérimental et le groupe témoin ne sont pas significativement différents selon le niveau des élèves au départ de l'expérimentation. Pour les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants, A (khi-deux = 4,867 et $p = 0,088 > 0,05$), B (khi-deux = 3,657 et $p = 0,161 > 0,05$), C (khi-deux = 3,102 et $p = 0,212 > 0,05$), et D (khi-deux = 0,847 et $p = 0,655 > 0,05$), la différence entre ces deux types de groupes-classes n'est pas significative. En revanche, pour l'enseignant E (khi-deux = 13,761 et $p = 0,001 < 0,05$), les résultats du test du khi-deux montrent que le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin sont significativement différents selon le niveau des élèves au départ de l'expérimentation.

6.1.2.2 Répartition des élèves de l'échantillon selon leur progression

- Par rapport à l'échantillon global

Progression	Effectif	Pourcentage (%)
Non	218	36,2%
Oui	384	63,8%
Total	602	100 %

Tableau 62. Répartition des élèves de l'échantillon selon leur progression

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Progression	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Non	100 (33,3%)	118 (39,1%)
Oui	200 (66,7%)	184 (60,9%)
Total	300	302

Tableau 63. Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon leur progression

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

Progression	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Non	11 (28,2%)	17 (37,0%)	23 (31,5%)	31 (47,0%)	14 (21,9%)	49 (75,4%)	21 (36,8%)	10 (19,6%)	31 (46,3%)	11 (14,9%)
Oui	28 (71,8%)	29 (63,0%)	50 (68,5%)	35 (53,0%)	50 (78,1%)	16 (24,6%)	36 (63,2%)	41 (80,4%)	36 (53,7%)	63 (85,1%)
Total	39	46	73	66	64	65	57	51	67	74

Tableau 64. Répartition des élèves de l'échantillon dans les groupes-classes selon leur progression

Dans l'échantillon de notre étude, nous avons obtenu 602 réponses valides sur 636 élèves (voir tableau 62). Sur les 602 élèves, 384 élèves ont progressé par rapport à leur niveau de départ, soit 63,8% des élèves, contre 218 élèves, soit 36,2%. Les 63,8% des élèves qui ont progressé et les autres 36,8% des élèves qui n'ont pas progressé se répartissent, globalement, entre le groupe expérimental et le groupe témoin (voir tableau 63). Pour le groupe expérimental, 300 élèves sur 316 initialement prévus ont donné des réponses valides. 66,7% de ces 300 élèves ont progressé contre 33,3% qui n'ont pas progressé. Pour le groupe témoin, 60,9% des 302 élèves sur les 320 élèves initialement prévus, ont progressé contre les 39,1% des élèves restants. Au niveau des groupes-classes par enseignant, les proportions des élèves qui ont progressé et celles des élèves qui n'ont pas progressé s'établissent diversement (voir tableau 64). Ce qui est frappant est que pour le groupe-classe témoin de l'enseignant C (Cx), 75,4% des élèves de ce groupe n'ont pas progressé. Dans le groupe-classe témoin Bx, et le groupe-classe expérimental Ey, il y a presque autant d'élèves qui ont progressé et que d'élèves qui n'ont pas progressé. Entre les groupes (resp. entre les groupes-classes) expérimentaux et, les groupes (resp. les groupes-classes) témoins correspondant, les répartitions des élèves sont différentes. Mais ces différences sont-elles significatives ?

Les résultats du test du khi-deux (khi-deux = 2,146 et $p = 0,150 > 0,05$) montrent, globalement, que le groupe expérimental et le groupe témoin ne sont pas significativement différents selon la progression des élèves. Les résultats du test du khi-deux concernant les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants A (khi-deux = 0,732 et $p = 0,489 > 0,05$) et B (khi-deux = 3,489 et $p = 0,081 > 0,05$), montrent de même que les deux groupes-classes ne sont pas significativement différents selon la progression des élèves. Pour les groupes classes de l'enseignant D (khi-deux = 2,146 et $p = 0,057 > 0,05$), il est peu probable que le groupe-classe expérimental et le groupe-témoin soient semblables au regard de la valeur limite de p (0,057). En revanche, les résultats du test du khi-deux montrent que, entre les groupes-classes expérimental et témoin de l'enseignant C (khi-deux = 36,954 et $p = 0,000 <$

0,05), et entre les groupes-classes expérimental et témoin de l'enseignant E ($khi\text{-deux} = 16,581$ et $p = 0,000 < 0,05$), il existe une différence très significative selon la progression des élèves.

6.1.2.3 Répartition des élèves selon leur performance au score

- Par rapport à l'échantillon global

Performance	Effectif	Pourcentage (%)
Baisse	102	16,9%
Constante	116	19,3%
Hausse	384	63,8%
Total	602	100 %

Tableau 65. Répartition des élèves de l'échantillon selon leur performance

- Par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin

Performance	Groupe expérimental	Groupe Témoin
Baisse	41 (13,7%)	61 (20,2%)
Constante	59 (19,7%)	57 (18,9%)
Hausse	200 (66,7%)	184 (60,9%)
Total	300	302

Tableau 66. Répartition des élèves dans le groupe expérimental et le groupe témoin selon leur performance

- Par rapport aux groupes classes expérimentaux (y) et Témoins (x)

Performance	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Baisse	1 (2,6%)	7 (15,2%)	5 (6,8%)	18 (27,3%)	6 (9,4%)	26 (40,0%)	12 (21,1%)	6 (11,8%)	17 (25,4%)	4 (5,4%)
Constante	10 (25,6%)	10 (21,7%)	18 (24,7%)	13 (19,7%)	8 (12,5%)	23 (35,4%)	9 (15,8%)	4 (7,8%)	14 (20,9%)	7 (9,5%)
Hausse	28 (71,8%)	29 (63,0%)	50 (68,5%)	35 (53,0%)	50 (78,1%)	16 (24,6%)	36 (63,2%)	41 (80,4%)	36 (53,7%)	63 (85,1%)
Total	39	46	73	66	64	65	57	51	67	74

Tableau 67. Répartition des élèves dans les groupes-classes selon leur performance

Sur les 602 élèves ayant effectué correctement le pré-test et le post-test de notre expérimentation (voir tableau 65), 384 élèves ont réalisé une performance à la hausse dans l'ensemble de notre échantillon, indépendamment de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, soit 63,8% des 602 élèves. 16,9% ont baissé par rapport à leur score au pré-test et 19,3% sont restés constants. Ces 602 élèves de l'échantillon sont répartis globalement, entre le groupe expérimental, avec 300 élèves sur 316 initialement, et le groupe témoin, avec 302 élèves sur 320 initialement (voir tableau 66). Dans le groupe expérimental, 66,7% des élèves ont eu une performance à la hausse, 13,7% ont baissé en performance, et 19,7% sont restés constants. Pour le groupe témoin, 60,9% des élèves de ce groupe ont eu une performance à la hausse, 20,2% ont une performance à la baisse et 18,9% ont une performance constante. Concernant les groupes-classes respectifs de chaque enseignant, nous constatons que dans tous les groupes-

classes, plus de la moitié du groupe-classe a réalisé une performance à la hausse (voir tableau 67), sauf dans le groupe-classe témoin de l'enseignant C où seulement 24,6% des 65 élèves ont réalisé une performance à la hausse. En comparant les groupes-classes de chaque enseignant, nous remarquons qu'il y a une différence, selon les performances réalisées à la hausse surtout, entre les groupes-classes expérimentaux et les groupes-classes témoins à la faveur des groupes-classes expérimentaux, excepté pour ceux des enseignants D et E où la performance à hausse semble être majoritairement du côté des groupes-classes témoins. Mais ces différences sont-elles significatives ?

Globalement, les résultats du test statistique du khi-deux par rapport au groupe expérimental et au groupe témoin (khi-deux = 4,616 et $p = 0,099 > 0,05$), montrent que la différence entre les deux types de groupes n'est pas significative selon la performance au score. Elle n'est pas non plus significative pour les groupes-classes des enseignants A (khi-deux = 3,968 et $p = 0,138 > 0,05$) et D (khi-deux = 3,927 et $p = 0,140 > 0,05$). En revanche, elle est très significative pour les groupes-classes des enseignants B (khi-deux = 10,475 et $p = 0,005 < 0,05$), C (khi-deux = 37,268 et $p = 0,000 < 0,05$) et E (khi-deux = 17,440 et $p = 0,000 < 0,05$). En conclusion, le groupe expérimental et le groupe témoin ne sont pas différents selon la performance au score. Les groupes-classes expérimentaux et témoins respectifs des enseignants A et D ne sont pas non plus différents selon la performance au score. Par contre, les groupes-classes expérimentaux et témoins des enseignants B, C et E sont différents selon la performance au score.

6.1.2.4 Croisements entre les variables

Nous avons effectué une analyse factorielle des correspondances multiples (ACM) entre les variables extrinsèques mais aussi entre ces variables et les variables *Attitude envers la physique Avant l'expérimentation*, *niveau au départ* et *performance*, afin de savoir si elles s'influencent mutuellement (voir tableau de résultats à l'Annexe A13). Avec les variables analysées, nous avons obtenu avec le logiciel SPSS20 une valeur moyenne totale du coefficient *Alpha de Cronbach* de $0,743 > 0,7$ (ou $74,3 \% > 70\%$) (Voir annexe A). Ce qui nous fonde à estimer que notre analyse est pertinente et que les résultats du traitement sont satisfaisants. Les résultats obtenus sont à l'annexe A13. L'analyse a été effectuée sur les 636 observations de notre échantillon, dont 522 observations valides actives. Toute l'information est réduite sur deux dimensions (axes) ou facteurs (voir annexe). Ces deux dimensions portent 66,41% de l'information dont 34,12% sur l'axe 1 (dimension 1) et 32,29% sur l'axe 2 (dimension 2). Nous remarquons, d'après les mesures de discrimination (voir figure 13 et tableau en annexe), que les variables *Groupe-classe*, *Situation d'enseignement*, *Type d'établissement*, et *Genre* sont celles qui paraissent les plus pertinentes pour l'interprétation des résultats de notre étude.

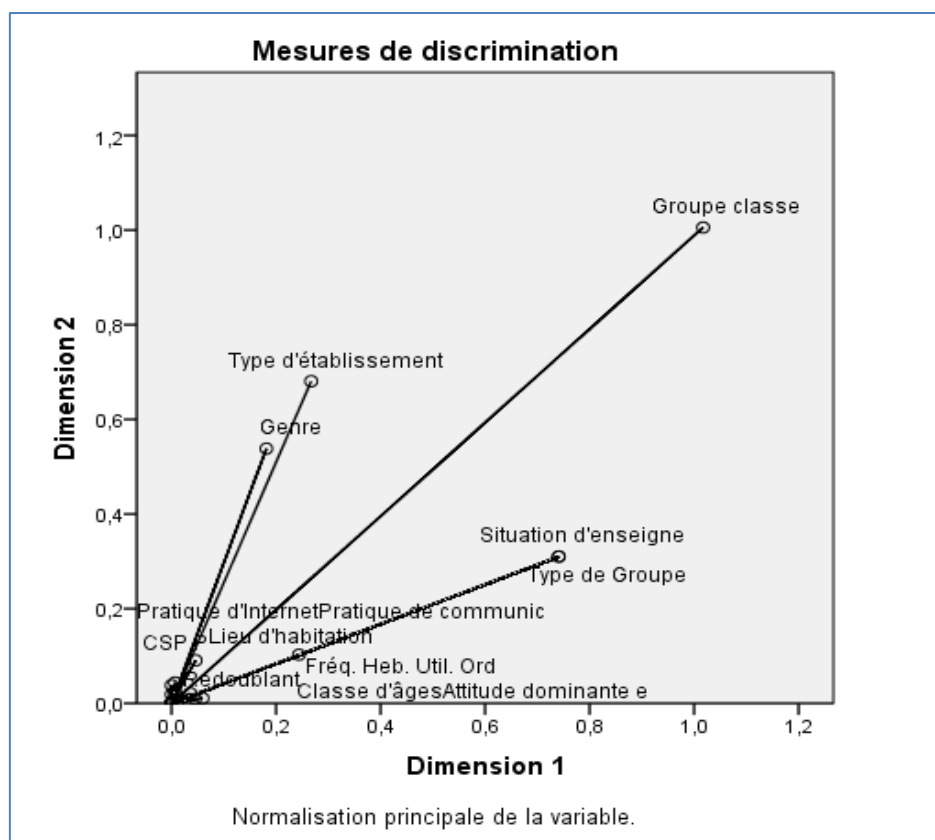


Figure 13. Variables de discrimination de notre étude

Les mesures de discrimination montrent, d'après les angles formés entre les vecteurs correspondant aux variables les plus discriminantes, qu'il existe une relation entre ces variables prises 2 à 2. Nous noterons que plus l'angle entre les deux vecteurs est petit plus la relation est relativement forte, par exemple entre le *Genre* et le *type d'établissement*, entre le *Genre* et le *Groupe classe*, entre le *Genre* et la *situation d'enseignement*.

6.1.3 Données issues des observations de classes *in situ*

6.1.3.1 De la pratique de la démarche d'investigation : l'ICS et le SRR

Les données concernent les valeurs résultant des pondérations relatives à l'*Inquiry Cycle Score* (ICS), caractérisant la pratique de la démarche d'investigation POE pratiquée par l'enseignant pendant l'expérimentation, et celles concernant le taux de réponses fournies par les élèves, le *Student Response Rate* (SRR), lors de la pratique de la démarche d'investigation POE par l'enseignant. Le tableau 68 présente ces données (voir détails en annexe A14).

Enseignants	Groupes classes	ICS	SRR
A	Ay	12	40
	Ax	10	23
B	By	26	68
	Bx	10	42
C	Cy	27	43
	Cx	2	33

D	Dy	32	43
	Dx	35	31
E	Ey	46	44
	Ex	7	39

Tableau 68. Récapitulatif des données relatives à la pratique de la démarche d'investigation POE

Nous rappelons que les groupes Ay, By, Cy, Dy et Ey sont les groupes classes expérimentaux et les groupes classes Ax, Bx, Cx, Dx et Ex sont les groupes classes témoins.

D'après les données du tableau 68, nous remarquons qu'il y a une différence entre les valeurs d'ICS des groupes classes expérimentaux et témoins. Elles sont plus élevées dans la plupart des groupes classes expérimentaux que dans les groupes classes témoins, excepté dans le groupe classe Dy, groupe classe expérimental de l'enseignant D (Voir illustration figure 14). De même les valeurs du SRR dans les groupes classes expérimentaux sont plus élevées par rapport à celles des groupes classes témoins. (Voir illustration figure 15)

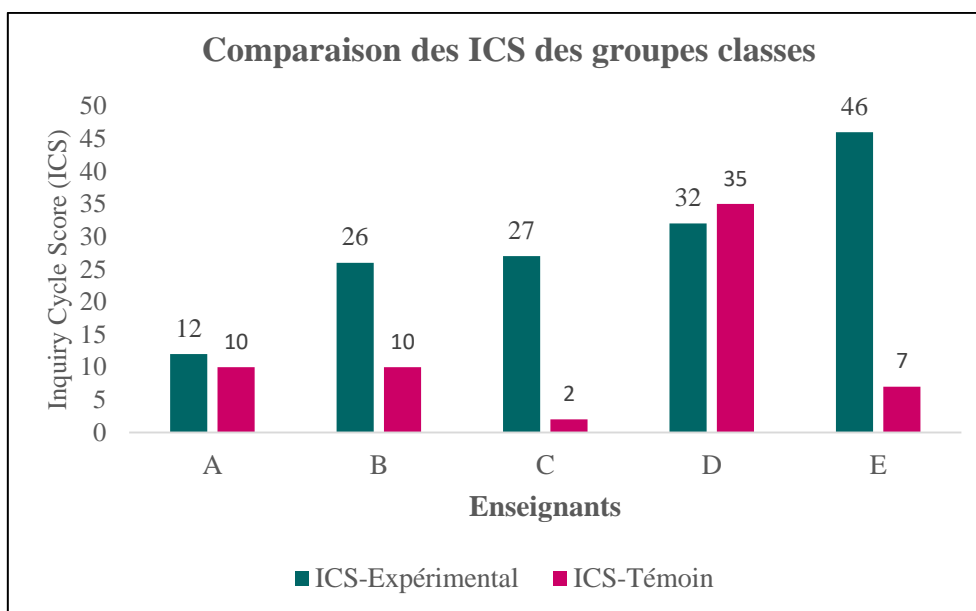


Figure 14. Pratique de la démarche POE. ICS Enseignant dans les groupes-classes expérimentaux et témoins

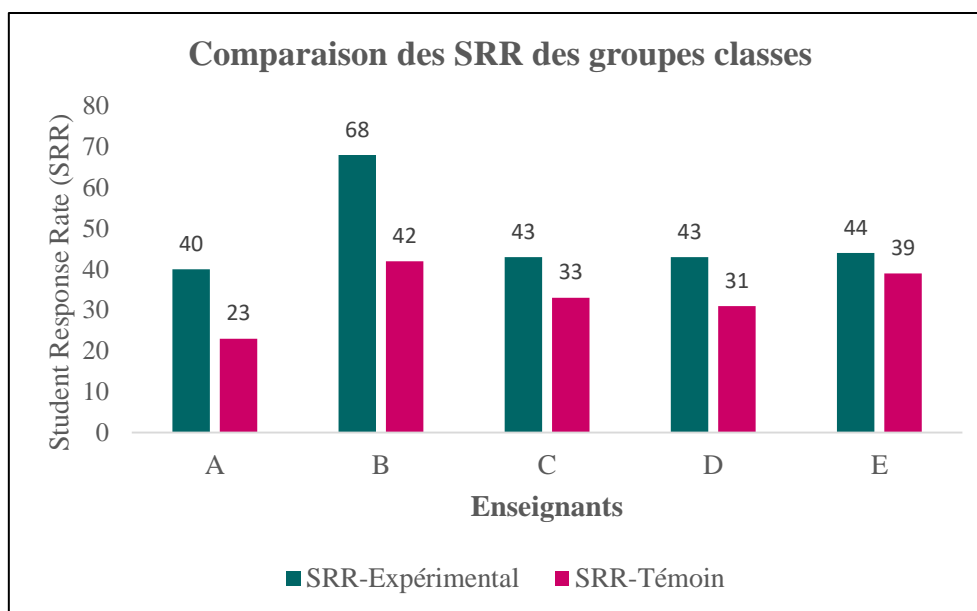


Figure 15. Pratique de la démarche POE. SRR dans les groupes-classes expérimentaux et témoins

6.1.3.2 De la pratique de la pédagogie de l'apprentissage

Les données concernent les occurrences des variables-effets que nous avons retenues pour notre étude, à savoir la *stimulation cognitive et motivationnelle* (SCM), l'*implication et l'engagement dans la tâche* (IET), la *régulation interactive* (RI), le *renforcement et l'évaluation des réponses-élèves* (RER), et le *climat social* (CS). Le tableau 69 présente ces données (voir détails en annexe A9).

Enseignants	Groupes classes	SCM	IET	RI	RER	CS	Total
A	Ay	23	52	1	13	5	94
	Ax	11	59	0	8	1	93
B	By	8	86	0	13	0	107
	Bx	13	67	0	13	0	93
C	Cy	11	99	0	29	2	141
	Cx	1	16	0	5	5	27
D	Dy	3	101	0	0	2	106
	Dx	2	113	0	0	2	117
E	Ey	6	126	0	3	0	135
	Ex	1	85	0	0	0	86

Tableau 69. Occurrences des variables effets-clés de la pratique pédagogique de chaque enseignant dans le groupe classe expérimental et le groupe classe témoin

Le tableau 69 nous indique, dans l'ensemble, que les nombres d'occurrences des variables effets-clés sont plus élevés dans les groupes expérimentaux que dans les groupes témoins. Sauf pour la régulation interactive (RI) et le climat social (CS) pour lesquelles les valeurs sont plus faibles.

6.1.3.3 De la participation du groupe-classe au déroulement du cours

Les données concernent les occurrences liées au comportement de l'élève selon les catégories que nous avons définies dans notre grille d'observation de l'élève (voir annexe A). Il s'agit de l'*attention/la discipline du groupe-classe*, leur *participation générale*, et leur participation spécifique à la construction du savoir physique pendant la période de la pratique de la démarche d'investigation POE par l'enseignant, en vue de la détermination du *Student Response Rate (SRR)*. Selon notre grille d'observation, l'attention et la discipline du groupe-classe renvoient au climat social, et la participation générale renvoie à l'engagement dans l'apprentissage. Le tableau 70 indique, pour chaque groupe-classe, les nombres d'occurrences des indicateurs de ces différentes catégories.

Actions	Groupes classes									
	Ay	Ax	By	Bx	Cy	Cx	Dy	Dx	Ey	Ex
Rappelé à l'ordre (RAO)	3	10	0	0	8	16	0	0	0	2
Veut répondre à une question (VR)	20	46	25	26	41	7	0	9	34	47
Répond à une question (RQ)	30	52	97	86	91	12	76	71	87	44
Pose une question (PQ)	2	1	7	8	4	3	0	0	8	0
Exécute une tâche demandée (ET)	3	10	14	6	11	11	3	7	5	8
Prends note ou la trace écrite (PNT)	0	0	10	17	9	8	0	0	0	18
Répète/termine le propos (RP)	4	1	20	21	58	22	7	17	9	8
Donne des explications, des explicitations, des infos. (EEI)	6	4	1	7	3	3	0	1	1	0
Répond à une question de prédiction (P)	1	0	5	1	3	0	7	5	12	0
Répond à une question d'observation (O)	3	1	27	6	13	1	7	6	11	6
Explique le résultat de son observation (E)	1	0	1	0	3	0	1	1	3	0
Répond à une question de rappel (r)	1	4	8	6	1	0	0	3	7	7
Total	74	129	215	184	245	83	101	120	174	128

Tableau 70. Nombre d'occurrences des indicateurs de comportement de chaque groupe-classe

Ay, By, Cy, Dy et Ey sont les groupes-classes expérimentaux et Ax, Bx, Cx, Dx et Ex sont les groupes-classes témoins respectivement des enseignants A, B, C, D, et E. Dans l'ensemble, la participation des groupes-classes consiste majoritairement à répondre aux questions posées par l'enseignant. Nous constatons qu'il y a parmi les questions répondues très peu de réponses à l'endroit des questions de prédiction, d'observation et d'explication.

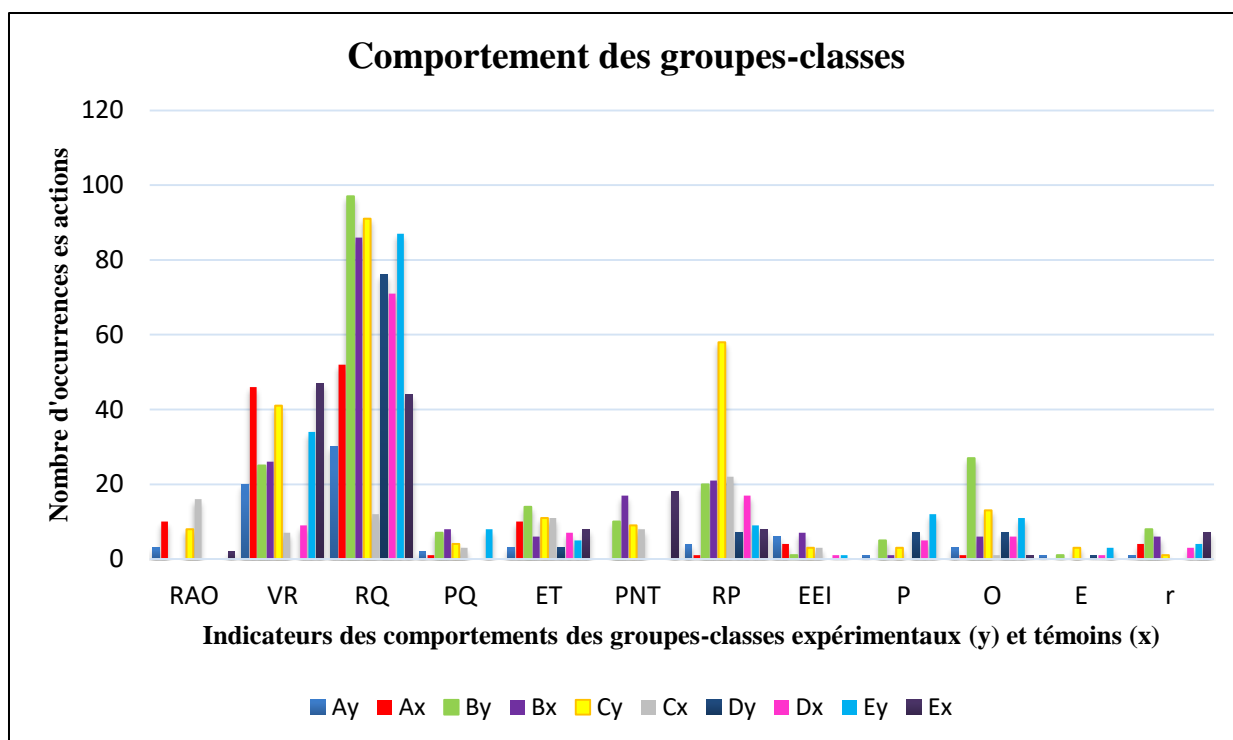


Figure 16. Histogramme des occurrences des actions relatives aux comportements des groupes-classes

L'histogramme de la figure 16 illustre le nombre d'occurrences des actions identifiées comme essentielles pour caractériser la participation des groupes-classes au déroulement de la leçon. Globalement, la participation des groupes-classes aux réponses questions est plus active dans les groupes-classes expérimentaux que dans les groupes-classes témoins. Hormis les groupes-classes des enseignants A et C, il n'y a pas de rappel à l'ordre dans les groupes-classes. Dans les cas des enseignants A et C, les rappels à l'ordre sont moindre dans le groupe-classe expérimental que dans le groupe-classe témoin.

6.1.3.4 De l'utilisation du simulateur d'oscilloscope

Ici, les données concernent la présence ou non des indicateurs recherchés dans les actions de l'enseignant, selon notre grille d'observation de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, dans le cadre de la construction des connaissances relatives à la notion de *fréquence* et à celle de *période* d'une tension alternative sinusoïdale (voir grille en annexe A11). Le tableau 71 répertorie les indicateurs d'utilisation du simulateur d'oscilloscope selon le modèle que nous avons proposé.

N°	Actions (Oui = 1 ; Non = 2)	Enseignants				
		A	B	C	D	E
P1.1	Explique le but/l'objectif de la manipulation	2	1	1	1	1
P1.2	Donne la définition d'une tension alternative sinusoïdale	1	1	1	1	1
P1.3	Donne la définition du concept de fréquence d'une tension alternative sinusoïdale	1	1	1	1	1
P1.4	Donne la définition du concept de période d'une tension alternative sinusoïdale	1	1	1	1	1
P2.1	Présente/décrit le simulateur d'oscilloscope	2	1	1	2	1

P2.2	Vérifie le réglage, l'ajuste si nécessaire, avant de commencer la manipulation	2	1	1	2	1
P2.3	Affiche le graphe de la tension alternative sinusoïdale	1	1	1	1	1
P2.4	Explique la modélisation représentant la tension alternative sinusoïdale	2	1	1	1	2
P2.5	Montre ou fait montrer un motif élémentaire de la tension sur le graphe	2	1	1	2	2
P2.6	Montre ou fait montrer le segment correspondant à la période de la tension alternative sinusoïdale	1	1	1	2	1
P3.1	Fait montrer le nombre de motifs élémentaires sur une durée donnée	2	2	2	2	2
P3.2	Fait calculer le nombre de motifs pour 1 seconde	2	2	2	2	2
P3.3	Fait noter la valeur de fréquence avec son unité de mesure (Hz)	1	1	1	1	1
P3.4	Fait déterminer la valeur de la période sur un motif élémentaire en seconde	1	2	1	2	1
P3.5	Fait noter la valeur de la période avec son unité légale (en seconde)	1	1	1	2	1
P4.1	Fait prédire le sens de variation de la fréquence et de la période au cas l'on fait varier la fréquence du Générateur de Basses Fréquences (GBF)	2	1	2	2	1
P4.2	Fait varier la fréquence du GBF	2	1	2	1	1
P4.3	Fait observer au groupe-classe les modifications produites sur le graphe au niveau du nb de motifs élémentaires et de la longueur de la période	2	1	2	1	1
P4.4	Fait confronter les idées de départ du groupe à la réalité des faits	2	2	2	2	1
P4.5	Fait conclure sur la relation entre la fréquence et la période	1	1	2	1	1
P4.6	Fait noter l'expression mathématique qui traduit la relation entre la période et la fréquence	1	1	1	1	1
P4.7	Fait faire une application	1	2	1	1	1
P5.1	Annonce le recommencement de l'expérience	2	2	2	2	1
P5.2	Modifie le réglage du dispositif	2	2	2	2	2
P5.3	Vérifie les acquis (évaluation formative)	2	2	2	2	1
OE	Exécute les actions dans l'ordre pendant la manipulation	2	2	1	2	2
DU1	Passe moins de 5 min à manipuler le simulateur d'oscilloscope	2	2	2	2	2
DU2	Passe entre 5 et 10 min à manipuler le simulateur d'oscilloscope	2	2	2	1	2
DU3	Passe entre 10 et 15 min à manipuler le simulateur d'oscilloscope	1	2	2	2	2
DU4	Passe plus de 15 min à manipuler le simulateur d'oscilloscope	2	1	1	2	1
MU1	Fait tout le cours avec trace écrite au tableau avant d'utiliser le simulateur d'oscilloscope	2	2	2	1	1
MU2	Fait toute l'expérience avec le simulateur d'oscilloscope, avant de mettre la trace écrite du cours au tableau et la faire noter à la classe.	2	2	1	2	2
MU3	Utilise en alternance avec la notation de la trace écrite du cours au tableau (en mode matériel réel).	1	1	2	2	2

Tableau 71. Indicateurs d'utilisation du simulateur d'oscilloscope par enseignant

1 = Oui ; 2 = Non ; OE : Ordre d'exécution des actions ; DU : Durée d'utilisation du simulateur ; MU : Moment d'utilisation

Les données du tableau 71 révèlent que les 5 enseignants n'ont pas utilisé le simulateur d'oscilloscope au même moment dans le déroulement du processus enseignement-apprentissage (voir images en annexe A16). En effet, trois moments d'utilisation sont apparus au hasard au cours de cette étude selon la stratégie de chaque enseignant. Les enseignants A et B ont utilisé le simulateur d'oscilloscope, de manière alternée avec le tableau à craie, dans l'ordre normal du déroulement de la leçon. Ils ont fait recours au simulateur d'oscilloscope chaque fois qu'ils abordaient une notion qui nécessitait son utilisation. Ils faisaient prendre la trace écrite par les élèves au fur et à mesure. Contrairement à l'enseignant B, l'enseignant A a très peu manipulé le simulateur. Compte tenu du fait que l'écran de projection occupait une bonne partie du tableau à craie, l'exploitation du tableau à craie n'a pas été aisée du tout. La deuxième découverte que nous avons faite, a été celle de l'utilisation du simulateur par l'enseignant C. En effet, l'enseignante a utilisé le simulateur d'oscilloscope, pendant un temps relativement long (environ 26 min pour une leçon de 60 min), pour aborder les notions de fréquence et période, en faisant les différentes manipulations sans faire noter quoique soit dans le cahier par les élèves pendant l'utilisation, contrairement aux enseignants A et B. Elle a fortement impliqué les élèves pendant les différentes manipulations sous forme de questions-réponses. Après l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, elle a fait enlever l'écran de projection pour disposer entièrement de son tableau à craie puis a fait restituer, dans une sorte de « *brainstorming* », par les élèves, tout ce qui a été précédemment vu pendant l'utilisation du simulateur. Les élèves ont ensuite noté la trace écrite dans leur cahier de cours. La dernière stratégie a été celle utilisée par les enseignants D et E. En effet, D et E ont utilisé le simulateur carrément après avoir fait toute la leçon sur les notions en jeu. Ils ont donc utilisé le simulateur dans un but d'illustration. Dans l'ensemble, même s'il y a eu quelques tentatives, la pratique de la démarche d'investigation avec le simulateur n'a pas été très visible. Le lecteur pourra se référer au document de transcription des dix séquences de cours réalisées lors de cette expérimentation avec les cinq enseignants.

6.1.3.5 Des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope

Les données que nous avons observées, de notre position assise au fond de la classe, sur les conditions d'utilisation du simulateur concernent celles relatives à la *gestion de l'espace*, la *gestion des supports didactiques*, les *conditions d'exécution* des séquences de cours utilisant le simulateur d'oscilloscope, et la *qualité du simulateur*. Le tableau 72 répertorie la présence ou non des indicateurs liés aux conditions d'utilisation du simulateur dans les groupes-classes expérimentaux, Ay, By, Cy, Dy, et Ey, selon notre grille d'observation (voir annexe A12).

Indicateurs	Groupes-classes Indices (Oui = 1 ; Non = 2)	Ay	By	Cy	Dy	Ey
		Gestion de l'espace	Il y a plus d'élèves que de places assises	2	1	2
	L'enseignant est assis sur le côté ou face à l'écran de projection	1	2	2	1	1
	Le vidéoprojecteur est très rapproché de l'écran de projection	2	2	2	2	2

Gestion des supports	L'enseignant utilise le tableau	1	1	1	1	1
	L'enseignant utilise un manuel scolaire	1	1	1	1	1
	L'enseignant utilise des photocopies	1	1	1	1	1
	L'enseignant présente un oscilloscope et un GBF concrets	2	1	2	1	2
Conditions d'exécution	L'espace occupé par la classe par rapport à la superficie de la salle est suffisant/difficile de circuler entre les rangées	1	2	2	1	1
	L'intensité de la lumière dans la salle est forte	2	2	2	2	2
	Le bruit perçu dans la salle est gênant	2	2	2	2	2
	Il y a une bonne circulation d'air dans la classe	2	1	2	1	1
	Le temps d'utilisation du simulateur est supérieur à 15 min	2	1	1	2	1
	L'enseignant utilise le simulateur de manière alternée avec le tableau à craie	1	1	2	2	2
	L'enseignant utilise le simulateur avant le tableau à craie	2	2	1	2	2
Qualité du simulateur	L'image projetée du simulateur est bien visible	1	1	1	1	1
	Les objets symbolisés (boutons, curseurs) sur le simulateur d'oscilloscope sont facilement reconnaissables ainsi que leur rôle	1	1	1	1	1
	Le simulateur permet de repérer la période sur la courbe de la tension alternative sinusoïdale ainsi que la fréquence à travers plusieurs motifs élémentaires	1	1	1	1	1
	Le simulateur semble facile à manipuler	2	2	1	2	1

Tableau 72. Indicateurs des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope

1 = Oui ; 2 = Non

En ce qui concerne la gestion de l'espace, dans la plupart des groupes-classes expérimentaux, nous avons observé que chaque élève avait une place assise sauf, pour deux cas au moins dans le groupe-classe By où les élèves étaient assis à 3 sur une table-banc de 2 places. Nous avons observé aussi que les bureaux des enseignants des groupes-classes By et Cy étaient disposés de telle sorte que l'enseignant donnait dos au tableau à craie, et donc à l'écran de projection accroché sur ce tableau (*voir images en annexe A17*). Pour les enseignants C, D et E, les bureaux étaient placés sur le côté, perpendiculairement à la rangée des élèves. Ils peuvent ainsi voir l'écran de projection sur leur gauche (cas des enseignants A et E) ou sur leur droite (cas de l'enseignant D) pendant la manipulation de l'ordinateur. Le vidéoprojecteur a été placé, à peu près, dans la rangée centrale, relativement loin du tableau à craie, 2 à 2m50, pour permettre d'afficher l'image projetée du simulateur d'oscilloscope avec une taille relativement bonne, pour que celle-ci soit assez visible depuis le fond de la salle de classe.

Dans le cadre de sa pratique d'enseignement, tous les enseignants ont utilisé, en plus du tableau à craie, des photocopies. Sur ces photocopies l'on pouvait voir le dessin d'un oscilloscope, vu de face, avec une représentation du graphe d'une tension alternative

sinusoïdale. L'enseignant D a utilisé un document, comportant certes le dessin d'un, oscilloscope, mais aussi des trous à compléter pour la trace écrite. En plus du document à trou, l'enseignant D a présenté aux élèves un oscilloscope, un GBF et un voltmètre concrets pour qu'ils sachent à quoi ces équipements ressemblent.

Nous avons trouvé, dans tous les groupes-classes, que l'intensité de la lumière, la chaleur, et le bruit n'étaient pas gênants pour le déroulement du cours. Au niveau de l'occupation de l'espace, les groupes-classes des enseignants B et C, offraient peu d'espace. Les élèves occupaient la totalité de l'espace de la salle de classe avec un espace très réduit pour le passage entre les rangées. Dans les groupes-classes A, D et E, par contre, il y avait suffisamment d'espace pour bien accueillir tous les élèves. Nous avons également observé que l'image projetée était bien visible, les objets symboliques représentant les boutons, les curseurs, l'écran, etc. étaient identifiables et leur rôle, parfaitement compréhensible. Le simulateur a permis d'afficher la courbe de la tension alternative sinusoïdale, de mettre en évidence le motif élémentaire, de montrer la variation du nombre de motifs en fonction de la variation de la fréquence du GBF, etc. Le simulateur permet donc d'enseigner les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ainsi que la relation qui les lie, selon les recommandations du programme officiel. Même si nous avons constaté quelques hésitations chez certains enseignants, la manipulation du simulateur d'oscilloscope, par les enseignants, nous a semblé aisée. Ce qui montre que la qualité du simulateur proposé est acceptable, et que les conditions d'exécution n'étaient pas défavorables.

6.1.4 Données issues des entretiens semi-directifs avec enseignants et élèves

Ces données concernent l'impact perçu de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, et des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope.

6.1.4.1 De l'impact de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur les élèves

Nous nous sommes intéressés aux extraits de déclarations tendant à vérifier si les élèves des groupes-classes expérimentaux étaient attentionnés par rapport au cours, mais aussi, si l'utilisation du simulateur a eu des effets cognitifs sur eux (par exemple sur la mémorisation, la concentration, la compréhension, etc.).

❖ Concernant l'attention des élèves pendant le cours avec le simulateur

Les données provenant des questionnaires-élèves, administrés aux groupes-classes expérimentaux, ont montré que, dans presque tous ces groupes-classes, les élèves étaient calmes. Cette situation a été également confirmée par les données d'observations directes de classe. Ce calme s'explique-t-il vraiment par l'attention et l'intérêt des élèves pour la leçon qui se déroulait avec l'utilisation du simulateur d'oscilloscope ? Les entretiens semi-directifs que nous (chercheur (CH)) avons réalisés, par exemple, avec l'enseignant B, ainsi qu'avec ses élèves, nous ont permis d'en savoir plus. En réponse à une question que nous avons posée à B sur l'utilité du simulateur d'oscilloscope pour le cours, B a fait une déclaration en lien avec

l'attention des élèves pendant la séquence de cours. Selon B (Annexe B, p. 274) : « leur [les élèves] attention étaient plus captivées que d'habitude quand on le fait sans dispositif... ». (EN, Ligne 2). Pour en avoir une certitude, nous avons également interrogé, les élèves du groupe-classe de l'enseignant B sur la raison de ce calme.

Nous présentons, ci-dessous, des extraits significatifs des déclarations des élèves (EL) du groupe-classe (CLA) de B, lors de l'entretien collectif semi-directif que nous avons mené avec eux, en classe entière (Annexe B, pp 255-264). Ces extraits nous éclairent sur les raisons de ce calme :

CH [ligne⁵³ 166] : ... Maintenant, est-ce qu'il y avait du bruit dans la salle pendant que le professeur expliquait le cours ?

EL7 [ligne 167, 169] : il n'y avait pas trop de bruit parce que les filles étaient en train de dormir.

EL24 [ligne 170] : C'est vrai.

EL23 [ligne 181] : Monsieur toute la classe ne dormait pas. La moitié de la classe dormait mais il y avait d'autres qui étaient concentrées sur autre chose hein. Ce n'est pas forcément sur le cours.

EL26 [ligne 191] : La moitié des filles dormait parce qu'on n'était pas habitué à l'oscilloscope. Elles sont habituées aux explications du professeur ; c'est pourquoi il y a des filles qui s'ennuyaient et elles ont commencé à dormir, et celles qui suivaient aussi elles ne suivaient pas directement ce que l'oscilloscope faisait mais elles étaient impressionnées par quelque chose d'autre.

EL27 [ligne 217] : Monsieur, les filles-là étaient obsédées, intéressées par la caméra, et puis par vous et votre assistant.

CH [ligne 221] : Elle a dit que vous étiez, intéressées par la camera, par moi et puis par mon assistant...

EL29 [ligne 222] : Monsieur c'est pas tout le monde.

EL27 [ligne 227] : Elles disent que votre assistant est beau.

La plupart des élèves de la classe étaient d'accord avec le fait que nombreuses d'entre elles étaient calmes parce qu'elles étaient intéressées par autre chose que le cours. Cependant, certaines parmi elles se sont démarquées de cette réponse. C'est le cas d'EL29 et bien d'autres.

❖ Concernant la compréhension du savoir enseigné

Les extraits de discours, ci-dessous, des élèves de B renvoient à l'effet de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur la compréhension :

CH [ligne 29] : Alors est-ce que ... l'oscilloscope a été utile pour vous ?

CLA [ligne 30] : Oui monsieur

⁵³ Ligne = Tour de parole

CH [ligne 33] :	<i>... Mais en quoi est-ce que ça été utile ? Qu'est-ce qui vous fait dire que ça été utile pour vous ?</i>
EL12 [ligne 38] :	<i>... ça nous a aidés à la compréhension du cours</i>
EL32 [ligne 275] :	<i>Cette expérience nous a permis de bien comprendre et d'apprendre plus ... à travers l'oscilloscope.</i>
CH [ligne 277] :	<i>Est-ce qui il faut introduire ce genre de dispositif là, ce genre d'appareil, ce genre de logiciel ou bien, ne rien amener et faire le cours comme ça qu'est ce qui est intéressant ?</i>
EL35 [ligne 280] :	<i>[Je préfère sans les dispositifs ...]</i>
CH [ligne 283] :	<i>... ah, elle préfère sans les dispositifs, pourquoi ?</i>
EL35 [ligne 284] :	<i>Parce qu'avec les dispositifs on ne comprend rien</i>
CLA [ligne 286] :	<i>[la classe murmure].</i>
EL35 [ligne 287] :	<i>C'est ce que je pense.</i>
EL36 [ligne 291] :	<i>Moi à mon avis on peut faire le cours avec le dispositif parce que quand on fait le cours avec on comprend.</i>
CH [ligne 298] :	<i>C'est plus compréhensible avec le logiciel ?</i>
CLA [ligne 299] :	<i>Oui monsieur.</i>
EL39 [ligne 300] :	<i>C'est mieux avec le dispositif parce que lorsqu'on prend l'oscilloscope là, on arrive à comprendre, car avec le professeur on n'arrivait pas à mémoriser.....</i>

Ce sentiment, selon lequel l'utilisation du simulateur d'oscilloscope a amélioré la compréhension des deux notions se retrouvent aussi dans le discours des élèves de D et de E, mais aussi dans les déclarations de l'enseignants B.

Avec les élèves de D, nous avons noté les extraits suivants (Annexe B, p. 265) :

E46g [ligne 172] :	<i>Le cours était intéressant et j'ai vite compris</i>
E1a [ligne 180] :	<i>Quand il expliquait oralement on comprenait mais avec les images c'était encore plus compréhensible</i>
E1a [ligne 186] :	<i>... avec les schémas et les expériences c'était plus compréhensible.</i>

Avec les élèves de E, nous avons relevé l'extrait suivant (Annexe B, p. 269) :

E44 [ligne 82] :	<i>Le logiciel a permis de comprendre.</i>
------------------	--

Selon B, « ... elles [les élèves] assimilent mieux la notion... » (EN, ligne 8, p. 274). Pour lui, « ce dispositif a vraiment aidé les élèves à mieux comprendre, à mieux assimiler ces notions... » (EN [ligne 12], p. 275). Pour l'enseignant C, « ... les élèves ont pu sortir elles-mêmes la notion de la période à partir de la courbe. » (EN [ligne 15], p. 280).

❖ *Concernant la mémorisation du savoir enseigné*

Les extraits de discours des élèves de B, renvoyant à la mémorisation sont les suivants (Annexe B, pp.263-264) :

EL29 [ligne 300] : ... avec le professeur on n'arrivait pas à mémoriser [le savoir/les explications].

Des indicateurs similaires se retrouvent également dans les déclarations des élèves de D. Nous présentons ci-dessous des extraits de ces déclarations.

Ec [ligne 204] : Sans les matériels ça allait [être] facile d'oublier mais avec les matériels ça va être difficile d'oublier

Ec [ligne 208] : ... avec l'ordinateur on a vu le schéma. C'est difficile d'oublier.

De même, avec les élèves de E (Annexe B, p 271), nous avons relevé l'extrait ci-dessous :

CH [ligne 138] : Quelle aide le logiciel vous apporte-t-il ? ... quel est l'apport le plus important ?

E22 [ligne 141] : il nous apporte de voir son utilisation

E11 [ligne 143] : de pouvoir rester dans la tête

L'enseignant B, faisant allusion à la mémoire visuelle a déclaré les propos suivants (Annexe B, pp. 274, 275) :

EN [ligne 8] : ... elles [les élèves] enregistrent mieux ...

EN [ligne 38] : ... l'élève retient mieux ...

CH [ligne 39] : ... vous n'avez rien noté dans le cahier ...

EN [ligne 40] : ... la prochaine fois quand on le fera c'est elles-mêmes qui donneront la réponse, c'est elles même qui donneront les définitions parce qu'elles ont tout capté. Bien sûr qu'elles vont prendre note mais elles ont déjà tout retenu...

Voici, ci-dessous (Annexe B, p. 283), en lien avec la mémorisation, un extrait de l'entretien que nous avons eu avec l'enseignant D :

CH [ligne 13] : En quoi l'oscilloscope virtuel les [les élèves] a aidé ... ?

EN [ligne 14] : ... de manière visuelle c'est frappant, ... l'élève voit ...et là ça reste... lorsqu'il voit vraiment il n'a même plus besoin de bosser à la maison... ça reste et même quand vous posez la question il se rappelle ce qu'il a visionné ...

Nous avons relevé d'autres effets du simulateur dans les discours des élèves et des enseignants.

❖ *Autres effets du simulateur d'oscilloscope perçus par les élèves et les enseignants*

Dans le groupe-classe de B, l'élève EL43, a fait la déclaration suivante : « *Quand on fait les cours normalement, on n'arrive pas à suivre. Peut-être l'application nous permettra de mieux nous concentrer.* » (Annexe B, EL43 [ligne 314], p. 264). L'élève, E46g, de l'enseignant D, trouve, pour sa part que, « *c'était bien intéressant, le cours.* » (E46g [ligne 170], 265).

Selon l'enseignant B, « *... les élèves étaient encore plus motivés à suivre le cours...* » (EN [ligne 8], p. 274). Pour lui, « *il [le simulateur d'oscilloscope] est bien plus intéressant que l'oscilloscope physique ... c'était comme une distraction, un divertissement.* » (Annexe B, EN [ligne 14], p. 175).

6.1.4.2 De l'utilisation du simulateur d'oscilloscope lors de l'enseignement-apprentissage des notions de fréquence et de période

Les extraits de déclarations que nous présentons, nous renseignent sur l'objectif que les élèves ont perçu, du cours, ainsi que sur l'objectif d'apprentissage prévu par l'enseignant. Nous voulons savoir si les deux étaient les mêmes. En d'autres termes, il s'agit de savoir si les deux objectifs étaient congruents. Nous nous intéressons également de savoir si les élèves ont pu lier les notions de fréquence et période à des événements survenus sur l'écran de l'oscilloscope pour la mise en relation des concepts avec les événements physiques, mais aussi de la relation qui lie les deux notions ainsi que toute autre utilité du simulateur pendant le cours.

❖ *De la congruence entre l'objectif de l'enseignant et l'objectif perçu par les élèves*

L'extrait d'entretien que nous présentons ci-dessous provient des échanges avec les élèves de l'enseignant B (Annexe B, p. 255).

CH [ligne 1] : ... *Qu'est que vous avez bien pu retenir ? ... qu'est-ce qu'il [le professeur] a voulu vous faire comprendre en utilisant le simulateur d'oscilloscope ?*

EL2 [lignes 4, 8] : ... *il voulait nous faire comprendre comment ça marche... [le] simulateur*

EL3 [ligne 10] : *Le cours avec l'appareil*

CH [ligne 11] : ... *Alors le cours portait sur quoi ?*

EL4 [ligne 12] : *L'oscilloscope...*

EL5 [ligne 14] : ... *l'alternance*

EL6 [ligne 18] : *Tension l'alternative*

CLA [ligne 20] : *sinusoïdale*

CH [ligne 21] : ... *par rapport à la tension alternative sinusoïdale, citez-moi trois éléments, trois choses qu'il voulait vous faire retenir en utilisant l'oscilloscope ?*

EL7 [ligne 22] : *il voulait nous faire comprendre la période*

EL7 [ligne 24] : *La période, la tension efficace, et puis ..., la fréquence*

EL7 [ligne 26] : *La tension efficace, la tension maximale,*

L'extrait d'entretien que nous avons eu avec l'enseignant B sur la question est le suivant (Annexe B ; p. 276) :

CH [ligne 33] : Maintenant si je vous demandais quelles étaientles trois choses importantes que les élèves devaient retenir dans le cours que vous venez de faire ? Quelles sont les trois choses importantes ?

EN [ligne 36] : ... Il faut qu'elles puissent reconnaître la courbe de la tension alternative sinusoïdale, ... qu'elles puissent en déterminer les caractéristiques et ... si elles se trouvent en face d'un oscilloscope qu'elles puissent par elles-mêmes manipuler

Parlant de caractéristiques de tension alternative sinusoïdale, B fait allusion à la fréquence, la période, la tension maximale, et la tension efficace (MENET-FP, 2014, 11). Les propos de B montrent que l'objectif perçu par les élèves du groupe-classe expérimental de B et l'objectif prévu par B sont congruents.

Ce même objectif est également rapporté par les élèves du groupe-classe expérimental de l'enseignant E (voir extrait (Annexe B, p. 267) : E33 [ligne 4], E15 [ligne 15], E13 [ligne 19], E31 [lignes 25, 27, 29], CLA [ligne 31]).

❖ *Mise en relation des concepts avec les évènements du monde physique, relation entre fréquence et période*

Des extraits de discours (Annexe B, pp. 256-258) montrent que les élèves du groupe-classe expérimental de B ont fait une mise en relation du lien existant entre les notions de fréquence et période, avec les évènements physiques, caractérisés notamment par des mouvements ou des modifications du graphe de la tension alternative sinusoïdale.

CH [ligne 41] : Qu'est-ce que ... vous avez pu retenir par rapport à ce qui se déroulait sur l'écran ? ... prenons le cas de la période.

EL13 [ligne 44] : ... quand le professeur mettait en mode balayage là, ça s'agrandissait [l'élève accompagne son propos en faisant des gestes d'agrandissement avec ses deux mains].

EL15 [ligne 94] : On a vu que le point était devenu comme une vague [l'élève se met debout pour répondre à la question et fait un geste de la main accompagnant son discours sur la vague]

CH [ligne 95] : Quand il augmentait la fréquence, qu'est-ce qui se passait sur l'écran ? Qu'est-ce qui s'est passé au niveau de la courbe...? ...

EL16 [ligne 96] : La courbe se resserrait

CH [ligne 103] : Et quand il diminuait la fréquence, qu'est-ce qui se passait au niveau de la courbe ?

EL17 [ligne 104] : La courbe grandissait [presqu'inaudible]

EL17 [ligne 106] : La courbe augmentait [l'élève fait un geste des mains pour montrer l'écartement de la courbe]

CLA [ligne 110] : S'élargissait ...

L'emploi de termes tels que « *s'agrandissait* », « *... point devenu comme une vague* », « *se resserrait* », « *s'élargissait* » traduit des événements qui se produisent physiquement (à l'écran) que les élèves captent visuellement, et les associent au savoir en jeu.

❖ *Autre utilité ou rôle du simulateur d'oscilloscope lors de la séquence de cours*

Nous avons noté également d'autres types d'utilité dans les discours des élèves de B, tels que le montrent les extraits ci-dessous :

EL11 [ligne 36] : Ça nous a permis de visualiser la tension.

EL36 [ligne 293] : ... quand on copie les leçons, il y a le nom des machines qu'on met, moi je n'ai jamais vu or que quand on fait le cours avec le dispositif on voit.

Ces extraits mettent en évidence deux éléments importants que ne permettent pas l'enseignement purement théorique à l'aide, uniquement, de photocopies du matériel. Il s'agit de la visualisation du signal, un événement dynamique, et le fait d'associer une signification au nom d'un équipement physique jamais vu dans la réalité.

L'extrait de déclaration, ci-dessous, des élèves de E (Annexe B, p. 266) est aussi évocateur de l'importance du rôle joué par le simulateur d'oscilloscope lors du déroulement de la séquence d'enseignement-apprentissage :

CH [ligne 199] : ... Est-ce qu'il y a une différence [entre le cours avec le simulateur et le cours sans le simulateur] ? Si oui quelle différence y a-t-il ?

Eb [ligne 200] : Oui... monsieur parce que quand il [le professeur] fait là il dessine. Avec l'ordinateur ça bouge et on voit comment ça se passe, comment ça fait.

Le discours d'Eb, sur le fait que, quand on utilise l'ordinateur, « *ça bouge* », c'est-à-dire la courbe (le phénomène), renvoie également à l'importance du rôle dynamique du simulateur d'oscilloscope dans le processus d'enseignement-apprentissage.

En réponse à une question que nous avons posée aux élèves de E, pour connaître leurs avis sur la différence existant entre l'utilisation du simulateur d'oscilloscope et la méthode traditionnelle, des élèves ont fait les déclarations suivantes (Annexe B, pp. 269-270)

E11 [ligne 101] : Le logiciel est comme la pratique.

E45 [ligne 105] : Monsieur c'est un peu plus réel

E31 [ligne 111] : Une expérience

Ces discours montrent que les élèves de E ont perçu l'utilisation du simulateur d'oscilloscope comme la « réalité », au même titre qu'une expérimentation physique.

6.1.4.3 Des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope

Il s'agissait de savoir si le bruit perçu dans la salle gênait l'audition du discours de l'enseignant, si l'intensité de la chaleur ou de la circulation d'air mettait les élèves mal à l'aise,

dans un inconfort au point de ne pas pouvoir bien suivre le cours, ou encore, si, dans l'ensemble, l'intensité de la lumière du jour empêchait les élèves de bien voir l'image projetée du simulateur sur l'écran accroché sur le tableau noir. Les extraits, ci-dessous, nous fournissent des données à ce sujet.

❖ *Bruit dans la salle de classe*

Dans l'ensemble, les élèves de B ont déclaré qu'elles percevaient du bruit dans la salle mais que ce bruit ne les empêchait pas d'entendre ce que disait l'enseignant, comme le montre l'extrait ci-dessous :

CH [ligne 166] : *Ok. Maintenant ... est-ce qu'il y avait du bruit dans la salle, pendant que le professeur expliquait le cours ?*
EL7 [ligne 167] : *... il n'y avait pas trop de bruit*
CH [ligne 188] : *Ce qui veut dire que euh qu'aucun bruit n'a gêné en fait l'explication du professeur. D'accord ?*

Nous pouvons donc considéré que les bruits survenus dans la salle de classe n'ont pas défavorisé l'enseignement-apprentissage.

❖ *Chaleur ou circulation d'air au sein de la salle de classe*

Les déclarations des élèves de B montrent aussi que la chaleur perçue ; ainsi que le manque de circulation d'air dans la salle de classe n'ont pas empêché le bon déroulement du processus enseignement-apprentissage avec le simulateur d'oscilloscope, comme en témoigne l'extrait de discours ci-dessous.

CH [ligne 238] : *... Maintenant est ce que vous avez chaud ?*
CLA [ligne 239] : *Ouuiiii*
CH [ligne 240] : *... est-ce que la chaleur était gênante ?*
CLA [ligne 241] : *Non monsieur*
EL28 [lignes 245 ; 247] : *Il y avait la chaleur et il n'y avait pas assez d'air et les rideaux là encore ... ont augmenté la chaleur encore*
CH [ligne 248] : *Ah et donc ce sont les rideaux qui ont fait que la chaleur a augmenté dans la salle*
CLA [ligne 249] : *Oui monsieur*

Cependant, nous nous rendons compte que les grands noirs rideaux que nous avons installés, dans le but de rendre un peu plus sombre l'intérieur de la salle de classe afin de favoriser une meilleure visibilité de l'image projetée du simulateur d'oscilloscope sur l'écran, ont été défavorables à la circulation d'air. Ils ont, ainsi, contribué à augmenter la chaleur à l'intérieur de la salle.

❖ *Visibilité de l'image projetée du simulateur d'oscilloscope et intensité de la lumière*

Les élèves de B se sont aussi prononcées sur la qualité de la visibilité de l'image du simulateur projetée sur l'écran accroché sur le tableau noir. L'extrait ci-dessous nous situe sur ce qu'elles en disent :

CH [ligne 45] : ... par rapport à l'oscilloscope même qui a été projeté, est-ce que les objets qui étaient présentés sur l'oscilloscope étaient difficiles à comprendre ? Est-ce qu'on devinait euh facilement euh ... ces objets-là ?

EL7 [ligne 46] : c'était un peu difficile de deviner mais après avec le temps [c'était un peu facile]

CH [ligne 47] : C'était un peu difficile ? Quoi par exemple ? Qu'est-ce qui était difficile ?

EL7 [ligne 48] : Les touches là.

EL7 [ligne 54] : Quelque fois ci, on pouvait voir, quelque fois non, on ne pouvait pas savoir parce qu'on ne voyait pas bien

EL7 [ligne 56] : Parce que c'était un peu flou.

CH [ligne 113] : Alors maintenant, nous allons parler des conditions ... d'utilisation. Est-ce que celles qui étaient derrière enfin même celles qui étaient sur les côtés est-ce que vous voyiez très bien ce qui se passait sur l'écran ?

CLA [ligne 114] : Oui monsieur (en chœur). .. Non (une voix)

CH [ligne 115] : Pourquoi vous ne voyiez pas bien

EL18 [ligne 122] : ... on avait l'impression que c'était un peu flou

EL19 [ligne 126] : Monsieur, il y avait certaines écritures qu'on n'arrivait pas à lire

EL21 [ligne 132] : C'était pas très visible.

CH [ligne 133] : C'était pas trop visible. Ok, voilà. Alors ... selon vous, pourquoi c'était flou ?

EL22 [ligne 134] : Monsieur parce que c'était très éloigné de nous.

EL18 [ligne 153] : ... On avait l'impression qu'il n'y avait pas assez de lumière.

CLA [ligne 61] : Que c'est parce qu'il n'y avait pas assez de lumière

EL7 [ligne 163] : Monsieur moi je ne suis pas d'accord. C'est parce que la lumière rentrait trop là qu'on n'arrivait pas à voir

À travers ces déclarations, nous nous rendons compte que la visibilité de l'image n'était pas totalement assurée pour toutes les élèves. Or, pour B, la visibilité était bonne. Ci-dessous, l'extrait de discours qu'il a tenu sur la question : « J'ai trouvé la qualité très bonne, on est en plein jour on a juste eu à fermer la porte, on avait ... l'atmosphère qu'il fallait pour que le simulateur soit bien visible au tableau, ça veut dire que ce simulateur peut être utilisé en tout temps, tout lieu même en toute circonstance » (Annexe B, EN [ligne 20], p. 275)

Ces avis contradictoires peuvent se comprendre dans la mesure où les positions des uns et des autres étaient différentes par rapport à l'écran de projection. L'enseignant était tout juste proche de l'écran tandis que les élèves qui ont dit ne pas bien voir en étaient éloignées.

❖ *Places assises et confort des élèves*

L'expérimentation avec les élèves de B a eu lieu, en classe entière, avec un effectif de 72 élèves. Malgré cet effectif, les élèves étaient assises deux par deux sur le table-banc. Nous avons alors cherché à savoir si les élèves étaient confortablement assises pour suivre le cours, comme l'indique l'extrait suivant :

CH [ligne 230] : Alors ... maintenant ... pendant la projection est ce que vous étiez confortablement assis, est ce que vous étiez à l'aise votre place

CLA [ligne 231] : Monsieur on était à l'aise

EL27 [ligne 233] : Monsieur moi j'étais coincé

CH [ligne 236] : étiez [assis] à 3

EL27 [ligne 237] : Oui monsieur c'est nous [que] vous aviez chassés ici

CH [ligne 238] : Ah d'accord, je ne vous ai pas chassés je vous ai déplacés...

Dans l'ensemble, les élèves ont trouvé que leurs positions assises étaient confortables. Cependant nous avons dû déplacer les élèves d'un table-banc pour mieux positionner le support du vidéoprojecteur afin que le projecteur soit non seulement centré par rapport à l'écran de projection, mais aussi à une bonne distance espérant que l'image soit relativement grande pour être visible sur l'écran depuis le fond de la classe. Ce qui a amené les élèves déplacées à s'asseoir à trois avec une autre élève. Elles n'étaient donc pas très à l'aise pendant le cours, contrairement aux autres.

❖ *Influence de l'environnement extérieur sur l'apprentissage dans la classe*

Nous avons été agréablement surpris de découvrir, dans le discours des élèves, une donnée à laquelle nous n'aurions certainement jamais pensée. Il s'agit du comportement des élèves, n'appartenant pas à la classe, qui sont dehors et qui s'invitent dans le déroulement de la séquence de cours, comme nous pouvons le constater dans l'extrait ci-après (Annexe B, p. 261) :

EL28 [ligne 203] : On ne suivait pas parce ce que il y avait des filles qui parlaient [dehors] à travers les claustras donc on n'entendait pas très bien ce que le professeur disait

CH [ligne 205] : ... elle a dit que là elle n'entendait pas bien parce qu'il y avait des filles dehors qui parlait à travers les claustras...

CH [ligne 207] : Elles regardaient et elles ont dit quoi ?

EL28 [ligne 208] : Elles ont poussé les rideaux et [ont dit] que ils sont là nous filmé

Le comportement des élèves, extérieur à la classe, a donc empêché certaines élèves de suivre correctement le cours, et constitue un facteur défavorable à l'apprentissage.

6.1.4.4 Autres déclarations sur l'utilisation et les conditions de mise œuvre de l'utilisation du simulateur

Dans cette section, nous rapportons des déclarations que nous avons trouvées pertinentes. Elles concernent le moment d'intégration du simulateur dans le déroulement du cours, l'effet du filmage sur la concentration des élèves, et les conditions matérielles de mise en œuvre de l'utilisation du simulateur.

❖ Concernant le moment d'intégration du simulateur d'oscilloscope dans le cours

Les données de l'observation directe des séquences de cours ont montré trois moments d'intégration du simulateur d'oscilloscope dans la pratique des enseignants. Deux enseignants ont eu recours au simulateur après avoir fait entièrement le cours. Ils l'ont donc utilisé à titre d'illustration des notions étudiées. Deux ont tenté de l'utiliser « normalement » comme ils le feraient avec un équipement physique, dans le déroulement normal d'un cours de physique, dans la partie *expérience et observation* du plan de déroulement du cours. Enfin, l'enseignante du groupe l'a utilisé avant de faire prendre la trace écrite du cours par les élèves. Nous avons interrogé l'enseignante sur ce qui l'a motivé à utiliser le simulateur d'oscilloscope pour réaliser toute l'expérimentation nécessaire avant la prise de note au tableau. En réponse à notre question, elle nous a fait savoir qu'en APC ce sont les élèves qui doivent produire la trace écrite du cours. Et que, de ce fait, en procédant ainsi, par des questionnements, elle amène les élèves à dire ce qu'elles ont compris des notions abordées afin de construire cette trace écrite. Et c'est ce qu'elle a fait. Les élèves ont très bien réagi.

❖ Concernant le filmage des élèves en situation de classe

Dans le groupe-classe de l'enseignant B, le filmage direct des élèves a semblé jouer sur la concentration de certains élèves, comme par exemple celle d'EL44 (Annexe B, p. 264), tel que le montrent les propos, ci-dessous,

EL44 [ligne 324] : Monsieur quand vous venez avec l'oscilloscope, évitez de trop nous filmez parce que quand vous nous filmez là, on sera concentrer sur l'appareil, au lieu peut être [du cours], ça nous gêne

Même si dans l'ensemble, les élèves de la classe ne l'ont pas signalé, la remarque faite par EL44 nous semble pertinente et pourrait constituer un facteur défavorable à l'apprentissage.

❖ Concernant les conditions de mise en œuvre de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope

Pour terminer notre entretien avec l'enseignante C, nous avons recueilli son avis sur les conditions de mise en œuvre de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope. Nous vous présentons, ci-dessous, l'extrait correspondant à cet entretien (Annexe B, p. 281) :

CH [ligne 22] : Maintenant pour la mise en œuvre de l'utilisation en classe est-ce que ... vous avez eu quelque chose à dire ... Est-ce que ça été difficile ? ... facile ?...

EN [ligne 23] : *Je peux dire que l'utilisation de l'oscilloscope virtuel est aisée avec les préparations que nous avons eues d'avance donc pour pouvoir améliorer l'utilisation de cet objet il est question de se familiariser à l'appareil enfin avec un ordinateur... [Cela] permettra de pouvoir ... manipuler aisément cet oscillo virtuel.*

CH [ligne 24] : *D'accord mais par rapport au temps ça ne pose aucun problème ?*

EN [ligne 25] : *... Il faut dire que, on s'est pris tôt puisqu'on est arrivé quand même 10 minutes avant le début de la leçon. On a eu le temps de pouvoir installer l'appareil. ... donc une fois installé ça permet même d'avancer aisément dans l'enseignement ...*

Le discours de C met en évidence l'importance du temps qu'il faut accorder à la mise en place du dispositif d'expérimentation avant le lancement même de l'expérimentation. Cependant, la situation dont parle C a été possible parce que dans l'emploi du temps de la classe, les élèves avaient une heure creuse avant le cours de physique-chimie. Ce qui nous a permis d'installer plus tôt le matériel d'expérimentation.

L'enseignant D, aussi, a fait référence aux conditions de mise en place du matériel d'expérimentation, dans son discours, lorsqu'il répondait à une question que nous lui avons posée concernant l'utilité du simulateur d'oscilloscope pour le processus d'enseignement-apprentissage des notions étudiées. Voici-ci, ci-dessous, l'extrait du discours correspondant à l'installation du matériel d'expérimentation (Annexe B, p. 283) :

EN [ligne 14] : *C'est vraiment pratique et moi ça m'a vraiment plu mais malheureusement ... vous voyez nous sommes en côte d'ivoire, vous-mêmes vous avez vu l'effectif. Vous avez vu même pour faire le branchement, vous avez eu toutes les difficultés c'est vraiment la [plaie] du système mais on fait avec donc on attend que des chercheurs comme vous vous nous apportez quelques éléments de réponse à ces éléments-là. Voilà*

La situation à laquelle D a fait allusion est une situation imprévue à laquelle nous avons été confrontée au cours de la recherche. En effet, il se trouve que l'administration de l'établissement avait réservé la classe habituellement occupée par le groupe-classe de D, pour une évaluation. Une autre classe avait donc été affectée aux élèves de D la veille du jour de l'expérimentation avec le simulateur d'oscilloscope. Cette nouvelle classe ne disposait pas de prises électriques fonctionnelles. Nous avons dû chercher, à 5 ou 6 mètres plus loin, dans le local du gardien de l'école, une prise électrique pour brancher notre multiprise. Cette situation nous a amenés à débiter l'expérimentation avec du retard.

6.2 Présentation des résultats concernant l'effet du type de situation d'enseignement sur le gain relatif d'apprentissage

Il s'agit de vérifier la première hypothèse, H1, de notre étude. Elle renvoie à la première question de recherche suivante:

Question 1.

La stratégie d'enseignement (AVEC ou SANS simulateur) affecte-t-elle significativement le niveau de compréhension des élèves de 4^{ème}, mesuré par le gain relatif d'apprentissage, concernant les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?

Nous aurions pu formuler cette question de la manière suivante : « *les élèves de 4^{ème} qui ne diffèrent que par la stratégie d'enseignement utilisée par l'enseignant ont-ils le même niveau de compréhension des notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, mesuré par le gain relatif d'apprentissage ?* »

6.2.1 Analyse globale des gains relatifs du groupe expérimental et du groupe témoin

Pour mener cette analyse, nous nous sommes inspiré de la démarche que Nouhou a utilisée dans sa thèse (Nouhou, 2019, pp. 173-179).

6.2.1.1 Progression globale du groupe expérimental et du groupe témoin entre le pré-test et le post-test

- ❖ *Comparaison des moyennes des scores au pré-test et au post-test du groupe expérimental et du groupe témoin*

Question statistique : Y-a-t'il, une différence significative entre les niveaux de compréhension du groupe expérimental et du groupe témoin concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, au départ de l'expérimentation ?

Pour rappel, le groupe expérimental a 300 observations valides sur 316. La moyenne des scores de ce groupe est 2,66/10 avec un écart type de 1,292 et un coefficient de variation de 0,486. Pour le groupe témoin, de 302 observations sur 320, la moyenne des scores est 2,53/10, l'écart-type est 1,446 et le coefficient de variation est 0,572. La moyenne du groupe expérimental est supérieure à celle du groupe témoin ($2,66 > 2,53$) avec, relativement, plus d'homogène des scores ($0,486 < 0,572$). Cependant, les niveaux de ces deux groupes sont faibles, au départ de l'expérimentation. La moyenne du groupe expérimental est, certes, supérieure à celle du groupe témoin. Mais l'écart entre les deux moyennes est-il statistiquement significatif ?

Le tableau 73 présente les résultats du test U de Mann-Whitney que nous avons utilisé pour la comparaison du niveau de connaissance du groupe expérimental et de celui du groupe témoin, au départ de l'expérimentation.

Score au pré-test	Effectif	Moyenne	Écart-type	Z	P (bilatéral)
Groupe Expérimental	300	2,66	1,292	-1,278	0,201
Groupe Témoin	302	2,53	1,446		

Tableau 73. Comparaison de l'équivalence des niveaux des expérimental et témoin avant l'expérimentation

Les résultats du test de U de Mann-Whitney ($Z = -1,278$, $p = 0,201 > 0,05$), dans le tableau 57 montrent qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre le niveau du groupe expérimental et celui du groupe témoin, au départ de l'expérimentation. Le groupe expérimental et le groupe témoin avaient donc des niveaux semblables au départ de l'expérimentation concernant les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale.

Comparons, à présent, le niveau du groupe expérimental et celui du groupe témoin, en fin d'expérimentation. Cela revient à nous poser la question statistique suivante : *Y-a-t'il une différence statistiquement significative, en fin d'expérimentation, entre le niveau de compréhension du groupe expérimental et celui du groupe témoin concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?*

Le traitement statistique des données du post-test donne, pour le groupe expérimental une moyenne de 3,95/10, un écart-type de 1,190 et un coefficient de variation de 0,301. Pour le groupe témoin la moyenne est 3,41/10, l'écart-type est 1,481 et le coefficient de variation est 0,434. La moyenne du groupe expérimental est donc supérieure à celle du groupe témoin ($3,95 > 3,41$). Mais l'écart entre les deux moyennes est-elle statistiquement significatif ?

Le tableau 74 présente les résultats du test U de Mann-Whitney relatifs à la comparaison du niveau du groupe expérimental et de celui du groupe témoin à la fin de l'expérimentation.

Score au post-test	Effectif	Moyenne	Écart-type	Z	P (bilatéral)
Groupe Expérimental	300	3,95	1,190	-3,071	0,002
Groupe Témoin	302	3,41	1,481		

Tableau 74. Comparaison de l'équivalence des niveaux des expérimental et témoin après l'expérimentation

Les résultats du test U de Mann-Whitney ($Z = -3,071$, $p = \underline{0,002} < \underline{0,05}$) indiquent une différence statistiquement significative entre les moyennes des scores du groupe expérimental et celle du groupe témoin. Cela signifie que les élèves qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope ont significativement progressé, du pré-test au post-test, par rapport à leurs niveau de départ concernant la compréhension des notions de fréquence et période d'une sinusoïdale contrairement à leurs pairs, vus que les élèves des deux groupes avaient des niveaux similaires au départ. Cependant, les moyennes obtenues demeurent encore faibles. Il faut quand même noter que les élèves des deux groupes ont progressé entre le pré-test et le post-test. La figure 17 donne un aperçu graphique de cette progression.

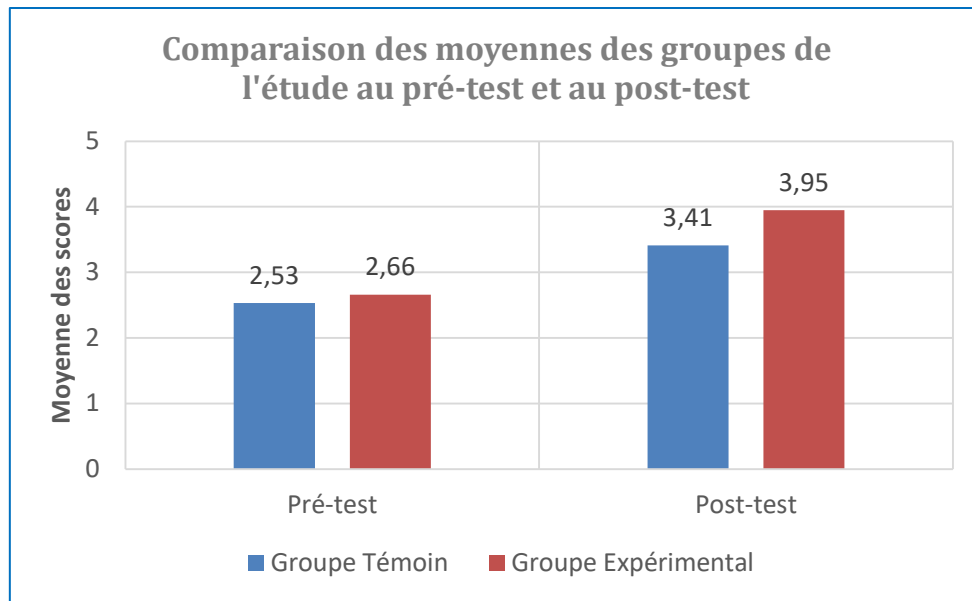


Figure 17. Graphique présentant la progression du groupe expérimental et du témoin du pré-test au post-test

Nous venons de montrer que le groupe expérimental et le groupe témoin ont progressé entre le pré-test et le post-test mais les moyennes obtenues sont faibles. Ce qui nous amène, malgré cette progression, à nous demander si l'apprentissage en lui-même a été significatif, et dans lequel des deux groupes ? Comparons donc le gain relatif d'apprentissage du expérimental et celui du groupe témoin.

6.2.1.2 Analyse des gains relatifs d'apprentissage du groupe expérimental et du groupe témoin

- ❖ *Comparaison des niveaux de départ et de fin du groupe expérimental et ceux du groupe témoin*

Nous avons comparé le niveau de départ (moyenne des scores au pré-test) du groupe expérimental et son niveau à la fin (moyenne des scores au post-test) afin de savoir s'ils étaient équivalents. Nous avons fait de même pour le groupe témoin. Pour effectuer ce test d'équivalence, nous avons utilisé le test non paramétrique de Wilcoxon, vu qu'il s'agit d'effectuer le test sur 2 échantillons de scores (pré-test et post-test) liés à la même source de données (soit au groupe expérimental, soit au groupe témoin), et pour lesquels la distribution des scores n'est pas normale. Le tableau 75 donne les résultats du test relatif au groupe expérimental, et le tableau 60 donne les résultats du test correspondant à celui du groupe témoin.

Pour le groupe expérimental :

Posttest - Prétest	Effectif	Rang moyen	Somme des rangs	Z	P (bilatéral)
Rangs négatifs	41	72,04	2953,50	-10,880	0,000
Rangs positifs	200	131,04	26207,50		
Ex aequo	59				
Total	300				

Tableau 75. Résultats du test de Wilcoxon de la comparaison de l'équivalence des niveaux au pré-test et au post-test du groupe expérimental

Pour le groupe témoin :

Posttest - Prétest	Effectif	Rang moyen	Somme des rangs	Z	P (bilatéral)
Rangs négatifs	61	92,18	5623	-8,617	0,000
Rangs positifs	184	133,22	24512		
Ex aequo	57				
Total	302				

Tableau 76. Résultats du test de Wilcoxon de la comparaison de l'équivalence des niveaux au pré-test et au post-test du groupe témoin

Les résultats du test de Wilcoxon sur les données du pré-test et du post-test, du groupe expérimental ($Z = -10,880$, $p = \mathbf{0,000 < 0,05}$) comme du groupe témoin ($Z = -8,617$, $p = \mathbf{0,000 < 0,05}$), indiquent qu'il y a une différence statistiquement très significative entre les niveaux respectifs de ces groupes au pré-test et au post-test. Cela signifie que dans chaque groupe, les élèves ont fortement progressé dans l'ensemble concernant la compréhension des notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. Dans le groupe expérimental, par exemple, le nombre d'élèves ayant progressé est environ 5 fois supérieur au nombre d'élèves ayant régressé, et plus de 3 fois supérieur au nombre d'élèves n'ayant ni progressé ni régressé. Le même constat peut être fait dans le groupe témoin mais dans une proportion moindre (environ 3 fois plus que les élèves qui ont régressé et 3 fois plus que les élèves qui n'ont ni progressé ni régressé).

Comme nous pouvons le constater, la progression a été plus accentuée dans le groupe ayant été enseigné avec le simulateur d'oscilloscope. Nous avons cherché à savoir s'il y avait une différence statistiquement significative entre cette progression et celle du groupe témoin. Pour cela, nous avons analysé, par comparaison statistique, les moyennes des gains bruts du groupe expérimental et du groupe témoin.

❖ Comparaison des gains bruts du groupe expérimental et du groupe témoin

Nous avons présenté dans le tableau 77 les résultats du test U de Mann-Whitney sur des données du Gain brut. Nous y avons également mentionné les effectifs des deux groupes, leur moyenne et les écarts-types respectifs de ces moyennes.

Gain brut	Effectif	Moyenne	Écart-type	Z	P (bilatéral)
Groupe Expérimental	300	1,29	1,651	-1,544	0,123
Groupe Témoin	302	1,04	1,481		

Tableau 77. Comparaison des moyennes des gains bruts du groupe expérimental et du groupe témoin

Selon les données du tableau 77, le groupe expérimental et le groupe témoin ont réalisé chacun, en ce qui le concerne, globalement, un gain brut, mais relativement très faible. Les résultats du test U de Mann-Whitney ($Z = -1,544$, $p = 0,123 > 0,05$) indiquent qu'il n'y a pas une différence statistiquement significative entre les moyennes de ces deux gains bruts. Cependant, ces gains sont relativement faibles globalement.

Le gain brut nous informe que, globalement, le groupe a progressé dans son apprentissage avec l'enseignement dispensé. Mais, il ne nous dit pas si cet apprentissage a été globalement significatif pour le groupe. Cela nous a amené à déterminer, pour chaque groupe, le gain relatif d'apprentissage. Le tableau 78 nous indique, pour chaque groupe, la moyenne du gain relatif ainsi que son écart-type. Nous y avons ajouté, également, le résultat du test d'équivalence des gains relatifs des deux groupes.

Gain relatif	Effectif	Moyenne	Écart-type	Z	P (bilatéral)
Groupe Expérimental	300	0,15	0,21	-1,703	0,089
Groupe Témoin	302	0,11	0,25		

Tableau 78. Comparaison des moyennes des gains relatifs d'apprentissage du groupe expérimental et du groupe témoin

Selon les données du tableau 78, le groupe expérimental a réalisé un gain relatif d'apprentissage de 0,15 soit 15%, et le groupe témoin a réalisé un gain relatif d'apprentissage de 0,11 soit 11%. Ces résultats montrent que l'apprentissage n'a pas été significatif dans les deux groupes car les gains respectifs obtenus ne sont ni supérieurs ni égaux à 30% (D'Hainaut, 1975, 158-159). Cela s'illustre également par la valeur de l'écart-type de la moyenne du gain relatif de chaque groupe. En effet, il y a une très forte dispersion des gains relatifs individuels autour de la moyenne du gain relatif du groupe, 0,21 pour le groupe expérimental, et 0,25 pour le groupe témoin.

L'apprentissage n'a pas été, certes, significatif dans les deux groupes mais dans le groupe expérimental il a été légèrement amélioré par rapport au groupe témoin. Cependant, les résultats du test U de Mann-Whitney ($Z = -1,703$, $p = 0,089 > 0,05$) indique qu'il n'y a pas une différence statistiquement significative entre l'apprentissage dans le groupe expérimental et l'apprentissage dans le groupe témoin. Cela signifie que, globalement, les élèves qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope n'ont pas progressé significativement dans leur compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale par rapport aux élèves qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope.

En résumé, les analyses effectuées, précédemment, révèlent que, dans l'ensemble, les élèves qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope n'ont pas significativement progressé dans leur apprentissage plus que ceux qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. En revanche, dans chaque groupe, les élèves ont fortement progressé dans la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale (*revoir, par exemple, tableau 59*). Ce qui semble dire que l'utilisation du simulateur n'a pas eu beaucoup d'effets sur l'apprentissage de ces concepts comparativement à la méthode traditionnelle. Commençons donc par l'effet des connaissances antérieures c'est-à-dire du score au pré-test.

6.2.1.3 Analyse de l'effet des connaissances antérieures des élèves du groupe expérimental sur le gain relatif d'apprentissage réalisé.

Le gain relatif d'apprentissage est déterminé par rapport au niveau de départ du groupe, autrement dit, par rapport au score obtenu par le groupe, au pré-test. Pour déterminer la part de l'effet des connaissances antérieures des élèves ayant été enseignés par le simulateur d'oscilloscope, concernant les concepts de fréquence, dans la réalisation du gain relatif, nous avons déterminé d'abord le coefficient de corrélation entre la moyenne des scores au prétest et celle du gain relatif d'apprentissage du groupe expérimental. Parmi les tests de corrélation à utiliser, il y a le test de corrélation de Pearson et le test de corrélation de Spearman. Le test de corrélation de Pearson est un test paramétrique qui s'applique aux variables dont les distributions sont normales. Le test de corrélation de Spearman est un test non paramétrique utilisé lorsque la normalité de la distribution n'existe pas. Dans notre cas, nous avons utilisé le test de Spearman. L'indice de corrélation est noté ρ sur SPSS 20. Le tableau 79 nous donne le résultat de ce test. Nous avons présenté également, dans ce tableau, à titre de comparaison, le résultat du même test pour le groupe témoin.

	Effectif	Moyenne du Gain relatif	Corrélation de Spearman		
				Pré-test	P (bilatéral)
Groupe Expérimental	300	0,15	Gain relatif	$\rho = - 0,583^{**}$	<u>0,000</u>
Groupe Témoin	302	0,11	Gain relatif	$\rho = - 0,497^{**}$	0,000

Tableau 79. Corrélation du gain relatif d'apprentissage et du score au pré-test du groupe expérimental

Les résultats du test de corrélation de Spearman, entre le gain relatif et le score au pré-test du groupe expérimental, sont $\rho = - 0,583$ et $p = 0,000 < 0,05$ (voir tableau 79). Ce résultat signifie qu'il y a une bonne corrélation linéaire, négative et très significative, entre le gain relatif d'apprentissage et le niveau de connaissance du groupe concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, au départ de l'expérimentation. Le signe négatif signifie que le gain relatif d'apprentissage et le score évoluent en sens inverse. En d'autres termes, plus le niveau de connaissance du groupe est élevé avant le cours plus le gain relatif

d'apprentissage est faible et vice versa⁵⁴. Cela signifie que lorsque le gain relatif d'apprentissage est grand, c'est que ce sont les élèves les plus faibles, au départ, qui ont le plus progressé.

Le test de corrélation dit seulement s'il existe ou pas une association entre les variables étudiées, et la force de cette association au cas où elle existe. Il ne donne pas le pourcentage de variation de la variable dépendante qu'expliquerait la variable indépendante dans cette association. Pour le savoir il faut recourir à un test de régression sur les données des variables dont on étudie la corrélation. L'indice de régression, qui explique le taux de variation de la variable dépendante, correspond au carré de l'indice de corrélation. Dans notre cas, nous avons $\rho^2 = (0,583)^2$ soit 0,34.

Ainsi, 34% du gain relatif d'apprentissage sont expliqués par le score du groupe expérimental au pré-test c'est-à-dire par le niveau de connaissance du groupe expérimental concernant les concepts de fréquence et de période d'une tension, avant l'expérimentation. Les 66% restants du gain relatif d'apprentissage sont expliqués par d'autres facteurs. Pour le groupe témoin ($\rho = -0,497$ et $p = 0,000 < 0,05$), 25% du gain relatif d'apprentissage sont expliqués par le niveau du groupe au pré-test, et 75% sont expliqués par d'autres facteurs.

Selon les résultats précédents, les méthodes d'enseignement utilisées, avec ou sans le simulateur d'oscilloscope, ont fait plus progressé les élèves qui avaient des scores relativement faibles c'est-à-dire les élèves qui avaient une compréhension faible concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale avant l'expérimentation. Selon les scores obtenus au pré-test, nous avons définis cinq catégories d'élèves, les *très faibles*, les *faibles*, les *moyens*, les *forts*, et les *très forts*. Les résultats nous disent seulement que les élèves ont progressé dans leur apprentissage par catégorie mais ne nous dit pas si cette apprentissage a été significatif dans chaque catégorie. Cela nous a amené à analyser les gains relatifs d'apprentissage par catégorie d'élèves selon leur niveau au départ de l'expérimentation.

6.2.1.4 Analyse des gains relatifs d'apprentissage par catégories d'élèves selon le niveau de connaissance au départ de l'expérimentation.

Il s'agit, pour nous, de tenter de répondre à la question statistique suivante : *Quelles sont les catégories d'élèves qui ont progressé le plus dans leur apprentissage dans le groupe expérimental et dans le groupe témoin ?*

Les résultats du test H de Kruskal-Wallis sur les données du gain relatif selon le niveau de départ de l'élève sont présents dans le tableau 80.

⁵⁴ Cela est parfaitement cohérent, car en effet, entreprendre l'apprentissage d'une notion suppose que l'apprenant a peu ou pas de connaissance concernant cette notion. Par exemple, si un élève qui a un score de 8 sur 10 au départ de l'apprentissage obtient un score de 10 sur 10 à la fin, il réalisera un gain relatif d'apprentissage de $25\% < 30\%$ (D'Hainaut, 1975). L'apprentissage ne sera donc pas significatif. Par contre, s'il avait 2 au départ et 8 à la fin, il réaliserait un gain relatif d'apprentissage de $75\% > 30\%$. Ce qui signifie que l'apprentissage a été très significatif.

Groupes	catégories	Effectif	Gain relatif	ddl	Khi2	P (bilatéral)
Groupe Expérimental	Très faible	134	0,27 (27%)	2	78,047	0,000
	faible	146	0,08 (8%)			
	Moyen	20	-0,09 (-9%)			
Groupe Témoin	Très faible	153	0,21 (21%)	2	60,710	0,000
	faible	121	0,06 (6%)			
	Moyen	28	-0,23 (-23%)			

Tableau 80. Comparaison des gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves selon leur niveau au départ de l'expérimentation

D'après les résultats du tableau 80, il y a une différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage des différentes catégories d'élèves pour le groupe expérimental ($khi2 = 78,047$; $p = 0,000 < 0,05$), comme pour le groupe témoin ($khi2 = 60,710$, $p = 0,000 < 0,05$). Ces résultats montrent que l'utilisation du simulateur d'oscilloscope a permis aux élèves très faibles du groupe expérimental de beaucoup progresser par rapport à leur niveau de départ. Ce sont donc les élèves de niveau très faible, au début de l'expérimentation, qui ont le plus progressé dans les deux groupes. Il en est de même pour les élèves du groupe témoin. Dans ce groupe, ce sont également, les élèves très faibles qui ont le plus progressé mais moins que ceux du groupe expérimental. La figure 18 donne une illustration visuelle de la comparaison des gains relatifs des différentes catégories d'élèves.

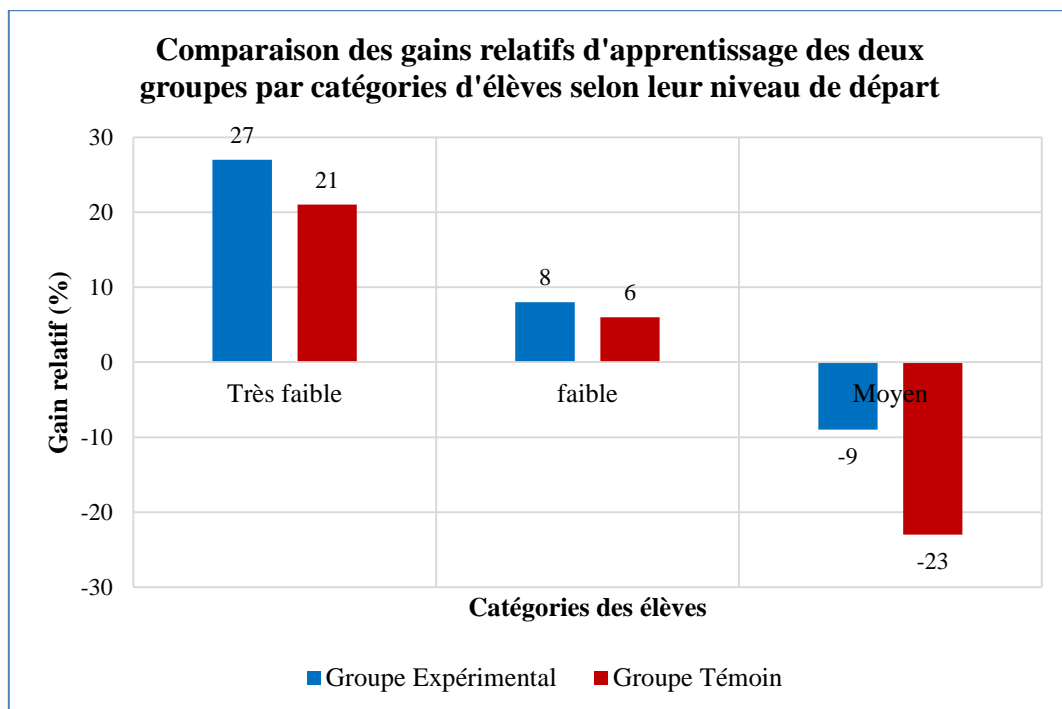


Figure 18. Comparaison des gains relatifs des catégories d'élèves du expérimental et du groupe témoin

Nous constatons que les élèves de niveau *Moyen* au départ ont régressé dans les deux groupes. Ils ont fortement régressé dans le groupe témoin que dans le groupe expérimental. Ces résultats importants montrent que le niveau de départ des élèves a eu une influence sur le gain

relatif d'apprentissage. Et dans notre cas, *ce sont les élèves de niveau très faibles au départ, qui ont fortement progressé* globalement, dans le groupe classe expérimental et dans le groupe classe témoin.

Les résultats précédents nous donnent, de manière générale, un aperçu du gain relatif d'apprentissage dans le groupe expérimental (n = 300), et dans le groupe témoin (n = 302). Ce sont donc des résultats globaux, construits à partir des résultats individuels de chaque groupe-classe constituant l'échantillon de l'étude. Il ne nous permet donc pas de savoir si tous les groupes-classes ont progressé de la même manière ou pas dans le groupe expérimental comme dans le groupe témoin. Ce qui est peu probable car les résultats un apprentissage dépendent du jeu didactique (Sensevy, 2008 ; 2012) qui, lui-même, dépend de l'activité de l'enseignant. Or, selon Goigoux (2007, p. 59), l'activité de l'enseignant dépend des caractéristiques de l'école, de celles de l'enseignant lui-même, et de celles des élèves. Une activité qui influence donc les résultats des élèves et donc celui de la classe. Cela nous a amené à analyser les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes par enseignant.

6.2.2 Analyse des gains relatifs des groupes-classes de chaque enseignant

6.2.2.1 Comparaison des niveaux des groupes-classes témoins au départ de l'expérimentation

Cela nous amène à nous poser la question statistique suivante : *Y-a-t'il une différence statistiquement significative entre les niveaux respectifs des groupes-classes témoins au départ de l'expérimentation ?*

Nous avons comparé les niveaux des cinq groupes-classes (X) des enseignants A, B, C, D, E, pour savoir s'ils étaient équivalents ou pas avant l'expérimentation. Pour faire cette comparaison, nous avons utilisé le test non paramétrique H de Kruskal-Wallis d'analyse des variances des moyennes des scores des groupes-classes témoins du groupe témoin. Le tableau 81 donne les résultats de ces traitements sur les données du score au pré-test.

Groupes-classes X	Effectif	Moyenne	Écart-type	Ddl	Khi2	P
Ax	46	2,26	1,373	4	13,719	0,008
Bx	66	2,83	1,442			
Cx	65	2,43	1,346			
Dx	51	3,00	1,296			
Ex	74	2,19	1,567			

Tableau 81. Comparaison des niveaux des groupes-classes témoins avant l'expérimentation

Les résultats du test H de Kruskal Wallis montrent qu'il y a une différence statistiquement significative au niveau de la compréhension des notions de fréquence et période parmi les groupes classes groupes-classes témoins (khi-deux = 13,719, p = 0,008 < 0,05), avant l'expérimentation. Ce résultat confirme bien que dans le groupe témoin les groupes-classes

témoins n'ont pas le même niveau de connaissance concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale.

Le test H de Kruskal-Wallis nous dit seulement s'il y a une différence statistiquement significative ou non entre les moyennes des groupes-classes témoins. Mais il ne nous dit pas où il y a cette différence (Sarabando et al., 2014, p. 118). Pour savoir où se situe la différence de moyennes, dans l'échantillon des groupes-classes témoins, nous avons utilisé le test post hoc LSD, vu que les variances des groupes-classes témoins sont égales (Statistique de Levene = 1,342, $p = 0,254 > 0,05$). Les résultats du test LSD montrent que, dans le groupe témoin, la différence de moyenne entre les groupes-classes, avant l'expérimentation, se situe entre Ax et Bx ($p = 0,037$), Ax et Dx ($p = 0,011$), Bx et Ex ($p = 0,008$), Cx et Dx ($p = 0,033$) et, Ex et Dx ($p = 0,002$). Et le groupe-classe qui a le niveau le plus élevé, au départ, est le groupe-classe témoin de l'enseignant D. La figure 19 illustre bien cette différence.

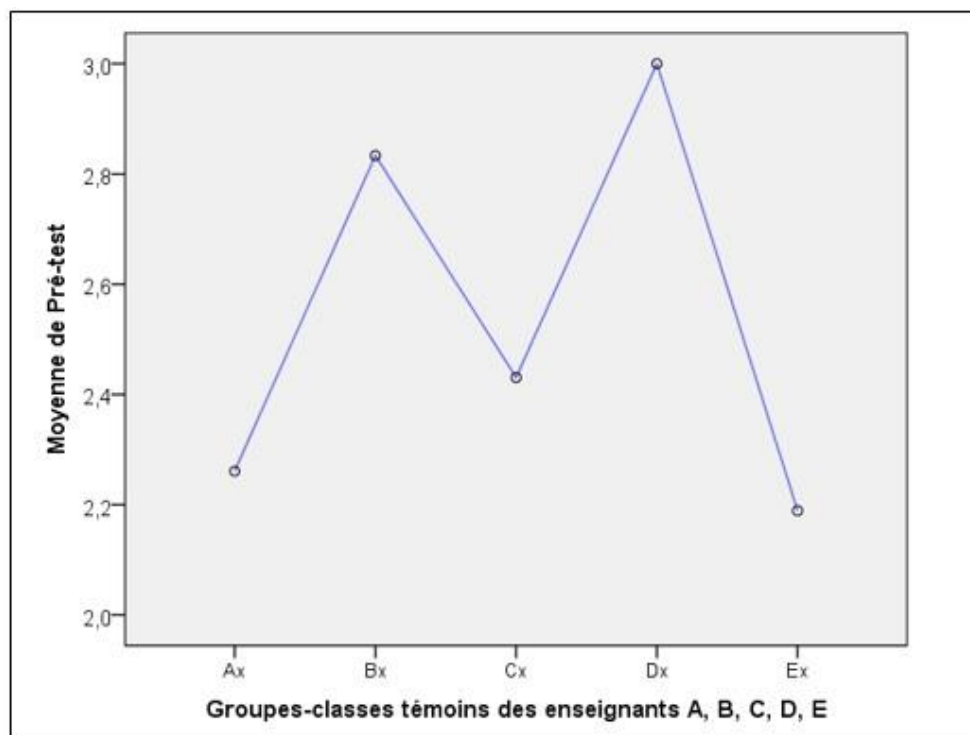


Figure 19. Diagramme des moyennes des groupes-classes témoins selon le test post hoc LSD

Comparons à présent les niveaux des groupes-classes expérimentaux au départ, avant l'expérimentation.

6.2.2.2 Comparaison des niveaux des groupes-classes expérimentaux au départ de l'expérimentation

Il s'agit de répondre la question statistique suivante : *Y-a-t'il une différence statistiquement significative entre les niveaux des groupes-classes expérimentaux au départ de l'expérimentation ?*

Pour la comparaison des niveaux des groupes-classes expérimentaux, avant l'expérimentation, les résultats du test H de Kruskal-Wallis sur les données du pré-test, sont présentés dans le tableau 66.

Groupes-classes Y	Effectif	Moyenne	Écart-type	ddl	Khi2	P
Ay	39	2,28	1,146	4	32,222	0,000
By	73	2,59	1,342			
Cy	64	2,08	1,289			
Dy	57	3,16	1,222			
Ey	67	3,10	1,075			

Tableau 82. Comparaison des niveaux des groupes-classes expérimentaux avant l'expérimentation

Les résultats du test H de Kruskal Wallis montrent qu'il y a une différence statistiquement significative entre les niveaux des groupes-classes expérimentaux ($khi\text{-deux} = 32,222$, $p = 0,000 < 0,05$), avant l'expérimentation. Ce résultat signifie que, dans le groupe expérimental, les groupes-classes expérimentaux n'ont pas le même niveau de connaissance concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale avant l'expérimentation.

Les résultats du test post hoc LSD, choisi en raison de l'égalité des variances des groupes-classes expérimentaux (Statistique Levene = 1,546, $p = 0,189 > 0,05$), effectué sur les données du pré-test de ces groupes-classes expérimentaux, indiquent que les différences entre les niveaux de connaissance, concernant les concepts de fréquence et période d'une alternative sinusoïdale des groupes-classes expérimentaux, avant l'expérimentation, se situent entre les groupes-classes expérimentaux Ay-Dy ($p = 0,006$), Ay-Ey ($p = 0,009$), Cy-Dy ($p = 0,000$) et Cy-Ey ($p = 0,000$). La figure 20, présente le graphe des moyennes des groupes-classes expérimentaux au pré-test illustrant cette différence, fourni par le test post hoc LSD.

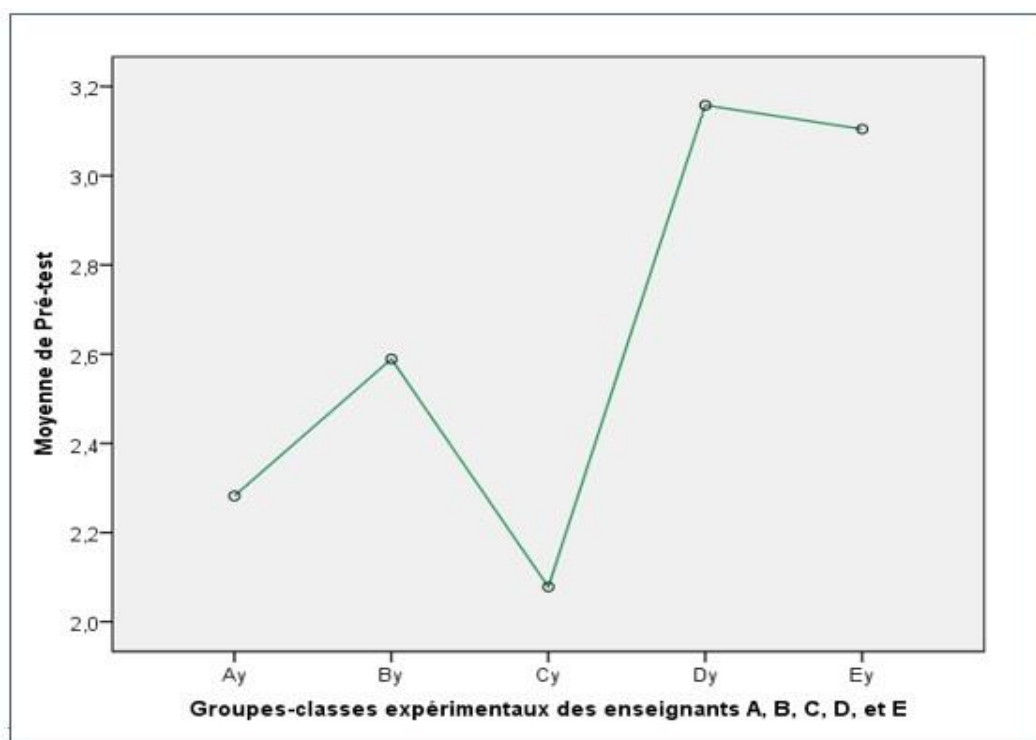


Figure 20. Diagramme des moyennes des groupes-classes expérimentaux selon le test post hoc LSD

Voyons à présent la progression des groupes-classes expérimentaux et témoins par enseignant.

6.2.2.3 Analyse de la progression des groupes-classes expérimentaux et témoins

❖ Analyse de la progression des groupes-classes témoins

Le tableau 83 présente les résultats correspondant à la progression des groupes-classes témoins de chaque enseignant, n l'occurrence les gains relatifs d'apprentissage. Il y a apprentissage si ce gain est positif, non s'il est négatif ou nul.

Groupes-classes (GC) témoins (x)

GC-X	Pré-test				Post-test			Gain brut	Gain relatif
	Eff.	Moyenne	Écart – Type	Coef. de variation	Moyenne	Écart -Type	Coef. de variation		
Ax	41	2,26	1,373	0,608	3,41	1,469	0,431	1,15	0,15 (15%)
Bx	69	2,83	1,442	0,510	3,45	1,230	0,357	0,62	0,09 (9%)
Cx	65	2,43	1,346	0,554	2,20	1,175	0,534	-0,23	-0,03 (-3%)
Dx	52	3,00	1,296	0,432	4,41	1,080	0,245	1,41	0,20 (20%)
Ex	74	2,19	1,567	0,716	4,41	1,204	0,273	2,22	0,28 (28%)

Tableau 83. Progression des groupes-classes témoins entre le pré-test et le post-test

Les résultats du tableau 83 indiquent que les groupes-classes témoins, respectivement, des enseignants A, B, D, et E, ont progressé par rapport à leur niveau de départ vu qu'ils ont réalisé un gain relatif d'apprentissage positif. Cependant, l'apprentissage n'a pas été très significatif dans chacun de ces groupes-classes témoins car les gains relatifs d'apprentissage ne

sont pas supérieurs ou égaux à 30% (D'Hainaut, 1975, pp. 158-159). Néanmoins, il semble presque l'avoir été dans le groupe-classe témoin de l'enseignant E où le gain relatif d'apprentissage est de 28%. En revanche, pour l'enseignant C le groupe-classe témoin a régressé par rapport à son niveau de départ car il a réalisé un gain relatif d'apprentissage négatif (- 3 %). Il n'y a donc pas eu d'apprentissage. Voyons à présent la progression des groupes-classes expérimentaux entre le pré-test et le post-test.

❖ *Analyse de la progression des groupes-classes expérimentaux*

Le tableau 84 présente les résultats du traitement des données.

Groupes-classes expérimentaux (y)

GC-Y	Pré-test				Post-test			Gain brut	Gain relatif
	Eff.	Moyenne	Écart -Type	Coef. de variation	Moyenne	Écart -Type	Coef. de variation		
Ay	46	2,27	1,205	0,531	4,05	1,322	0,326	1,78	0,23 (23%)
By	73	2,59	1,342	0,518	3,96	1,033	0,261	1,37	0,18 (18%)
Cy	64	2,08	1,289	0,620	3,81	0,941	0,247	1,73	0,22 (22%)
Dy	57	3,16	1,222	0,387	4,23	1,118	0,264	1,07	0,16 (16%)
Ey	67	3,10	1,075	0,347	3,78	1,496	0,396	0,68	0,10 (10%)

Tableau 84. *Progression des groupes-classes expérimentaux entre le pré-test et le post-test*

Les résultats du tableau 68 indiquent que les groupes-classes expérimentaux de tous les enseignants (A, B, D, C et E), ont progressé par rapport à leur niveau de départ car ils ont tous réalisé un gain relatif d'apprentissage positif. Cependant, l'apprentissage n'a pas été très significatif dans chacun de ces groupes-classes expérimentaux, les gains relatifs d'apprentissage étant tous inférieurs à 30% (D'Hainaut, 1975, pp. 158-159).

❖ *Comparaison des niveaux de chaque groupe-classe au départ et à la fin de l'expérimentation*

Le tableau 85 présente les résultats du test U de Mann Whitney sur les scores au pré-test et les scores au post-test des groupes-classes de chaque enseignant.

GC	Eff.	PRE-TEST				POST-TEST			
		Moyenne	Écart-type	Z	P	Moyenne	Écart-type	Z	P
Ay	39	2,28	1,146	-0,358	0,721	4,08	1,306	-2,241	0,025
Ax	46	2,26	1,373			3,41	1,469		
By	73	2,59	1,342	-0,959	0,338	3,96	1,033	-2,476	0,013
Bx	66	2,83	1,442			3,45	1,230		
Cy	64	2,08	1,289	-1,520	0,129	3,81	0,941	-7,033	0,000
Cx	65	2,43	1,346			2,20	1,175		
Dy	57	3,16	1,222	-0,628	0,530	4,23	1,118	-0,783	0,434

Dx	51	3,00	1,296			4,41	1,080		
Ey	67	3,10	1,075	-3,581	0,000	3,78	1,496	-2,286	0,005
Ex	74	2,19	1,567			4,41	1,204		

Tableau 85. Comparaison de l'équivalence des niveaux des groupes-classes de chaque enseignant avant et après l'expérimentation

Les données du tableau 85 montrent que, avant l'expérimentation, il n'y avait pas une différence statistiquement significative entre le niveau du groupe-classe expérimental et celui du groupe-classe témoin de l'enseignants A ($z = -0,358$, $p = 0,721 > 0,05$), entre ceux de l'enseignant B ($z = -0,959$, $p = 0,338 > 0,05$), entre ceux de l'enseignant C ($z = -1,520$, $p = 0,129 > 0,05$) et entre ceux de l'enseignant D ($z = -0,628$, $p = 0,530 > 0,05$). Les groupes-classe de chacun de ces enseignants avaient donc le même niveau de compréhension concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. En revanche, pour l'enseignant E, il y avait une différence statistiquement significative entre le niveau du groupe-classe expérimental et celui du groupe-classe témoin, le niveau étant plus élevé dans le groupe-classe expérimental. Après l'expérimentation, la moyenne des scores obtenus au post-test indiquent que tous les groupes-classes ont progressé au niveau de la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative, sauf le groupe-classe témoin de l'enseignant C.

La figure 21 présente le graphique correspondant à la progression de chaque groupe-classe témoin et chaque groupe-classe expérimental, entre le pré-test et le post-test.

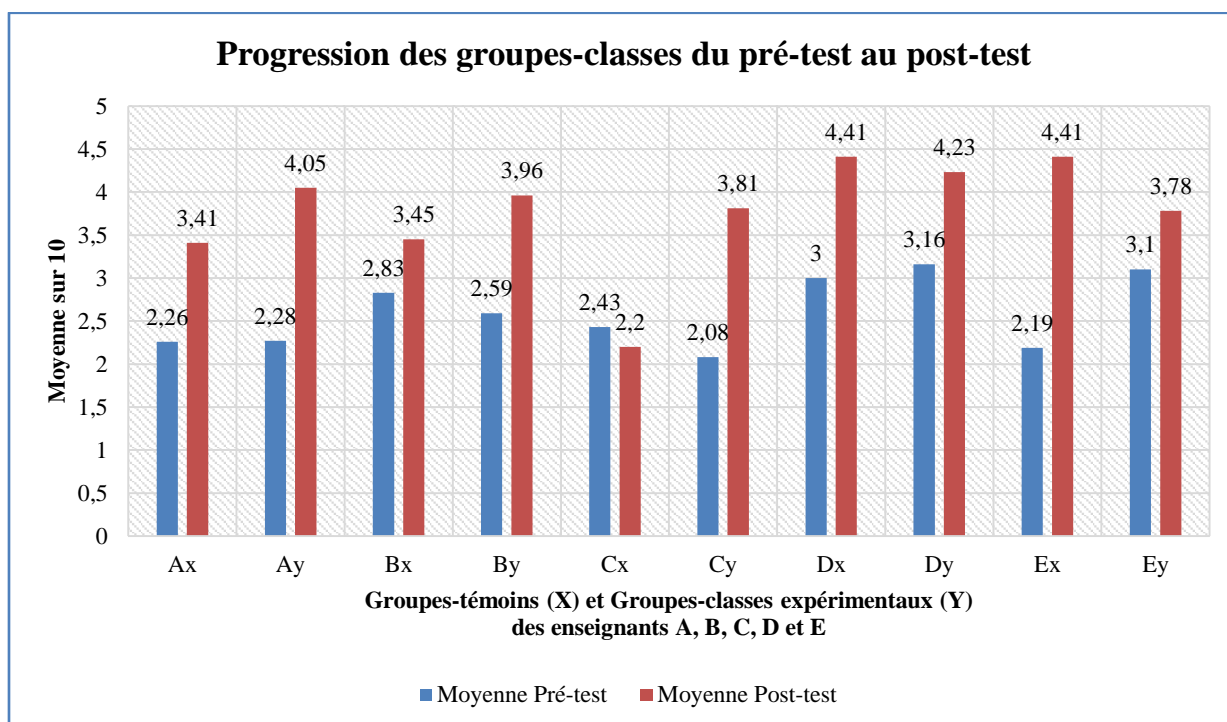


Figure 21. Graphique présentant la progression des groupes-classes expérimentaux et témoins du pré-test au post-test

Les résultats du test U de Mann-Whitney, appliqué aux moyennes des scores au post-test, montrent que, à la fin de l'expérimentation, il y a une différence statistiquement

significative entre le niveau du groupe-classe expérimental et celui du groupe-classe témoin des enseignants (A ($z = -2,241$, $p = 0,025 < 0,05$); B ($z = - 2,476$, $p = 0,013 < 0,05$), C ($z = - 7, 033$, $p = 0,000$), E ($z = - 2,286$, $p = 0,005 < 0,05$), excepté le cas de l'enseignant D ($z = - 0,783$, $p = 0,435 > 0,05$). Cela signifie que la progression a été plus significative dans les groupes-classes expérimentaux des enseignants A, B, et C, que dans les groupes-classes témoins de ces enseignants. Elle a été aussi significative plus significative dans le groupe-classe témoin de l'enseignant E que dans groupe-classe expérimental. Pour l'enseignant D, le groupe-classe expérimental et le groupe-témoin ont progressé pratiquement de la même manière.

L'analyse des gains relatifs d'apprentissage de chacun des groupes-classes, hormis le cas du groupe-classe témoin de l'enseignant C, montre que, avec ou sans la technologie, il y a bien eu apprentissage dans les groupes-classes respectifs. La progression a été certes significative dans chaque groupe-classe, mais les gains relatifs d'apprentissage pour les groupes-classes respectifs, A, B, C et D, n'ont pas été significatifs (voir tableau 85) par rapport au groupe-classe lui-même.

Il est vrai que le gain relatif d'apprentissage n'a pas été significatif dans chaque groupe-classe, mais l'apprentissage il a été plus favorisé dans le groupe-classe expérimental de chaque enseignant que dans le groupe-témoin, sauf dans les groupes-classes expérimentaux des enseignants D et E. Voyons donc à présent s'il y a une différence significative ou pas entre le gain relatif groupe-classe expérimental et celui du groupe-témoin.

6.2.2.4 Analyse des gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes expérimental et témoin de chaque enseignant

Cela nous amène à chercher répondre à la question statistique suivante : *Y-a-t'il une différence statistiquement significative entre le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe expérimental et celui du groupe-classe témoin ?*

Le test U de Mann-Whitney, appliqué aux données concernant le gain relatif d'apprentissage de tous les groupes-classes, a donné les résultats du tableau 86 suivant :

Groupes-classes	Effectif	Gain relatif	Z	P (bilatéral)	<i>Équivalence des gains relatifs du groupe-classe expérimental et du classe témoin</i>
Ay	39	0,22	-1,808	0,071	<i>Oui</i>
Ax	46	0,13			
By	73	0,16	-2,485	0,013	Non
Bx	66	0,05			
Cy	64	0,20	-6,590	0,000	Non
Cx	65	-0,05			
Dy	57	0,13	-1,331	0,183	<i>Oui</i>
Dx	51	0,18			
Ey	67	0,09	-4,838	0,000	Non
Ex	74	0,26			

Tableau 86. Comparaison des gains relatifs des groupes-classes expérimentaux et témoins par enseignant

D'après les résultats du test U de Mann-Whitney, dans le tableau 86, il n'y a pas de différence significative, respectivement, entre les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes, expérimental et témoin, des enseignants A ($z = -1,808$, $p = 0,071 > 0,05$) et D ($z = -1,331$, $p = 0,183 > 0,05$). Les gains relatifs d'apprentissage du groupe-classe expérimental et du groupe-classe témoin de chaque enseignant sont donc équivalents. En revanche, concernant pour les groupes-classes des enseignants B ($z = -2,485$, $p = 0,013 < 0,05$), C ($z = -6,590$, $p = 0,000 < 0,05$), et E ($z = -4,838$, $p = 0,000 < 0,05$), il y a une différence significative entre les gains relatifs d'apprentissage. Les gains obtenus par leurs groupes-classes respectifs n'étaient donc pas équivalents. La figure 22 donne une illustration de la comparaison de ces gains relatifs.

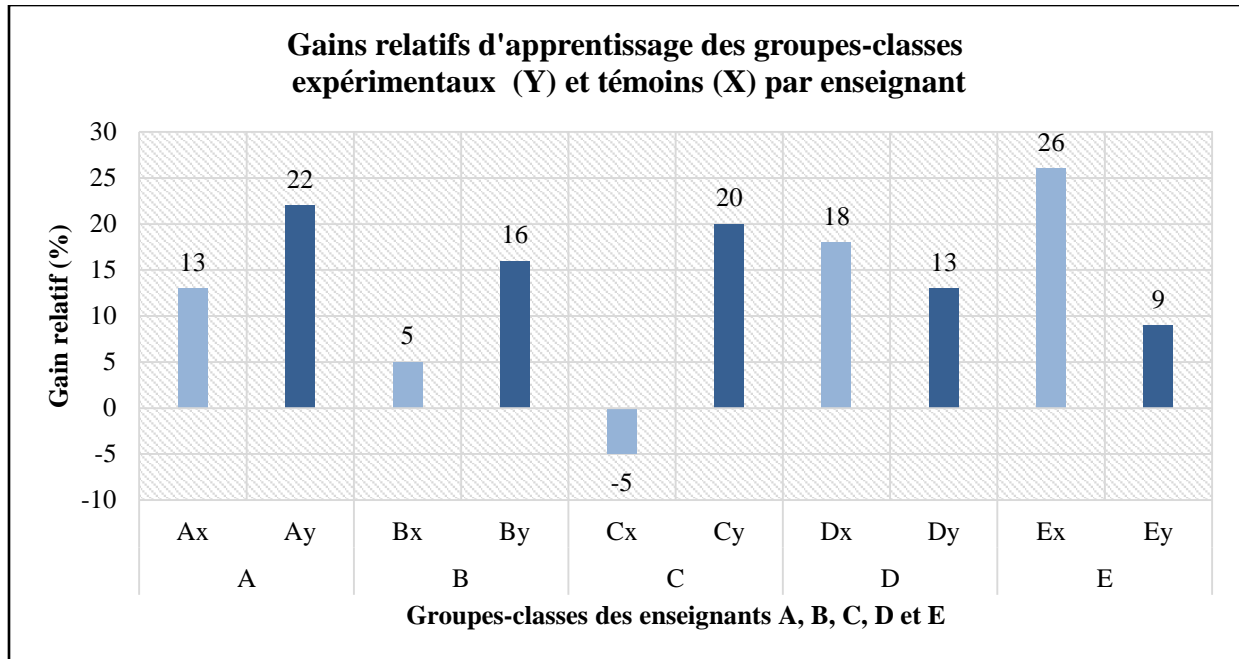


Figure 22. Graphique présentant les gains relatifs des groupes-classes expérimentaux et témoins

Comme nous pouvons le constater sur le graphique de la figure 22, l'apprentissage a été plus favorisé dans les groupes-classes où le simulateur d'oscilloscope a été utilisé, sauf dans celui de l'enseignant D et de l'enseignant E. En effet, pour ces deux enseignants, l'apprentissage a été plus favorisé dans le groupe-classe où le simulateur d'oscilloscope n'a pas été utilisé. Ce que nous tenterons de comprendre avec l'analyse des pratiques de l'enseignant. Voyons donc ce qu'il faut retenir de l'ensemble de notre analyse sur le lien entre la situation d'enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope et le gain relatif d'apprentissage.

6.2.3 Synthèse des analyses des gains relatifs d'apprentissage par rapport à la situation d'enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope

6.2.3.1 Du niveau de la compréhension des concepts de fréquence et période dans les groupes-classes expérimentaux par rapport aux groupes-classes témoins

La compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale a été beaucoup favorisée dans le groupe-classe expérimental de trois enseignants sur cinq. Il s'agit des groupes-expérimentaux des enseignants A, B et C. Dans ces groupes-classes, les élèves ont progressé par rapport à leur niveau de départ, niveau avant

l'expérimentation. Les élèves dont le niveau était très faible, au départ, sont ceux qui ont le plus progressé. Cependant, globalement, dans chaque groupe classe expérimental, l'apprentissage n'a pas été significatif au sens de Louis D'Hainaut parce que les gains relatifs respectifs obtenus sont inférieurs à 30%.

Pour l'enseignant A, les élèves ont bien progressé dans le groupe-classe expérimental. Cependant, en termes de gain, le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe n'a pas été significativement différent du gain relatif d'apprentissage du groupe-classe témoin. Cela signifie que la méthode d'enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope, de l'enseignant A, n'a pas eu plus d'effet sur la compréhension des élèves concernant les concepts de fréquence et période, que sa méthode d'enseignement sans le simulateur d'oscilloscope. Ainsi, après l'expérimentation, concernant les concepts de fréquence et période, le niveau de compréhension des élèves enseignés avec le simulateur d'oscilloscope, n'est pas significativement meilleur à celui des élèves qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. L'utilisation du simulateur d'oscilloscope n'a donc pas eu, significativement, plus d'effet sur l'apprentissage, que la méthode traditionnelle.

Pour les enseignants B et C, il y a eu une différence statistiquement significative entre l'apprentissage effectué dans le groupe-classe expérimental et celui effectué dans le groupe-classe témoin. Ce qui signifie que l'utilisation du simulateur par les enseignants B et C ont eu un effet significatif sur l'apprentissage des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. En d'autres termes, les élèves des enseignants B et C, qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope ont eu, à la fin de l'expérimentation, une meilleure compréhension des concepts de fréquence et période que leurs pairs qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope.

Pour les enseignants D et E (voir graphique figure 22), les élèves ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope ont moins appris, dans l'ensemble, que les élèves ayant été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope, par rapport à leur niveau de compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, au départ de l'expérimentation. Pour l'enseignant E, la différence de compréhension entre le groupe-classe témoin et le groupe-classe expérimental a même été statistiquement significative. Pour les groupes-classes de l'enseignant D cette différence n'est pas significative. Ces résultats signifient que, dans le cas des enseignants D et E, l'enseignement par méthode traditionnelle a été plus efficace que la méthode d'enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope.

6.2.3.2 De l'effet de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur le gain relatif d'apprentissage

Nous nous sommes demandé si la différence significative des gains relatifs d'apprentissage entre les groupes-classes des enseignants B et C étaient uniquement due à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope. Pour le vérifier, nous avons fait un test d'analyse de la variance de la moyenne des gains relatifs d'apprentissage dans l'ensemble de notre échantillon, constitué à la fois des groupes-classes expérimentaux et témoins, pour savoir si les variances des gains relatifs d'apprentissage de ces groupes-classes étaient égales ou pas. Nous avons ensuite comparé, les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes témoins entre eux,

et les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes expérimentaux entre eux. Les distributions des gains relatifs, dans chaque échantillon, étant anormales, et les variances n'étant pas égales, nous avons choisi des tests non paramétriques, H de Kruskal-Wallis pour l'analyse de la variance de la moyenne des gains relatifs, et U de Mann-Whitney pour la comparaison entre le gain relatif du groupe-classe témoin et celui du groupe-classe expérimental.

Le résultat du test H de Kruskal-Wallis, pour l'analyse de la variance des moyennes des gains relatifs, est ($\chi^2 = 98,587$, $p = 0,000 < 0,05$). Cela signifie qu'il y a une différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage d'au moins deux des groupes-classes. Le résultat du test U de Mann-Whitney, pour la comparaison entre le gain du groupe expérimental et celui du groupe témoin, est ($z = -1,703$, $p = 0,089 > 0,05$). Ce résultat indique que le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe expérimental et celui du groupe classe témoin sont statistiquement égaux. Au regard de ces résultats, nous pouvons dire que le gain relatif d'apprentissage ne dépend pas uniquement de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope.

6.2.3.3 Conclusion par rapport à la méthode d'enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope

Pour mener notre étude, nous avons émis l'hypothèse (H1) qui stipulait que « *les groupes-classes ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope (groupes-classes expérimentaux) obtiendront un gain relatif d'apprentissage significativement plus élevé que les groupes-classes n'ayant pas été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope (groupes-classes témoins).* ». Selon les résultats de l'étude, cette hypothèse a été partiellement vérifiée, car nous avons obtenu un résultat mitigé. En effet, ce résultat comporte un gain relatif d'apprentissage statistiquement significatif, et un gain relatif non significatif, voire défavorable.

Les élèves des enseignants B et C qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope, ont effectivement réalisé des gains relatifs d'apprentissage significativement plus élevés que leurs pairs qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. Dans le cas de l'enseignant A, les élèves qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope n'ont pas été significativement meilleurs que ceux qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. Pour les enseignants D et E, les élèves qui ont été enseignés avec le simulateur ont moins appris que les élèves qui ont été enseignés sans le simulateur même si pour D la différence n'est pas statistiquement significative, contrairement à E.

Au regard de ce résultat mitigé, nous avons donc cherché à comprendre, à travers d'autres hypothèses, des facteurs qui pourraient éventuellement affecter le gain relatif d'apprentissage, comme nous l'avons déjà montré avec le test de régression sur le niveau de connaissance au départ de l'expérimentation (voir section 6.2.1.3). Au nombre de ces facteurs, nous avons étudié l'effet de l'attitude des élèves envers la physique sur le gain relatif d'apprentissage.

6.3 Présentation des résultats concernant l'effet de l'attitude envers la physique des élèves sur le gain relatif d'apprentissage

Il s'agit de vérifier la deuxième hypothèse (H2) de notre étude. Elle renvoie à la question de recherche suivante:

Question 2.

L'attitude envers la physique des élèves affecte-elle significativement leur niveau de compréhension concernant les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, mesuré par le gain relatif d'apprentissage ?

Nous avons d'abord analysé la relation entre l'attitude *avant* envers la physique et le gain relatif, et ensuite l'effet de l'attitude *après* envers la physique sur le gain relatif pour le groupe expérimental.

6.3.1 Effet de l'attitude *Avant* envers la physique des élèves sur le gain relatif d'apprentissage

6.3.1.1 Analyse de l'effet de l'attitude AVANT⁵⁵ envers la physique sur le gain relatif d'apprentissage dans l'échantillon global de l'étude

Nous cherchons à répondre à la question statistique suivante : *Y-a-t'il une différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage des élèves de l'échantillon global selon leur attitude Avant envers la physique ?*

Avant de vérifier la relation entre l'attitude envers la physique et le gain relatif d'apprentissage, nous avons d'abord analysé la relation entre l'attitude envers la physique et les scores obtenus au pré-test et post par les trois catégories d'élèves selon leurs attitudes *avant* envers la physique.

- ❖ *Analyse de l'effet de l'attitude Avant envers la physique des élèves sur le score au pré-test et le score post-test*

Le tableau 87 présente les résultats du test H de Kruskal-Wallis appliqué sur les scores obtenu au pré-test et au post-test. L'analyse concerne l'ensemble de l'échantillon (n = 602).

Attitude <i>Avant</i> envers la physique	Eff.	PRE-TEST				POST-TEST			
		Moyenne	Écart- type	Khi2	P	Moyenne	Écart- type	Khi2	P
Positive	439	2,53	1,376	4,580	0,101	3,79	1,326	2,167	0,338
Négative	110	2,83	1,741			3,62	1,465		
Neutre	53	2,66	1,413			3,87	1,373		
Total	602								

Tableau 87. Comparaison des scores au pré-test et au post-test des trois catégories d'élèves selon leur attitude AVANT envers la physique

⁵⁵ Nous entendons par « Attitude AVANT envers la physique, l'attitude initiale avant l'expérimentation.

Les données du tableau 87 montrent qu'il n'y a pas une différence statistiquement significative entre les scores des élèves selon leur attitude *Avant* envers la physique, avant l'expérimentation ($\chi^2 = 4,580$, $p = 0,101 > 0,05$). La catégorie des élèves dont nous avons jugé l'attitude positive envers la physique a obtenu la moyenne au score la plus basse (2,53) contrairement à ceux d'attitude négative (2,83) et ceux d'attitude neutre (2,66). Cela signifie que les élèves dont nous avons jugé l'attitude positive envers la physique, n'avaient pas plus de connaissance sur les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale que par les élèves des deux autres catégories de l'échantillon global. Après l'expérimentation, la différence de scores des trois catégories d'élèves n'était pas non plus statistiquement significative ($\chi^2 = 2,167$, $p = 0,338 > 0,05$). Cela signifie que les élèves des trois catégories avaient des connaissances similaires concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. La figure 23 présente le graphique correspondant aux scores de ces trois catégories d'élèves au pré-test et au post-test selon l'attitude *Avant* envers la physique.

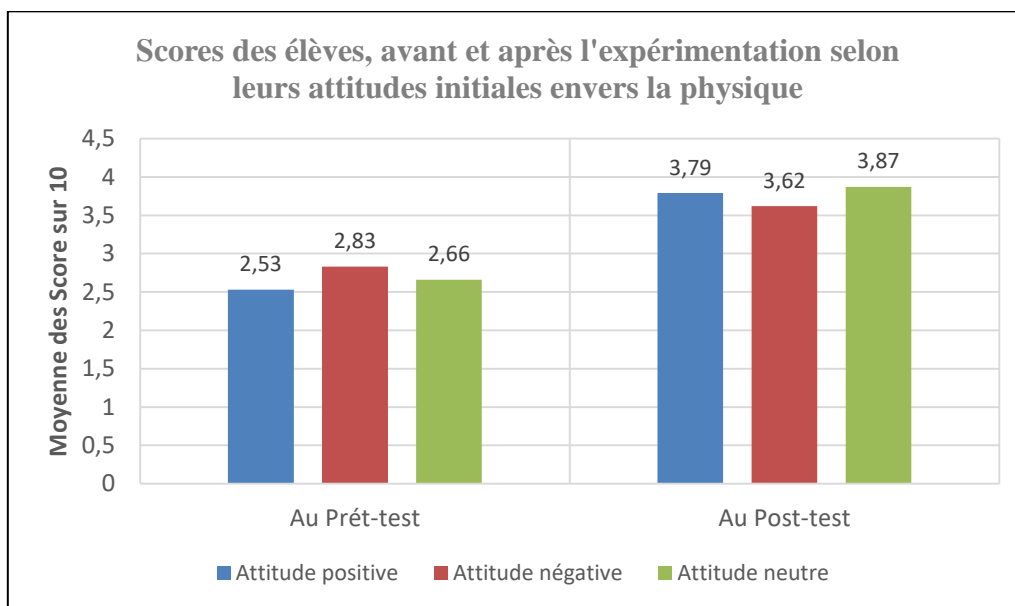


Figure 23. Graphique présentant les scores au pré-test et au post-test des catégories d'élèves, de l'échantillon global, selon leur attitude *AVANT* envers la physique

Nous voyons bien, sur le graphique, que les élèves de toutes les catégories ont tous progressé par rapport à leur niveau de départ. Ces trois catégories d'élèves se valent statistiquement. L'attitude *Avant* envers la physique semble ne pas avoir eu d'influence sur les scores avant et après l'expérimentation. Voyons, en termes de gain relatif d'apprentissage, ce qu'il en est pour les trois catégories d'élèves.

❖ *Analyse de l'effet de l'attitude Avant envers la physique des élèves de l'échantillon global sur le gain relatif d'apprentissage*

Les résultats du test H de Kruskal-Wallis appliqué aux gains relatifs d'apprentissage sont présentés dans le tableau 88.

Attitude Avant envers la physique	Effectif	Gain relatif	Khi2	ddl	P (bilatéral)
Attitude positive	439	0,14 (14%)	3,817	2	0,148
Attitude négative	110	0,09 (9%)			
Attitude neutre	53	0,14 (14%)			
Total	602				

Tableau 88. Comparaison des gains relatifs d'apprentissage selon l'attitude envers la physique des élèves de l'échantillon global avant l'expérimentation

Les résultats du test montrent qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage réalisés par les trois catégories d'élèves selon leur attitude *Avant* envers la physique ($Khi2 = 3,817$, $p = 0,148 > 0,05$), même si nous constatons que les élèves de la catégorie d'attitude positive ont réalisé un gain relatif d'apprentissage relativement égal ou supérieur à celui des autres. Ainsi, de manière générale, après l'expérimentation, les élèves des trois catégories d'élèves ont évolué de la même façon dans la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, dans l'échantillon global. Voyons la situation au niveau du groupe expérimental et du groupe témoin.

6.3.1.2 Analyse de l'effet de l'attitude AVANT sur le gain relatif d'apprentissage dans le groupe expérimental et dans le groupe témoin

Nous cherchons à répondre à la question statistique suivante : *Y-a-t'il une différence statistiquement significative entre les gains relatifs des élèves du groupe témoin et ceux du groupe expérimental selon leur attitude Avant envers la physique ?*

Nous avons d'abord analysé la relation entre l'attitude envers la physique et les scores obtenus au pré-test et post par les élèves des trois catégories d'attitude du groupe expérimental et ceux du groupe témoin.

❖ Analyse de l'effet de l'attitude Avant envers la physique des élèves sur les scores au pré-test et au post-test

Le tableau 89 présente les résultats du test H de Kruskal-Wallis appliqué aux scores obtenus au pré-test et au post-test. L'analyse concerne le groupe témoin ($n = 302$) et groupe expérimental ($n = 300$).

Attitude Avant envers la physique		PRE-TEST				POST-TEST		
		Eff.	Moyenne	Khi2	P	Moyenne	Khi2	P
Groupe expérimental	Positive	211	2,58	3,249	0,197	3,93	1,754	0,416
	Négative	58	2,88			3,95		
	Neutre	31	2,84			4,13		
Groupe témoin	Positive	228	2,49	2,171	0,338	3,65	2,818	0,244
	Négative	52	2,77			3,25		
	Neutre	22	2,41			3,50		

Tableau 89. Comparaison des gains relatifs d'apprentissage selon l'attitude AVANT envers la physique des élèves avant et après l'expérimentation

Selon les données du tableau 89, au pré-test ($\chi^2 = 2,171$, $p = 0,338 > 0,05$), comme au post-test ($\chi^2 = 2,818$, $p = 0,244 > 0,05$), il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les niveaux des trois catégories d'élèves dans le groupe témoin. Cela signifie que, dans le groupe témoin, les trois catégories d'élèves avaient des niveaux de compréhension similaires concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale avant et après l'expérimentation. Il en est de même pour les trois catégories d'élèves du groupe expérimental, au pré-test ($\chi^2 = 3,249$, $p = 0,197 > 0,05$) et au post-test ($\chi^2 = 1,754$, $p = 0,0416 > 0,05$). Analysons à présent l'effet de l'attitude envers la physique des élèves sur le gain relatif d'apprentissage.

❖ *Analyse de l'effet de l'attitude Avant envers la physique des élèves de l'échantillon global sur le gain relatif d'apprentissage*

Le test H de Kruskal-Wallis appliqué au gain relatif d'apprentissage du groupe témoin et du groupe expérimental donne les résultats présentés dans le tableau 99 suivant.

	Attitude Avant envers la physique	Effectif	Gain relatif	Khi2	P (bilatéral)
Groupe expérimental	Positive	211	0,16 (16%)	0,649	0,723
	Négative	58	0,13 (13%)		
	Neutre	31	0,16 (16%)		
Groupe témoin	Positive	228	0,13 (13%)	4,146	0,126
	Négative	52	0,04 (4%)		
	Neutre	22	0,12 (12%)		

Tableau 90. Comparaison des gains relatifs d'apprentissage selon l'attitude envers la physique des élèves du groupe expérimental et du groupe témoin

D'après les données du tableau 90, dans le groupe expérimental, le gain moyen de la catégorie d'élèves ayant une attitude positive est supérieur au gain des autres catégories. Cependant, les résultats du test montrent qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les gains de ces trois catégories d'élèves, dans le groupe expérimental ($\chi^2 = 0,649$, $p = 0,723 > 0,05$), comme dans le groupe témoin ($\chi^2 = 4,146$, $p = 0,126 > 0,05$). La figure 24 donne une représentation graphique des gains relatifs d'apprentissage des trois catégories d'attitude envers la physique.

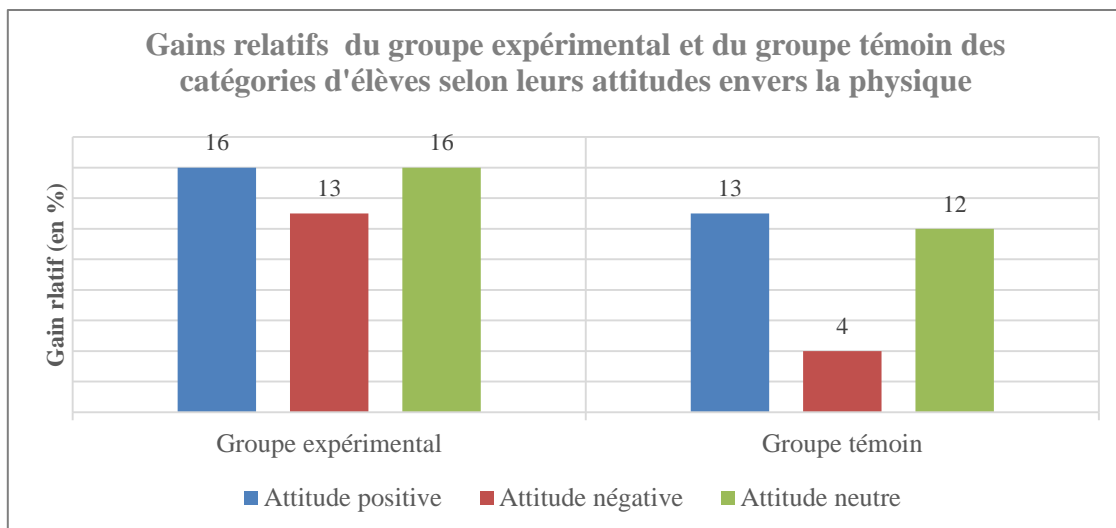


Figure 24. Graphique présentant les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves du groupe expérimental et du groupe témoin, selon leur attitude AVANT envers la physique

Ces résultats signifient que les attitudes *Avant* envers la physique des élèves n'affectent pas les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves du groupe expérimental ni de ceux du groupe témoin. Analysons le cas particulier des groupes-classes expérimentaux et témoins.

6.3.1.3 Analyse de l'effet de l'attitude Avant envers la physique des élèves sur le gain relatif des groupes-classes

Le tableau 91 et la figure 25 présentent les gains relatifs d'apprentissage du groupe-classe expérimental et du groupe classe témoin de chaque enseignant par catégorie d'élèves selon leur attitude *avant* envers la physique.

	GC	Effectif	Attitude positive	Attitude négative	Attitude neutre
Groupe expérimental	Ay	39	0,21 (21%)	0,27 (27%)	0,20 (20%)
	By	73	0,15 (15%)	0,23 (23%)	0,18 (18%)
	Cy	64	0,20 (20%)	0,17 (17%)	0,21 (21%)
	Dy	57	0,09 (9%)	0,20 (20%)	0,20 (20%)
	Ey	67	0,16 (16%)	-0,10 (-10%)	0,10 (10%)
Groupes témoins	Ax	46	0,16 (16%)	0,014 (1,4%)	0,03 (3%)
	Bx	66	0,07 (7%)	-0,12 (-12%)	0,09 (9%)
	Cx	65	-0,06 (-6%)	-0,02 (-2%)	-0,05 (-5%)
	Dx	51	0,16 (16%)	0,19 (19%)	0,28 (28%)
	Ex	74	0,28 (28%)	0,13 (13%)	0,37 (37%)

Tableau 91. Effet de l'attitude de Avant des trois catégories d'élèves du groupe-classe expérimental et du groupe-classe témoin par enseignant sur le gain relatif

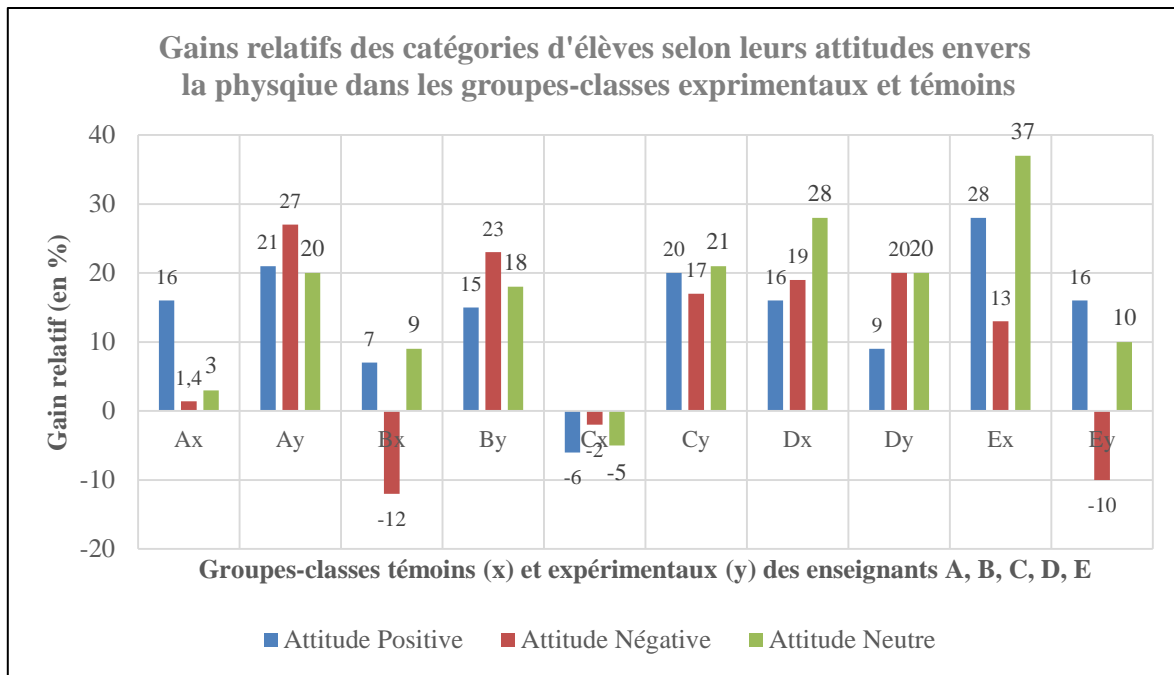


Figure 25. Graphique présentant les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves des groupes-classes expérimentaux et témoins, selon leur attitude AVANT envers la physique

Selon les données du tableau 91 et de la figure 25, les élèves dont l'attitude envers la physique est positive n'ont pas, dans l'ensemble, les gains relatifs d'apprentissage les plus élevés dans les groupes-classes expérimentaux par rapport à aux élèves des groupes-classes témoins. Par ailleurs, nous constatons un gain relatif d'apprentissage négatif dans les groupes-classes témoins des enseignants B et C pour les élèves de la catégorie d'attitude négative. Au total, sur 5 groupes-classes expérimentaux, c'est seulement dans le groupes-classe expérimental E (Ey) que le gain relatif d'apprentissage des élèves de la catégorie d'attitude positive a été supérieur à celui des élèves des autres catégories d'attitudes.

6.3.1.4 Synthèse des résultats concernant l'effet de l'attitude Avant envers la physique des élèves sur le gain relatif

Nous avons cherché à savoir s'il y avait une différence significative entre le gain relatif d'apprentissage des élèves ayant une attitude positive envers la physique et celui de leurs pairs ayant une attitude négative ou neutre. Notre analyse a montré qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les gains de ces trois catégories d'élèves, ni dans l'échantillon global, ni dans le groupe expérimental et le groupe témoin, ni dans les groupes-classes. En outre, dans plusieurs cas, ce sont les élèves ayant une attitude avant envers la physique négative ou neutre, qui ont eu les gains les plus élevés. Au regard de ces résultats, l'affirmation selon laquelle ce sont les élèves ayant une attitude positive envers la physique qui obtiennent les gains relatifs d'apprentissage les plus significativement élevés, n'a pas été confirmée.

Sachant que l'utilisation de la technologie peut influencer l'attitude des élèves, selon plusieurs études (Ulukök & Sari, 2016, 471-472), nous avons donc cherché à savoir si, au cours de l'expérimentation les attitudes des élèves ont changé au point d'impacter positivement le

gain relatif d'apprentissage. Nous avons appelé cette attitude l'*attitude après envers la physique* des élèves du groupe expérimental. Voyons, à présent, les résultats que nous avons obtenus.

6.3.2 Effet de l'attitude *Après* envers la physique des élèves du groupe expérimental sur le gain relatif d'apprentissage

Dans cette section, l'analyse porte uniquement sur le groupe expérimental (n = 300).

6.3.2.1 Analyse de l'effet de l'attitude *Après* envers la physique des élèves du groupe expérimental sur le gain relatif d'apprentissage

Nous cherchons à répondre à la question statistique suivante : *Y-a-t'il, dans le groupe expérimental, une différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves selon leur attitude Après envers la physique ?*

Le tableau 92 présente les résultats du test U de Mann-Whitney appliqué au gain relatif d'apprentissage des élèves du groupe expérimental (n = 300).

Attitude <i>Après</i> envers la physique	Effectif	Gain relatif	Khi2	ddl	P (bilatéral)
Attitude positive	267	0,15 (15%)	10,166	2	0,006
Attitude négative	16	0,30 (30%)			
Attitude neutre	17	0,05 (5%)			
Total	300				

Tableau 92. Comparaison des gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves selon leur attitude APRÈS envers la physique

Les données du tableau 92 montrent que, dans le groupe expérimental, ce sont les élèves de la catégorie d'attitude négative qui ont obtenu le gain relatif d'apprentissage le plus élevé, par rapport à celui de la catégorie d'attitude positive et d'attitude neutre envers la physique avec une différence statistiquement significative (khi-deux = 10,166, $p = 0,006 < 0,05$). Cela signifie que les élèves du groupe expérimental, c'est-à-dire les élèves qui ont été enseignés à l'aide du simulateur d'oscilloscope, dont l'attitude *Après* envers la physique a été jugée positive ont moins bien compris les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale que ceux dont l'attitude a été jugée négative. La figure 15 présente les relatifs d'apprentissage des trois catégories d'élèves.

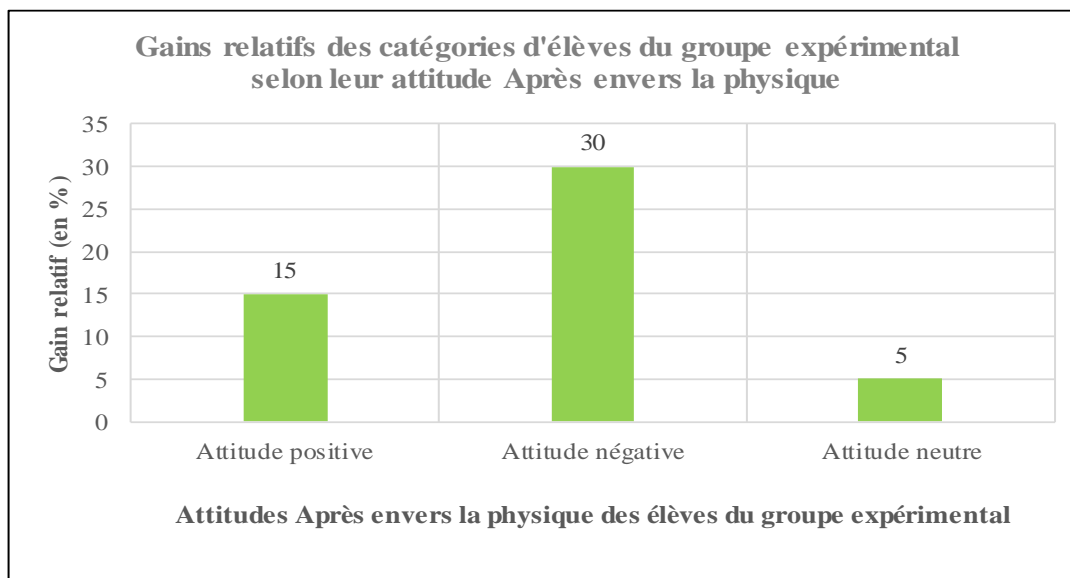


Figure 26. Graphique présentant les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves du groupe expérimental selon leur attitude APRES envers la physique

La figure 26 illustre bien la différence de gains entre les trois catégories d'élèves selon leur attitude envers la physique. Dans le groupe des élèves qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope, ce ne sont pas les élèves ayant une attitude positive envers la physique qui ont réalisé les gains relatifs d'apprentissage les plus élevés. Nous avons alors exploré le cas spécifique des groupes-classes expérimentaux étant donné le lien entre les caractéristiques des élèves et l'activité de l'enseignant (Goigoux, 2007, p. 59).

6.3.2.2 Analyse de l'effet de l'attitude Après envers la physique des élèves du groupe-classe expérimental de chaque enseignant sur le gain relatif d'apprentissage

Question statistique : *Y-a-t'il, dans le groupe-classe expérimental de chaque enseignant, une différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves selon leur attitude Après envers la physique ?*

Le tableau 93 et la figure 27 présentent les gains relatifs d'apprentissage du groupe-classe expérimental de chaque enseignant par catégorie d'élèves selon leur attitude *avant* envers la physique.

	GC	Effectif	Attitude positive	Attitude négative	Attitude neutre
Groupe expérimental	Ay	39	0,20 (20%)	0,42 (42%)	0,22 (22%)
	By	73	0,16 (16%)	0,28 (28%)	0,06 (6%)
	Cy	64	0,20 (20%)	0,26 (26%)	0,11 (11%)
	Dy	57	0,12 (12%)	0,36 (36%)	0,07 (7%)
	Ey	67	0,10 (10%)	0,21 (21%)	-0,24 (-24%)

Tableau 93. Effet de l'attitude Après envers la physique des trois catégories d'élèves de chaque enseignant du groupe-classe expérimental sur le gain relatif d'apprentissage

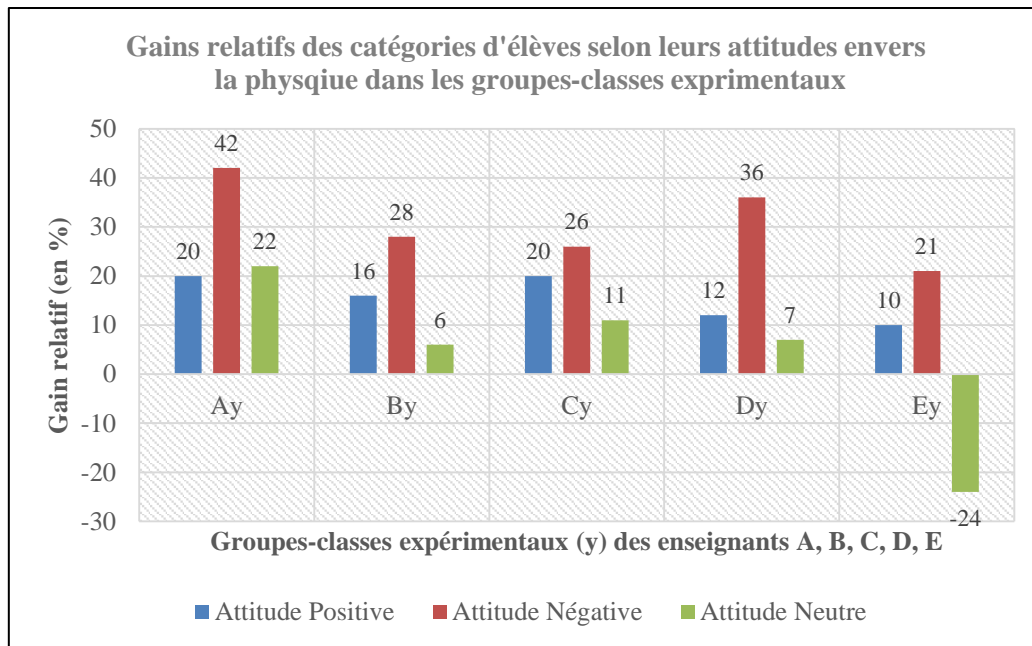


Figure 27. Graphique présentant les gains relatifs d'apprentissage des catégories d'élèves des groupes-classes expérimentaux, selon leur attitude APRÈS envers la physique

Nous observons, dans le groupe-classe expérimental de chaque enseignant, la même tendance que dans le groupe expérimental global, à savoir que ce ne sont pas les élèves qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope qui ont réalisé les gains relatifs d'apprentissage les plus élevés mais plutôt ceux dont l'attitude a été jugée négative. Les distributions des gains relatifs d'apprentissage n'étant pas toutes normales dans les catégories d'élèves d'attitudes positive, négative ou neutre, pour les enseignants A, B, C, et D, nous avons effectué un test de Kruskal-Wallis sur les gains relatifs d'apprentissage concernant ces catégories d'élèves. Les résultats de ces tests ont montré que, globalement dans chaque groupe classe expérimental de A (Ay : khi-deux = 2,312, $p = 0,315$), B (By : khi-deux = 3,341, $p = 0,188$), C (Cy : khi-deux = 1,028, $p = 0,598$) et D (Dy : khi-deux = 3,183, $p = 0,204$), il n'y a pas une différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage de ces trois catégories. Pour le groupe-classe de l'enseignant E, pour lequel la distribution du gain relatif d'apprentissage était normale dans les trois catégories d'attitudes, nous avons effectué une ANOVA à 1 facteur sur le gain relatif de ces catégories. Nous présentons dans le tableau 94 les résultats de ce test.

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	0,370	2	0,185	4,447	0,016
Intra-groupes	2,663	64	0,042		
Total	3,033	66			

Tableau 94. Résultats du test d'ANOVA à 1 facteur effectuée sur les gains relatifs d'apprentissage des trois catégories d'élèves du groupe-classe expérimental de l'enseignant E

Les résultats de ce test indiquent également qu'il n'y a pas une différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage de ces trois catégories d'élèves. Au total, l'affirmation selon laquelle les élèves, enseignés avec le simulateur d'oscilloscope, ayant une attitude positive envers la physique auront un gain relatif d'apprentissage significativement élevé n'a pas été non plus confirmée avec les attitudes

acquises au cours de l'expérimentation. Voyons alors si les attitudes des élèves ont changé au cours de l'expérimentation.

6.3.2.3 Comparaison des attitudes Avant et Après envers la physique des élèves du groupe expérimental

Question statistique : *Y-a-t'il une différence statistiquement significative entre l'attitude Avant envers la physique et l'attitude Après envers la physique des élèves du groupe expérimental ?*

Nous avons comparé, selon les trois catégories, le nombre d'Attitudes AVANT envers la physique et le nombre d'Attitudes APRÈS envers la physique des élèves. La distribution étant anormale dans les deux échantillons d'attitudes liés au groupe expérimental, nous avons appliqué le test non paramétrique de Wilcoxon aux deux séries d'attitudes. Les résultats du test sont présentés dans le tableau 95.

		Effectif	Z	P
Attitude AVANT envers la physique	Positive	211 (70,3%)	-4,295	0,000
	Négative	58 (19,3%)		
	Neutre	31 (10,3%)		
Attitude APRÈS envers la physique	Positive	267 (89%)		
	Négative	16 (5%)		
	Neutre	17 (6%)		

Tableau 95. Comparaison des attitudes Avant et Après envers la physique des élèves du groupe expérimental

Le tableau 95 indique qu'il y a une différence statistiquement significative entre le nombre d'attitudes Avant et Après envers la physique, selon les trois catégories d'élèves ($Z = -4,295$, $p = \mathbf{0,000} < 0,05$). Cela signifie qu'il y a eu, dans le groupe expérimental, un changement d'attitudes envers la physique des élèves. Le nombre d'attitudes positives a augmenté tandis que les nombres d'attitudes négatives et d'attitudes neutres ont diminué. La figure 17 donne une représentation graphique des proportions d'élèves selon les trois catégories d'attitudes Avant et Après envers la physique.

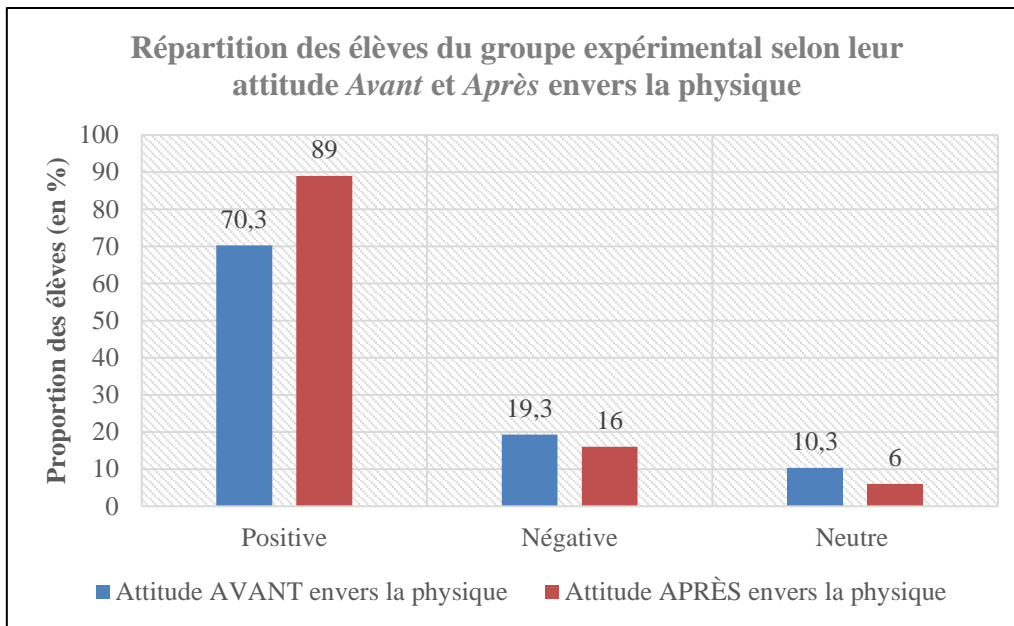


Figure 28. Graphique présentant la proportion d'attitudes Avant et Après envers la physique des élèves du groupe expérimental

Selon le graphique de la figure 28, dans le groupe des élèves ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope, des élèves qui avaient une attitude négative ou neutre au départ, envers la physique, ont changé positivement d'attitudes envers la discipline.

6.3.2.4 Synthèse des résultats concernant l'effet de l'attitude Après envers la physique des élèves sur le gain relatif.

N'ayant pas trouvé de lien statistiquement significatif entre l'attitude initiale envers la physique des élèves et le gain relatif d'apprentissage, nous avons cherché à savoir si ce lien n'existait pas plutôt avec l'attitude finale. L'étude a montré, dans le groupe expérimental, que le gain relatif d'apprentissage ne dépendait pas non plus de l'attitude finale envers la physique des élèves, même si les attitudes initiales ont évolué positivement, en nombre, de manière significative.

En conclusion, selon les données de notre étude, les attitudes envers la physique des élèves qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope, n'ont pas affecté significativement le gain relatif d'apprentissage concernant la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. L'hypothèse 2 (H2) de notre recherche n'a donc pas été vérifiée. Analysons maintenant, la relation entre le gain relatif d'apprentissage et les pratiques des enseignants afin de savoir si ces pratiques favorisent ou pas la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale.

6.4 Présentation des résultats concernant les effets des pratiques de l'enseignant sur le gain relatif d'apprentissage

Nous faisons allusion à la pratique de la démarche d'investigation par l'expérimentation en physique, la pratique d'une pédagogie de l'apprentissage, et l'utilisation didactique du simulateur d'oscilloscope. L'analyse de ces pratiques nous permettra d'évaluer les hypothèses 3, 4, 5, 6 et 7 de notre étude. Dans cette analyse, nous considérons le groupe-classe comme unité statistique.

6.4.1 Effet de la démarche d'investigation par l'expérimentation

6.4.1.1 Analyse de la relation entre le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe et son implication dans la démarche POE (le Student Response Rate (SRR))

Il s'agit de vérifier la troisième hypothèse (H3) de notre étude. Les données concernent globalement la classe et sont en rapport avec l'enseignant et le groupe-classe. La vérification de l'hypothèse de l'étude renvoie donc à la question de recherche suivante:

Question 3.

L'implication du groupe-classe, mesurée par le taux de réponse des élèves (*Student Response Rate*(SRR)), dans la démarche d'investigation mise en œuvre par l'enseignant affecte-t-elle le gain relatif d'apprentissage de la classe ?

Question statistique : Y-a-t'il une corrélation linéaire entre le gain relatif d'apprentissage et le Student Response Rate ?

Le test de test de Shapiro-Wilk, sur les données concernant l'ensemble des gains relatifs des groupes-classes, indique une distribution normale du gain relatif d'apprentissage des groupes-classes ($S = 0,952$, $p = 0,689 > 0,05$). Ce qui nous amène à effectuer le test paramétrique de corrélation de Pearson entre avec le gain relatif et au SRR. Le résultat du test est ($r = 0,169$, $p = 0,658$). Ce résultat signifie qu'il existe une corrélation faible à nulle entre le gain relatif d'apprentissage et le SRR (*Student Response Rate*). En d'autres termes, il n'y a pas d'association significative entre le gain relatif et le taux de réponse des élèves lors de la pratique de la démarche d'investigation par les enseignants, tous groupes confondus. Le test de régression ($r^2 = 0,026$ soit 2,6%) montre que seulement 2,6% du gain relatif des groupes-classes sont expliqués par le SRR. Les 97,4% restants émanent d'autres facteurs.

Par ailleurs, les données que nous avons collectées, par observation directe, nous indiquent que, dans les groupes-expérimentaux les élèves ont plus participé à la pratique de la démarche d'investigation que dans les groupes témoins. De ce fait, le taux de réponse du groupe-classe expérimental est-il significativement différent de celui du groupe-classe témoin ?

Les résultats du test de t de Student ($t = 2,289$, $p = 0,051$), effectué sur les données du SRR du groupe expérimental et du groupe témoin, montrent qu'il est presque probable qu'il y ait une différence statistiquement significative entre les deux groupes, en termes d'implication des élèves dans la démarche P-O-E. Voyons alors si cette implication dépend du niveau de la pratique de la démarche d'investigation.

6.4.1.2 Analyse de la relation entre le Student Response Rate (SRR) et le niveau de pratique de la démarche d'investigation (Inquiry Cycle Score (ICS))

Il s'agit de vérifier la quatrième hypothèse de notre étude (H4). Elle renvoie à la question de recherche suivante :

Question 4.

L'implication du groupe-classe, mesurée par le taux de réponse des élèves (Student Response Rate(SRR)), dépend-elle statistiquement du niveau de pratique de la démarche d'investigation mise en œuvre par l'enseignant, mesuré par l'Inquiry Cycle Score (ICS) ?

Question statistique : Y-a-t'il une corrélation linéaire entre le Student Response Rate du groupe-classe et l'Inquiry Cycle Score de l'enseignant ?

Le test de Shapiro-Wilk indique que la distribution globale de l'ICS est normale ($S = 0,929$, $p = 0,440$) ainsi que celle du SRR ($S = 0,869$, $p = 0,098$) indépendamment du type de groupe. L'application du test de corrélation de Pearson entre l'ICS et le SRR donne comme résultat, ($r = 0,314$, $p = 0,378$). Ce qui signifie que globalement, le SRR ne dépend pas de l'ICS. En d'autres termes, il n'y a pas de lien significatif entre le niveau de pratique de la démarche POE mise en œuvre par l'enseignant et l'implication de la classe dans cette démarche. Le résultat du test de régression linéaire ($r^2 = 0,098$), signifie que seulement 9,8% du taux de réponse des élèves dans la pratique de la démarche POE sont expliqués par le niveau de pratique de la démarche POE par l'enseignant. Les 90,2% restants sont liés à d'autres facteurs. Ce résultat montre que la quatrième hypothèse de notre étude n'est pas vérifiée. Cependant, les données de l'observation directe ont indiqué que les enseignants, à travers leurs scores, ont mieux pratiqué la démarche POE dans les groupes-classes expérimentaux que dans les groupes-classes témoins. Nous avons alors cherché à savoir, à l'aide d'un test t de student, s'il y avait une différence statistiquement significative entre les ICS (*Inquiry Cycle Score*) de ces deux types de groupes. Les résultats du test t de Student sont ($t = 1,992$, $p = 0,081$). Ce qui signifie qu'il n'y a pas une différence statistiquement significative entre les ICS des deux types de groupes-classes. En d'autres termes, l'implication dans la démarche d'investigation, des élèves ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope, n'est pas plus favorisée significativement que celle des élèves enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. Examinons donc le niveau de pratique POE dans le cas de chaque groupes- classe.

6.4.1.3 Analyse de la pratique de la démarche d'investigation (Inquiry Cycle Score (ICS)) de chaque enseignant dans leurs classes respectives

Question statistique : Y-a-t'il une différence statistiquement significative entre la démarche d'investigation pratiquée par l'enseignant dans le groupe-classe expérimental et celle qu'il a pratiquée dans le groupe-classe témoin ?

Dans la section précédente, notre analyse a indiqué que, globalement, la démarche d'investigation pratiquée par l'enseignant n'avait pas d'effet significatif sur la performance des élèves concernant la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, qu'ils aient été enseignés avec ou sans le simulateur d'oscilloscope.

Pour approfondir notre analyse, nous avons examiné la pratique de la démarche POE au niveau de chaque enseignant dans ses deux classes. Pour faire notre analyse, nous nous sommes inspiré de la démarche d'analyse que Nouhou a utilisée dans sa thèse pour son étude relative à l'utilisation du logiciel Geogebra en mathématique pour l'apprentissage des fonctions numériques au lycée (Nouhou, 2019, p. 281).

Nous rappelons que la pratique de la démarche d'investigation, au sens de Rutten et al (2015), consiste, pour l'enseignant, à poser, dans l'ordre, une série de trois types de questions : une question de prédiction (P), une question d'observation (O) et une question d'explication (E) (Rutten et al., 2015, 1231). Le tableau 96 présente le nombre d'occurrences des indicateurs de la pratique de la démarche d'investigation (POE) par chaque enseignant, dans le groupe-classe expérimental (GCE) et dans le groupe-classe témoin (GCT) (voir Annexe A14).

Enseignant		Pose des questions de prédiction (P)	Pose des questions d'observation (O)	Pose des questions d'explication (E)
A	GCE (Ay)	4	4	3
	GCT (Ax)	4	4	4
B	GCE (By)	8	37	3
	GCT (Bx)	2	11	4
C	GCE (Cy)	8	23	10
	GCT (Cx)	0	2	1
D	GCE (Dy)	12	16	4
	GCT (Dx)	15	14	5
E	GCE (Ey)	23	25	9
	GCT (Ex)	0	12	4

Tableau 96. Comparaison des nombres d'occurrences des indicateurs de la pratique de la démarche d'investigation mise en œuvre par chaque enseignant dans le groupe-classe expérimental et le groupe-classe témoin.

L'enseignant A, d'après les données du tableau 96, a posé, dans le groupe-classe expérimental, sur 53 min de cours, au total, 11 questions correspondant à la pratique de la démarche POE, dont 4 questions de prédiction, 4 questions d'observation et 4 questions d'explication. Dans le groupe-classe témoin, sur 90 min, ce sont 12 questions au total qui ont été posées, dont 4 questions de prédiction, 4 questions d'observation, et 4 questions d'explication. Les nombres de questions, de chaque type, sont donc pratiquement les mêmes dans les deux types de groupes-classes. Cependant, en examinant ces nombres par rapport à la durée du cours, nous notons dans le groupe expérimental, une fréquence de 21% des questions par unité de temps contre 13% pour le groupe-classe témoin. Ce qui pourrait faire penser que, dans le groupe-classe expérimental, A a posé plus de questions que dans le groupe-classe témoin, ou aurait posé plus de questions que dans le groupe-classe témoin s'il disposait de la même durée. Au regard du résultat du test de corrélation entre la durée de la séquence de cours et le nombre total de questions ($r = 0,288$, $p = 0,419$), cette hypothèse n'est pas établie. En outre, le test de Student apparié que nous avons appliqué aux deux séries de données correspondant aux démarches POE du groupe-classe expérimental et du groupe-classe témoin a donné comme résultat, ($t = 1$, $p = 0,423 > 0,05$). Ce qui montre qu'il n'y a pas une différence significative entre la démarche pratiquée avec le simulateur d'oscilloscope dans le groupe-classe

expérimental et celle appliquée dans le groupe-classe témoin. Cela signifie que, malgré la présence du simulateur d'oscilloscope, A n'a pas changé de pratique.

Dans le cas de l'enseignant B, sur 64 min de cours, utilisant le simulateur d'oscilloscope, B a posé au total 48 questions dont 8 questions de prédiction, 37 questions d'observation, et 3 questions d'explication. Dans le cours de 70 min sans le simulateur d'oscilloscope, B a posé, en tout, 17 questions dont 2 questions de prédiction, 11 questions d'observation et 4 questions d'explication. Ce qui correspond à une fréquence de 75% des questions par unité de temps pour le groupe-classe expérimental contre 24% pour le groupe-classe témoin. Dans le groupe expérimental, B a donc posé, 3 fois plus de questions que dans le groupe-témoin, avec 4 fois plus de questions de prédiction, et d'observation que dans le groupe-classe témoin. Malgré cette différence notable, le résultat du test de Student ($t = -1,277$, $p = 0,330$) indique qu'il n'y a pas une différence significative entre les deux pratiques. Il faut quand même reconnaître que le recours à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope a permis à B de pratiquer un peu plus la démarche d'investigation, jugée favorable à l'apprentissage de la physique.

Dans le cas de l'enseignant C, le cours sans le simulateur d'oscilloscope s'est tenu sur 34 minutes. L'enseignant a posé 3 questions en tout, aucune question de prédiction, 2 questions d'observation et 1 question d'explication. Pour le groupe expérimental, le cours qui s'est déroulé sur 70 minutes, 41 questions au total ont été posées par l'enseignant C, dont 8 questions de prédiction, 23 questions d'observation et 10 questions d'explication. Ce qui représente une fréquence de 9% des questions par unité de temps pour le groupe-classe témoin contre 59% pour le groupe-classe expérimental. Nous constatons que dans le groupe-classe témoin, l'enseignant a eu moins de temps pour réaliser son enseignement, en raison du retard dans le démarrage du cours. Ce retard est dû au temps de mise en place des élèves et des caméras, la salle de classe n'ayant pas été vite libérée par l'enseignant qui l'occupait précédemment. Par souci de terminer la séquence, les élèves n'ont donc pratiquement pas été sollicités pour la construction des éléments de savoir par l'enseignant. Les élèves ont, par conséquent, assisté à un cours magistral dans l'ensemble. Ce fait pourrait bien expliquer le gain relatif d'apprentissage négatif du groupe-classe témoin de C. En revanche, pour le groupe-classe expérimental, l'enseignant a beaucoup sollicité les élèves. Il les a fortement impliqués dans la construction de la compréhension des concepts, à travers la fréquence des 3 types de questions. Le simulateur d'oscilloscope lui a permis de pratiquer beaucoup plus la démarche d'investigation, même si statistiquement le résultat du test de Student apparié, ($t = -3,033$, $p = 0,094$), indique qu'il n'y a pas de différence de pratique dans la démarche POE entre les deux groupes-classes.

Dans le cas de l'enseignant D, la séquence de cours s'est déroulée dans le groupe-classe expérimental sur 42 min. D a posé 32 questions, comportant 12 questions de prédiction, 16 questions d'observation et 4 questions d'explication, soit une fréquence de 76% des questions posées par unité de temps. Dans le groupe-classe témoin, sur 68 min, 34 questions au total ont été posées dont 15 questions de prédiction, 14 questions d'observation et 5 questions d'explication. Ce qui représente une fréquence de 50% des questions par unité de temps. D a posé plus de questions de prédiction et d'observation dans le groupe-classe témoin que dans le groupe-classe expérimental, et pratiquement le même nombre de questions d'explication.

Cependant, le résultat du test de Student apparié, ($t = 0,459$, $p = 0,691$), indique que la démarche POE pratiquée dans le groupe-classe expérimental est similaire à celle pratiquée dans le groupe-classe témoin. Mais elle a été un peu plus accentuée dans le groupe-classe témoin. Cela pourrait probablement justifier la différence de gain relatif d'apprentissage entre les deux groupes-classes, en faveur de la classe témoin. Le recours au simulateur d'oscilloscope n'a donc pas modifié la pratique l'enseignant concernant la démarche d'investigation.

Dans le cas de l'enseignant E, la séquence de cours utilisant le simulateur d'oscilloscope s'est tenue sur 71 min, avec 23 questions de prédiction, 25 questions d'observation et 9 questions d'explication, soit 57 questions en tout. Dans le groupe-classe témoin, par contre, l'enseignant E n'a posé aucune question de prédiction. Il a posé 12 questions d'observation et 4 questions d'explication, soit au total 16 questions en 56 min de cours. Ce qui fait 29% des questions par unité de temps dans le groupe-classe témoin contre 80% pour le groupe-classe expérimental. Le résultat du test de Student, ($t = -2,625$, $p = 0,120 > 0,05$), indique cependant qu'il n'y a pas de différence statistique entre la démarche POE pratiquée par l'enseignant dans le groupe-classe expérimental et celle qu'il a pratiquée dans le groupe-classe témoin. Néanmoins les fréquences des questions dans le groupe expérimental semblent montrer que le simulateur d'oscilloscope a fait pratiquer beaucoup plus la démarche dans le groupe expérimental que dans le groupe-témoin.

Notre analyse n'a pas montré une différence statistiquement significative entre la démarche pratiquée par chaque enseignant dans son groupe-classe expérimental et celle qu'il a pratiquée dans son groupe-classe témoin. Cependant, l'analyse a révélé que dans les groupes-classes où le simulateur d'oscilloscope a été utilisé, les enseignants ont posé beaucoup plus de questions de prédiction et, surtout, d'observation. Ce qui semble être dû au recours au simulateur d'oscilloscope. En effet, le caractère dynamique du simulateur d'oscilloscope permet effectivement, grâce à la modification des paramètres, par la manipulation, la visualisation de la tension, et l'observation des changements.

Nous avons cherché à comprendre, à travers les types de questions auxquelles les élèves ont répondues, si l'implication du groupe-classe dans la pratique de la démarche d'investigation POE a favorisé l'apprentissage des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, et par conséquent le gain relatif réalisé.

6.4.1.4 Analyse de l'effet de l'implication des groupes-classes expérimentaux dans la démarche POE à travers les types de questions posées

Les analyses précédentes n'ont pas trouvé de lien entre l'implication des groupes-classes dans la démarche POE et la pratique de l'enseignant concernant cette démarche. Nous avons donc cherché à savoir si les types de questions auxquelles les élèves ont effectivement répondues sont de nature à favoriser l'effet de la démarche POE. Nous faisons allusion, notamment, aux questions de prédiction (P) et aux questions d'explication (E), la combinaison *Prédiction-Explication* ayant un niveau taxonomique très élevé (Rutten et al., 2015, p. 1231). La phase de prédiction, très importante, permet aux élèves, à travers la question de prédiction, d'exposer leurs conceptions naïves concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. Les questions d'explication, leur permet de prendre conscience

des conceptions erronées et surtout de comprendre, à travers les échanges avec les autres (élèves et enseignant), pourquoi elles ne sont pas justes afin d’y apporter un changement. La question statistique que nous nous sommes posée était donc la suivante : *Les nombres de questions de prédiction et d’explication auxquelles les élèves ont répondues sur le total des questions de prédiction et d’explication posées par l’enseignant expliquent-ils le gain relatif d’apprentissage du groupe-classe ?*

Le tableau 97 présente les nombres de questions de prédiction et d’explication posées, et les nombres de questions répondues par les élèves dans chaque groupe-classe (Annexe A13).

Groupes-classes	Nb. de questions de Prédiction		Nb. de questions d’Explication	
	Posées par l’enseignant	Répondues par le groupe-classe	Posées par l’enseignant	Répondues par le groupe-classe
Ax	4	1	4	0
Ay	4	1	3	1
Bx	1	1	4	0
By	8	5	3	1
Cx	0	0	1	0
Cy	8	3	10	3
Dx	15	5	5	1
Dy	12	7	4	1
Ex	0	0	4	0
Ey	23	12	9	3

Tableau 97. Nombres de questions de prédiction et d’explication répondues par les élèves dans les groupes-classes témoins (X) et expérimentaux (Y).

Les données du tableau 97 indiquent que les élèves n’ont presque pas répondu aux questions d’explication qui leur ont été posées. Pour les questions de prédiction également, il n’y a pas eu beaucoup de réponses non plus dans les groupes-classes. Ce qui montre que non seulement, les enseignants n’ont pas posé assez de questions de prédiction, et d’explication, dans l’ensemble, les élèves n’ont pas été nombreux à répondre à ce peu de questions. L’activité cognitive vers le changement conceptuel semble n’avoir donc pas été suffisante. Ce qui pourrait probablement expliquer le faible gain relatif d’apprentissage réalisé dans les groupes-classes en général, et dans les groupes-classes expérimentaux en particulier.

Voyons à présent si le gain relatif d’apprentissage est lié à la participation globale des élèves, à travers la pédagogie de l’apprentissage mise en œuvre par l’enseignant.

6.4.2 Effet de la pédagogie de l’apprentissage de l’enseignant

Dans cette section, nous cherchons à vérifier les hypothèses 5 et 6 de notre étude.

6.4.2.1 Analyse de l’effet de la participation globale des élèves sur le gain relatif d’apprentissage

Il s’agit de vérifier l’hypothèse 5. Elle renvoie à la question suivante :

Question 5.

La participation globale des élèves au cours ayant utilisé le simulateur d'oscilloscope, affecte-t-elle significativement le gain relatif d'apprentissage par rapport à celle des élèves du groupe-classe n'ayant pas utilisé le simulateur d'oscilloscope ?

Dans un premier temps, nous avons effectué un test de corrélation entre le niveau global de participation du groupe-classe et le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe. Les résultats du test de corrélation donnent un coefficient de corrélation de Pearson $r = 0,172$ et $p = 0,634 < 0,05$. Ce qui signifie que, globalement, il n'y a pas une association statistiquement significative entre le gain relatif d'apprentissage et le niveau de participation globale des groupes-classes. Néanmoins, le coefficient de régression, $r^2 = 0,03$, montre que seulement 3% du gain relatif d'apprentissage sont expliqués par le niveau de participation globale des élèves. Nous avons comparé les niveaux de participation du groupe expérimental et du groupe témoin. Le tableau 98 présente les niveaux de participation, en termes de nombre d'occurrences total des indicateurs et les résultats du test de Student.

Niveau Participation globale des groupes	Effectif	Moyenne nb. d'occurrences	T	P (bilatéral)
Groupe expérimental	5	161,80	0,906	0,391
Groupe témoin	5	128,80		

Tableau 98. Comparaison des nombres d'occurrences des indicateurs de participation globale du groupe expérimental et du groupe témoin

D'après le tableau 98, le résultat du test de student, $t = 0,906$ et $p = 0,391 > 0,05$, indique qu'il n'y a pas une différence significative entre le niveau de participation du groupe expérimental et celui du groupe témoin dans l'échantillon global. Cela signifie que, globalement, les élèves ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope n'ont pas participé plus au cours que les élèves ayant été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. Comparons, à présent, les niveaux de participation des groupes-classes de chaque enseignant.

6.4.2.2 Analyse du niveau de participation globale de chaque groupe-classe par enseignant

Question statistique : Y-a-t'il une différence significative entre le niveau de participation globale du groupe-classe expérimental et celui du groupe-classe témoin de chaque enseignant ?

Le tableau 99 présente les moyennes des nombres d'occurrences des niveaux de participation des groupes-classes expérimental et témoin de chaque enseignant sur les 12 indicateurs retenus pour la définition de la participation globale du groupe-classe. Nous avons également présenté les résultats du test de Wilcoxon que nous avons appliqué aux 2 échantillons appariés de valeurs relatives aux mêmes indicateurs de participation correspondant, mesurés dans deux situations d'apprentissage.

Niveau Participation globale des groupes-classes par enseignant		Effectif	Moyenne nb. d'occurrences	Z	P (bilatéral)
A	GCE : Ay	12	6,17	-1,026	0,391
	GCT : Ax	12	10,75		
B	GCE : By	12	17,92	-0,938	0,348
	GCT : Bx	12	15,33		
C	GCE : Cy	12	20,42	-2,199	0,028
	GCT : Cx	12	6,92		
D	GCE : Dy	12	8,42	-1,051	0,293
	GCT : Dx	12	10		
E	GCE : Ey	12	14,75	-0,578	0,563
	GCT : Ex	12	11,67		

Tableau 99. Comparaison des nombres d'occurrences des indicateurs de participation globale du groupe expérimental et du groupe témoin

Les données du tableau 99 indiquent qu'il n'y a pas une différence statistiquement significative entre le niveau de participation du groupe-classe expérimental et celui du groupe-classe témoin sauf pour les groupes-classes de l'enseignant C où la différence est significative ($Z = -2,199$, $p = 0,028 < 0,05$). Cela signifie que les élèves ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope ont participé au cours, concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, autant que les élèves qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. En revanche, dans le cas de l'enseignant C, élèves ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope ont participé beaucoup plus significativement que les élèves qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. Analysons l'effet de la pratique pédagogique de chaque enseignant afin de savoir si elle est plus favorisée dans les groupes-classes expérimentaux que dans les groupes-classes témoins.

6.4.2.3 Analyse de la pratique pédagogique de l'enseignant dans le groupe expérimental et dans le groupe témoin

Il s'agit de vérifier l'hypothèse 6 de notre étude. Elle renvoie à la question suivante :

Question 6.

La pratique pédagogique de l'enseignant dans le groupe-classe expérimental est-elle significativement différente de celle qu'il a pratiquée dans le groupe-classe témoin ?

Nous avons d'abord effectué un test de corrélation entre le niveau de participation globale des élèves, au cours, et le niveau de pratique pédagogique de l'enseignant. Globalement, le test de corrélation a donné, comme résultat, le coefficient de corrélation $r = 0,615$ et $p = 0,058$. Ce résultat indique qu'il existe une corrélation moyenne entre le niveau de participation globale des élèves et le niveau de pratique de la pédagogie de l'apprentissage presque significative ($p = 0,058$). Par ailleurs, le résultat du test de régression ($r^2 = 0,378$) montre que, dans l'échantillon global, environ 38% du niveau de participation des élèves est expliqués par le niveau de pratique de la pédagogie de l'enseignant. Analysons alors les cas du groupe expérimental global et celui du groupe témoin global.

Le tableau 100 présente les niveaux de pratique de la pédagogie des enseignants, en termes de nombre d'occurrences total des indicateurs. Il présente également les résultats du test de Student pour comparer les niveaux de pratique pédagogique dans les deux types de groupe.

Niveau Pratique pédagogique	Effectif	Moyenne nb. d'occurrences	T	P (bilatéral)
Groupe expérimental	5	116,60	1,905	0,093
Groupe témoin	5	83,20		

Tableau 100. Comparaison du nombre total d'occurrences des indicateurs de la pratique pédagogique des enseignants dans le groupe expérimental et le groupe témoin

Les données du tableau 100 montrent qu'il n'y a pas une différence significative entre le niveau de pratique pédagogique des enseignants dans le groupe expérimental et leur niveau de pratique pédagogique dans le groupe témoin. Cela signifie que, globalement, la présence du simulateur d'oscilloscope dans le cours, n'a pas modifié significativement la pratique pédagogique des enseignants. Analysons la situation au niveau des groupes-classes de chaque enseignant.

6.4.2.4 Analyse de la pratique pédagogique de l'enseignant dans le groupe-classe expérimental et dans le groupe-classe témoin de chaque enseignant

Question statistique : Y-a-t'il une différence statistique entre le niveau de pratique pédagogique de l'enseignant dans le groupe-classe de chaque enseignant ?

Nous avons défini la pratique pédagogique de l'enseignant à travers les 5 variables-clés que sont la stimulation cognitive et motivationnelle (SCM) du groupe, la régulation interactive (RI), le renforcement des réponses-élèves (RER), le maintien de l'ordre pour favoriser le climat social (CS), susciter l'implication et l'engagement du groupe dans la tâche (IET). Le tableau 101 donne la moyenne du nombre d'occurrences par indicateur de la pratique pédagogique.

Niveau de pratique pédagogique dans les groupe-classe par enseignant		Nb d'indicateurs	Moyenne nb. d'occurrences	Z	P (bilatéral)
A	GCE : Ay	5	18,80	-0,730	0,435
	GCT : Ax	5	16		
B	GCE : By	5	21,40	-0,447	0,655
	GCT : Bx	5	18,60		
C	GCE : Cy	5	28,20	-1,461	0,144
	GCT : Cx	5	5,40		
D	GCE : Dy	5	21,20	-0,447	0,655
	GCT : Dx	5	23,40		
E	GCE : Ey	5	27	-1,604	0,109
	GCT : Ex	5	17,20		

Tableau 101. Comparaison des nombres d'occurrences des indicateurs de la pratique pédagogique de chaque enseignant dans son groupe expérimental et dans son groupe témoin

D'après les données du tableau 101, il n'y a pas une différence statistiquement significative entre la pratique pédagogique mise en œuvre par chaque enseignant dans son groupe-classe expérimental et celle qu'il a utilisée dans son groupe-classe témoin. Cela signifie

que l'enseignant n'a pas beaucoup changé sa pratique pédagogique malgré l'utilisation du simulateur d'oscilloscope. Cependant, nous pouvons remarquer que le niveau de pratique pédagogique de presque tous les enseignants, excepté le cas de l'enseignant D, dans le groupe-classe où le simulateur d'oscilloscope a été utilisé est un peu plus élevé que dans le groupe-classe n'ayant pas été enseigné avec le simulateur d'oscilloscope.

6.4.3 Effet de l'utilisation didactique du simulateur d'oscilloscope sur l'apprentissage

Dans cette section, nous cherchons à vérifier l'hypothèse 7 de notre étude. Pour ce faire, nous nous intéressons essentiellement à la manière dont les enseignants utilisent le simulateur d'oscilloscope pour faire comprendre les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. Elle renferme des aspects manipulatoires et un discours associé. Il s'agit, notamment, de l'objectif de la manipulation, du lien entre le monde des théories et modèles avec le monde des objets et événements liés aux concepts de fréquence et période, au moment d'utilisation du simulateur d'oscilloscope et, de la durée de son utilisation par l'enseignant. Ainsi, la vérification de l'hypothèse 7 renvoie à la question suivante :

Question 7.

La manière d'utiliser le simulateur d'oscilloscope, par l'enseignant, favorise-t-elle la compréhension des élèves concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?

6.4.3.1 De l'objectif de la manipulation du simulateur d'oscilloscope

Question de recherche : L'enseignant précise-t-il l'objectif pédagogique de la manipulation aux élèves du groupe-classe ?

La notion d'objectif pédagogique vise, selon Lutangu Seleti (2001, p. 1), à formaliser le contrat didactique entre l'enseignant et ses élèves. Le contrat didactique étant, selon G. Brousseau, « l'ensemble des comportements (spécifiques [des connaissances enseignées]) du maître qui sont attendus de l'élève et l'ensemble des comportements de l'élève qui sont attendus du maître » (Sarrazy, 1995, p. 87). Ainsi, en ce qui concerne l'élève, l'objectif pédagogique décrit, ce que l'apprenant est censé réaliser concrètement à l'issue de son apprentissage au cours d'une séquence pédagogique⁵⁶.

Selon les données d'observations (voir tableau 55, p. 303), les enseignants B, C, et D ont indiqué aux élèves l'objectif de la manipulation contrairement aux enseignants A et E. En réalité, ce que nous avons considéré comme objectif de la manipulation n'est autre que des actions à mener. Lorsque l'enseignant aborde une notion, et qu'il veut l'illustrer sur le simulateur d'oscilloscope, il l'annonce aux élèves avant la manipulation. Mais la formulation de l'objectif pédagogique de la manipulation ne transparait pas clairement dans les propos des

⁵⁶ Fiche pédagogique :

https://www.construction21.org/france/community/action/file/download?file_guid=23693

enseignants. Cependant, les élèves ont semblé avoir perçu, globalement, l'objectif pédagogique de la manipulation, au regard des réponses à la question que nous leur avons posée à ce sujet. Par exemple, dans le cas de l'enseignant B, les élèves ont perçu que la manipulation consistait à leur faire comprendre, entre autre, comment l'oscilloscope marche ainsi que les notions de fréquence et de période (voir donnée d'entretien avec les élèves). L'enseignant B a confirmé cet objectif perçu. Les élèves de l'enseignant E ont également eu même la perception.

Il faut noter qu'en ce qui concerne spécifiquement les concepts de fréquence et période, les objectifs n'ont pas été formulés directement. Mais c'est plutôt leur exécution qui est présentée. Ce qui n'est pas de nature à permettre à l'élève de bien fixer la finalité de l'apprentissage visé. Car, comme le dit L. Wittgenstein, cité par Sarrazy (1995, p. 85), « *l'élève reçoit une règle et des exemples, et le maître peut pour sa part dire qu'il veut dire quelque chose qui, bien que non énoncé, est transmis indirectement au moyen des exemples. [...]. C'est une illusion de croire que l'on produirait la signification dans l'esprit de quelqu'un par des moyens indirects, à travers la règle et les exemples.* ». Pour nous, les enseignants n'ont donc pas précisé rigoureusement l'objectif de la manipulation aux élèves.

6.4.3.2 Recours à différents registres sémiotiques des concepts et mise en relation des concepts avec le monde des théories et modèles et le monde physique

- **Registres sémiotiques des concepts de fréquence et période**

Pour Tiberghien & Vince (2005, p. 7), c'est la présentation du concept à travers différents registres sémiotiques, et leur coordination, qui permet de donner du sens à un concept. Cela nous a donc conduits à la question de recherche suivante : *Pendant le déroulement de la leçon, l'enseignant présente-t-il les concepts de fréquence et période selon différents registres sémiotiques ?* Nous avons donc analysé les discours des enseignants et leurs actions de manipulation afin de savoir s'ils ont présenté les concepts de période et fréquence selon plusieurs registres sémiotiques.

- **Cas de l'enseignant A**

L'enseignant A a donné la définition de la période en langue naturelle, et selon le registre graphe et le registre algébrique.

Extraits de discours de l'enseignant A (Annexe B, pp. 88-90, lignes 97-111) :

Extrait 1 (définition en langue naturelle, par A) : « *La période est le temps mis est le temps mis par le phénomène pour faire un « aller-retour ». C'est le temps mis par le phénomène pour faire un « aller-retour ». Alors quand on vous parle « d'aller-retour » on veut dire c'est le temps pour faire une alternance positive qui est l'aller et une alternance négative qui est le retour donc en quelque sorte c'est le temps mis pour faire une alternance positive et une alternance négative* »

Extrait 2 (registre graphe de la période) : « *Alors je vous ai dit que l'écran est subdivisé en petites divisions d'accord ? ... on peut vous donner une échelle. [...]. Par exemple je vous dis qu'une division fait ... 2ms. Alors, j'ai dit tout à l'heure que la période, c'est le temps mis pour faire une alternance positive et une alternance négative. Donc on a là jusque-là. C'est ce*

qui constitue la période. [L'enseignant indique la limite de la période sur le graphe de la tension alternative sinusoïdale]. *Alors si on vous dit qu'une division fait 2ms, alors on va compter le nombre de divisions que la période fait. D'accord ? Ça fait combien de divisions ? »*

Extrait 3 (registre algébrique de la période : « Vous écrivez que [...] la période est égale $T = 1/N$... » (Annexe B, p. 90, ligne 111).

Pour la fréquence, A a donné la définition en langue naturelle et selon le registre algébrique : « ... écrivez que la fréquence [...], C'est le nombre d'aller et retour par seconde. Elle se note N grand N ou petit f ... et s'exprime en Hertz ... Vous écrivez que ... $N=1/T$... ».

○ Cas de l'enseignant B

Pour sa part, l'enseignant B a présenté le concept de période selon deux registres, le registre langue naturelle, et le registre graphe. La présentation en langue naturelle a consisté à donner la définition du concept dans la langue d'enseignement. Nous rapportons ci-dessous ce qu'il a dit : « *La période est le temps que dure une alternance positive suivie d'une alternance négative* » (Annexe B, ligne 365, p. 139). Pour le registre graphe, il a montré graphiquement ce à quoi correspondait la période. Nous présentons, ci-dessous, l'extrait de son discours (Annexe B, lignes 367-377, pp.139-140) : « *Je viens sur mon écran [...]. Vous voyez mon écran là ... Regardez ici [...]. Le temps qui se lit horizontalement ... Donc regardez le curseur ... De là jusqu'à là, ce temps-là, c'est la période. La période se lit horizontalement* ». Ainsi, l'enseignant B a présenté, sur le graphe de la tension alternative sinusoïdale, le segment de droite correspondant à la période, en indiquant le début et à la fin du segment. En ce qui concerne le concept de fréquence, B l'a présenté en langue naturelle et selon le registre algébrique (Annexe B, lignes 377-383, pp. 140-141) : « *La fréquence est le nombre de périodes par seconde.... Elle est égale à l'inverse de la période. Donc pour calculer la fréquence il faut d'abord connaître la période* ». B n'a pas présenté la fréquence graphiquement.

○ Cas de l'enseignant C

L'enseignant C a défini le concept de période en langue naturelle puis sur le graphe de la tension alternative sinusoïdale (Annexe B, pp. 168-169, lignes 203-211) : « *La période est ... le temps minimal pendant lequel le motif élémentaire se reproduit. [...]. Donc, voici un motif élémentaire ... Un autre motif élémentaire ... Donc le temps qui s'écoule entre le motif élémentaire est appelé la ... période.* ». L'enseignant montre sur l'axe horizontal, munie d'une grande règle, la distance qui correspond à la période. Concernant le concept de fréquence, B l'a défini en langue naturelle bien plus tard, longtemps après avoir stoppé la manipulation sur le simulateur d'oscilloscope : « *La fréquence est le nombre de période par seconde.* » (Annexe B, p 182, ligne 541). Il a aussi défini la fréquence selon le registre algébrique, en même temps que la relation qui lie la fréquence et la période : « *La fréquence est notée « N » et est égale à 1 sur « T »* (Annexe B, p. 183, ligne 549). L'enseignant C a abordé le concept de fréquence sans le simulateur d'oscilloscope.

○ Cas de l'enseignant D

L'enseignant D a présenté la définition de la période en langue naturelle (Annexe B, p. 210, ligne 60). Il l'a également fait correspondre graphiquement la période à un certain nombre

de divisions de l'écran de l'oscilloscope. De ce fait, nous admettons qu'il a présenté le concept de période dans un registre graphe tel que le montre l'extrait de discours suivant : « *On a dit tout à l'heure que la période est le temps mis pour effectuer une alternance positive et une alternance négative. Donc, si on veut représenter voici le temps. Ça fait combien de carreaux ?* » L'élève E_{31d} a répondu « *Quatre carreaux* ». Il a aussi indiqué que la période peut être déterminée par le calcul et représentée par une valeur numérique suivie d'une unité légale. Il a donc présenté la période selon le registre algébrique.

Concernant le concept de fréquence, D a donné une définition de la fréquence en langue naturelle comme suit (Annexe B, p. 211, ligne 72) : « *La fréquence c'est le nombre de fois le temps que prend le motif élémentaire pour ce répéter. On dit que la fréquence est le nombre de motif élémentaire par seconde. On dit [aussi] que la fréquence est le nombre de motifs élémentaires par seconde. ..La fréquence est le nombre de périodes effectuées en une seconde....* ». Il a essayé également de faire comprendre graphiquement, la fréquence lorsqu'il montrait en la relation qui lie la période et la fréquence, en ces termes : « *On dit le nombre de motifs élémentaires ... Lorsque la période diminue, le nombre de motifs élémentaires lui, il fait quoi ?* » (p. 211, ligne 78). L'élève E_{11d} répond « *Augmente* ». Pour expliquer graphiquement cette augmentation, voici ce que dit l'enseignant D (p. 211, ligne 80) : « *[...] ok. Voici ce qu'on a appelé période n'est-ce pas ? Si la période diminue et si au lieu d'être-là [il montre la limite de la période sur le graphe], on vient ici. Tout cet espace-là sera occupé par d'autres périodes. OK donc le nombre de motifs élémentaires va augmenter.* ». D a donc précisé indirectement, que graphiquement, la fréquence correspond à plusieurs motifs élémentaires sur le graphe de la tension alternative sinusoïdale. Il a indiqué aussi la relation mathématique permettant de calculer la fréquence. Il a aussi fait savoir, indirectement, que la fréquence peut être représentée par une grandeur numérique suivie d'une unité légale.

Il faut noter, que malgré la présence du simulateur d'oscilloscope, D a fait toutes ces présentations à partir du dessin du graphe de la tension alternative sinusoïdale au tableau, ainsi qu'à partir des fiches photocopiées distribuées aux élèves. C'est après qu'il a essayé d'utiliser le simulateur d'oscilloscope pour vérifier les informations qu'il avait, auparavant, déjà données aux élèves sur la fréquence et la période, comme il le dit lui-même (Annexe B, pp. 214-215, ligne 144) : « *... on va voir tout ce qu'on a dit et chercher à le vérifier avec une manipulation.* »

○ Cas de l'enseignant E

L'enseignant E a, d'abord, défini le concept de période en langue naturelle, en ces termes (Annexe B, p. 238, ligne 90) : « *[...] La période est le temps mis par le spot ... pour décrire une alternance positive ... et une alternance négative consécutives* ». Il l'a, ensuite, fait correspondre à un élément graphique sur la courbe de la tension alternative sinusoïdale qu'il a initialement dessinée au tableau : « *[...] donc à l'aide de notre courbe ici nous allons déterminer la période de cette tension. D'accord ? [...] Déterminons... la période...de cette tension observée. Lorsque'on a défini la période on a dit quoi ? C'est le temps mis par le spot pour décrire ... une alternance positive et une alternance négative consécutives. D'accord ? Donc on part de ce point ... jusqu'à ce point. D'accord ? Donc de ce point jusqu'à ce point, on a combien de divisions ?* » (Annexe B, p. 239, lignes 94-96). Ainsi, nous admettons que E a présenté le concept de période selon le registre graphe. En outre, le fait d'appliquer une

méthode de calcul pour déterminer la période (Annexe B, p. 239-240, lignes 110- 134) montre que l'enseignant a aussi présenté le concept de période dans le registre algébrique.

Concernant la fréquence, l'enseignant E a donné une définition en langue naturelle (Annexe B, p. 240, ligne 140) : « *La fréquence est le nombre de périodes par seconde. La fréquence est le nombre de périodes par seconde C'est aussi l'inverse de la période.* ». Il a également défini la fréquence dans le registre algébrique à partir de la relation liant la fréquence (N) à la période (T), avec $N=1/T$, de la valeur numérique de la fréquence suivie de son unité légale (Annexe B, p. 241, ligne 140).

En résumé, pendant le déroulement de la leçon, tous les enseignants ont présenté, avec ou sans le simulateur d'oscilloscope, les concepts de période et fréquence selon différents registres sémiotiques. De manière générale, la période a été présentée dans le registre langue naturelle, c'est-à-dire dans la langue d'enseignement, et les registres graphe et algébrique. Pour la fréquence, c'est dans les registres langue naturelle et algébrique notamment. Seul l'enseignant D a tenté de présenter la fréquence dans le registre graphe, en termes de nombre de motifs élémentaires de la tension alternative sinusoïdale sur l'axe horizontal, en expliquant le lien entre la période et la fréquence, indépendamment du simulateur d'oscilloscope.

Voyons maintenant si les enseignants ont réussi à faire le lien entre les concepts de fréquence et période avec les événements du monde physique.

- ***Mise en relation des concepts de fréquence et période avec les événements du monde physique***

À propos de la construction du sens des concepts de la physique, nous rapportons la citation suivante, de Christian Buty : « *Nous considérons que c'est la mise en relation des deux mondes qui, pour les élèves, pose le problème essentiel de l'apprentissage de la physique : de nombreuses études ont montré que les élèves pouvaient manipuler des formules traduisant des relations entre grandeurs physiques du modèle sans leur donner aucun correspondant pratique [...]* » (C. Buty, 2003, 43). Et pour Tiberghien et P. Vince (2005, 4), le physicien décrit les situations matérielles en termes d'objets et d'événements de la vie courante, ou en termes de faits expérimentaux. Il est alors important, que l'enseignant permette aux élèves de lier la signification d'un événement ou d'un objet de la vie quotidienne aux concepts de la physique qu'il leur enseigne. Ce qui nous a amené à nous poser la question de recherche suivante : *Pendant la séquence d'enseignement avec le simulateur d'oscilloscope, l'enseignant a-t-il montré aux élèves les événements qui traduisent le sens des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, dans la vie quotidienne, ainsi que celui de la relation qui les lie ?*

Un événement est un fait qui se produit et est généralement visible. Dans le cas de notre étude, le concept de la période a été défini, entre autre, comme étant la durée que met un motif élémentaire pour se répéter. La période est donc un temps, la durée d'un phénomène ou d'un événement qui apparaît et disparaît puis réapparaît et disparaît à nouveau, et ainsi de suite. La durée entre deux apparitions traduirait donc le concept de période. Dans un laboratoire de physique, matériel, le clignotant d'une diode électroluminescente (ou LED), ou le mouvement de va-et-vient ou d'aller-retour de l'aiguille d'un galvanomètre à zéro central aurait fait prendre

facilement conscience de ce fait. Sur un oscilloscope, le phénomène apparition-disparition-réapparition étant modélisé par un motif élémentaire, la période de la tension est représentée par la distance qui sépare les extrémités de début de deux motifs élémentaires consécutifs, c'est-à-dire, le début d'un motif élémentaire et le début du motif élémentaire suivant (c.à.d. l'extrémité de fin du motif élémentaire précédent). Un mouvement de rapprochement ou d'éloignement de ces deux extrémités traduit donc la période de la tension. Ce qui correspond soit à un « aplatissement » du motif élémentaire (rapprochement des extrémités) ou à un « élargissement » du motif élémentaire (éloignement des extrémités). Lorsque le motif élémentaire s'aplatit, on dira que la période est courte (le phénomène est plus rapide), et lorsqu'il s'élargit, on dira que la période est relativement longue (le phénomène est moins rapide). Pour nous, il s'agissait donc de voir si, par la manipulation du simulateur, l'enseignant a invité les élèves à observer ces changements du motif élémentaire de la tension alternative sinusoïdale et, à en prendre conscience, après le leur avoir bien sûr expliqué.

Ainsi, nous nous attendions, par exemple, à une manipulation du simulateur d'oscilloscope accompagnée d'un discours de la part de l'enseignant envers ses élèves, du genre : « *lorsque je « joue » sur le GBF (actions de va-et-vient répétées sur le curseur de la fréquence du GBF (désigné Freq), sans prononcer le mot fréquence), observez bien le motif élémentaire sur la courbe, pour savoir s'il s'aplatit ou s'élargit, et dites-moi si la période augmente ou diminue, et par conséquent si la durée d'apparition-réapparition du phénomène est courte ou longue ?* ». Aucun enseignant n'a tenu un tel discours, avec la manipulation du simulateur au moment où il a abordé l'explication du concept de période.

Le concept de fréquence a été défini comme étant le nombre de motifs élémentaires en 1 seconde. Il s'agissait, pour nous, de voir si l'enseignant, manipulant le simulateur d'oscilloscope, a amené les élèves à observer l'augmentation ou la diminution du nombre de motifs élémentaires de la tension alternative sinusoïdale. Ainsi, plus le nombre de motifs élémentaires est élevé, plus la fréquence est grande (le phénomène apparaît plus fréquemment). Et plus le nombre de motifs élémentaires est bas, plus la fréquence est basse (le phénomène apparaît moins fréquemment). Comme pour la période, nous nous attendions au même genre de discours pour la fréquence. C'est, par exemple, un discours du genre « *si je joue sur le GBF, observez bien la courbe de la tension alternative sinusoïdale, et dites-moi si le nombre de motifs élémentaires augmente ou pas, et par conséquent si la fréquence de la tension est élevée ou basse.* ». Ici non plus, aucun enseignant n'a tenu un tel discours au moment où il a abordé l'explication du concept de fréquence.

En revanche, pour montrer la relation entre la fréquence et la période, les enseignants B, D, et E ont tenté une mise en relation, avec les événements du monde physique, de la relation « période égale à l'inverse de la fréquence ». À ce sujet, nous rapportons, ci-dessous, quelques extraits de l'interaction, que nous avons trouvée très intéressante, de B avec ses élèves (Annexe B, pp. 141-143, lignes 385-411) :

P [383-387] : Je vais vous montrer sur l'écran la relation « P » égale à 1 sur « N » et égale à 1 sur « T ». On va voir l'incident sur le dessin, sur la courbe... Donc lorsque le signal, entre guillemets, est écarté comme ça, ... La période là je l'ai augmentée ou bien je l'ai diminuée ?

E [390] : On a augmenté

P [391] : C'est très bien. On a augmenté la période.... qu'est-ce que la fréquence fait dans ce cas-là ? Elle augmente ou bien elle diminue ?

E [394] : Elle diminue

P [401] : Regardez hein, je vais diminuer la fréquence. Qu'est-ce que le signal fait quand je diminue la fréquence ?

E [402] : Il s'élargit

P [403] : Et il s'élargit ça veut dire que la période fait quoi ?

E [404] : Augmente

P [407] : Maintenant lorsque je ...J'augmente la fréquence, on va voir le comportement du signal. Il fait quoi ?

E [408] : Il s'amincit.

P [409-411] : Voilà. Elle dit il s'amincit, il se resserre. Alors s'il se resserre, la période elle va faire quoi ? Elle va augmenter aussi ... Voilà donc la période et la fréquence sont inverse lune de &

E [412] : l'autre

P [413] : &l'autre.

Concernant les cas des enseignants D et E, le discours et les actions de manipulation ne sont pas bien structurés. Nous renvoyons le lecteur aux extraits de discours de D (Annexe B, pp. 214-215, lignes 144-152), et à ceux du discours de E (Annexe B, pp. 243-245, lignes 205-228). Voyons à présent si les enseignants ont utilisé le simulateur pour pratiquer la démarche d'investigation (POE) par l'expérimentation.

6.4.3.3 Pratique de la démarche POE avec le simulateur d'oscilloscope

Nous nous intéressons spécifiquement à la pratique de la démarche d'investigation concernant la construction du sens des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. Nous rappelons que cette démarche comporte, au sens de Rutten et al. (2015, 1231), une étape de prédiction (de ce qui va se passer si on manipule l'oscilloscope), une étape d'observation (du phénomène par rapport à ce qu'on recherche lorsqu'on manipule), et enfin une étape d'explication (de la cause de ce qu'on a observé). Dans le cadre de notre étude, la pratique de la démarche POE était surtout attendue lors de l'explication de la relation entre la période et la fréquence, parce que c'est à ce niveau que l'utilisation du simulateur pouvait faire véritablement la différence avec celle d'une planche sur support papier. Car en effet la planche est statique, et ne permet donc aucun mouvement, contrairement au simulateur d'oscilloscope qui est dynamique. Il s'agissait, pour nous, de voir, si avant de manipuler le simulateur d'oscilloscope, l'enseignant a demandé aux élèves de prédire, par exemple, le sens d'évolution de la période par rapport à celui de la fréquence, si, pendant qu'il manipulait le simulateur d'oscilloscope, l'enseignant les a invités à observer le vrai sens d'évolution de la

période, indépendamment de leurs suppositions de départ, et enfin s'il leur a demandé d'expliquer ce qu'ils ont observé.

Seuls les enseignants B et E ont pratiqué la démarche d'investigation POE, avec leurs élèves, pour montrer la relation qui lie la période et la fréquence. Concernant l'enseignant B, le lecteur est invité à relire les extraits de discours que nous avons rapportés précédemment pour la mise en relation des concepts de fréquence et période avec les événements du monde physique. Concernant l'enseignant E, le lecteur pourra se reporter à l'annexe B, pages 244-245, tours de parole (ou lignes) P [206] à E [225]. Cependant, la démarche est moins bien conduite que dans le cas de l'enseignant B.

Au regard de ce qui précède, hormis l'enseignant B, et dans une moindre mesure l'enseignant E, dans leur majorité, les enseignants n'ont pas pratiqué la démarche d'investigation avec le simulateur d'oscilloscope qui, pourtant, leur en offrait une belle opportunité.

6.4.3.4 Moment et durée d'utilisation du simulateur d'oscilloscope

Le moment d'utilisation des simulations informatiques et la durée de leur utilisation pendant la construction de sens des concepts ont été identifiés, par certains auteurs, comme des facteurs pouvant favoriser ou non leur impact positif sur l'apprentissage en physique.

- **Concernant le moment d'utilisation du simulateur d'oscilloscope**

Selon Spodniakovà Pfefferová (2015, p. 281), il faut utiliser les simulations au moment où cela est nécessaire afin qu'elles soient efficaces : « *simulations must be used in the phase of the learning process they are necessarily a part of [...]* ». Nous nous sommes alors posé la question de recherche suivante : *L'enseignant utilise-t-il le simulateur d'oscilloscope, dans le déroulement de la leçon, à un moment favorisant la compréhension des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?* Il s'agissait donc, pour nous de savoir à quel moment l'enseignant a utilisé le simulateur d'oscilloscope pour aborder la construction du sens du concept de période et la construction du sens du concept de fréquence, ainsi que celle de la relation qui lie les deux concepts.

Nous rappelons que notre étude est exploratoire, vu que nous n'avons trouvé aucune référence sur la manière, pour un enseignant, d'intégrer les simulations informatiques dans le déroulement d'une séquence de cours de physique dans un contexte naturel, en classe entière. Nous avons donc laissé libre court à chaque enseignant de l'utiliser comme bon lui semblait afin de voir si la manière de faire de l'enseignant est favorable à la compréhension des concepts de fréquence et période de la tension.

Cas de l'enseignant A

Après l'administration du pré-test, nous avons observé que (Annexe B, pp 84-86) :

1. L'enseignant fait le point des connaissances des élèves, en lien avec le contenu du pré-test : « *On vient de faire un petit test tout à l'heure. ... Qu'est-ce que vous avez trouvé nouveau ? Qu'est-ce qui vous paraît un peu difficile ?* » Un élève répond : « *tout est nouveau.* » (lignes 16-17).

2. L'enseignant annonce la leçon, met le titre au tableau et le fait prendre aux élèves (ligne 42). Puis, il distribue, aux élèves, la situation d'apprentissage sur de petites fiches photocopiées (lignes 42-44).
3. L'enseignant fait lire et exploiter la situation d'apprentissage (lignes 46-63).
4. L'enseignant annonce la première activité : « ... *donc la première activité que nous allons mener est celle-là, la visualisation d'une tension alternative sinusoïdale* », et annonce aussi l'expérience à réaliser (ligne 64).
5. L'enseignant manipule l'oscilloscope pour afficher le graphe de la tension alternative sinusoïdale, puis invite les élèves à décrire ce qu'ils observent sur l'écran de l'oscilloscope (lignes 64-75).

Après avoir affiché la courbe de la tension alternative sinusoïdale, la description faite par les élèves, la présentation de l'écran par l'enseignant, de celle des alternances positives et négatives de la courbe, l'enseignant aborde la notion de période en dictant d'abord sa définition aux élèves. Puis, à l'aide d'une grande règle à la main, il tente d'expliquer la période sur la courbe de la tension, sans grande précision. Il dicte également la définition de la fréquence, ainsi que la relation entre les deux concepts, et écrit la formule au tableau. L'utilisation du simulateur d'oscilloscope par l'enseignant s'est donc résumée en des allers-retours entre l'image du simulateur d'oscilloscope et sa fiche de préparation. Ce qui fait que l'écran de l'ordinateur est passé en mode veille, au moins 4 fois.

Dans le déroulement de la séquence de cours, l'enseignant A a donc commencé à utiliser le simulateur d'oscilloscope, en premier lieu, pour visualiser la tension alternative sinusoïdale. La visualisation d'une tension alternative sinusoïdale est la première habileté à installer chez les élèves, selon le programme officiel de la classe. Il aborde ensuite les notions de période et de fréquence, et la relation qui les lie, sans véritablement exploiter le simulateur d'oscilloscope. Il a donc utilisé le simulateur d'oscilloscope exactement comme une planche sur support papier. Sa démarche entrevoyait pourtant qu'il utilise le simulateur d'oscilloscope au moment où il abordait chaque concept. Sa manière d'utiliser le simulateur d'oscilloscope n'est pas donc pas favorable à la construction du sens des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale.

Cas de l'enseignant B

Pendant le déroulement de la séquence de cours, nous avons observé que (Annexe B, pp. 119-143) :

1. L'enseignant vérifie, en sollicitant constamment les élèves, leurs connaissances antérieures sur les constituants d'un circuit électrique, et la notion de tension électrique (lignes 1-60).
2. L'enseignant annonce le titre de la leçon et le fait noter aux élèves (ligne 60).
3. L'enseignant présente l'oscilloscope à partir des fiches distribuées aux élèves ainsi que son fonctionnement (lignes 60-86).
4. L'enseignant aborde la notion de la tension continue, en dictant la définition aux élèves, les invite à découper le schéma de l'oscilloscope et à les coller dans le cahier de cours. (lignes 88-98).
5. L'enseignant commence l'utilisation du simulateur d'oscilloscope à partir de la présentation de celui-ci aux élèves (lignes 105-109).
6. L'enseignant aborde la présentation de la tension continue sur le simulateur d'oscilloscope (lignes 111-303), de 18 :41 à 34 :54 soit pendant 16 min 16 s.

7. L'enseignant annonce le passage à la tension alternative sinusoïdale puis en donne la définition (lignes 307-316).
8. L'enseignant commence la manipulation du simulateur d'oscilloscope concernant la tension alternative sinusoïdale (lignes 317-352), de 39 :30 à 44 :29 soit pendant 4 min 59 s.
9. L'enseignant annonce les caractéristiques de la tension alternative sinusoïdale aux élèves et leur fait prendre note (lignes 353-357).
10. L'enseignant aborde la construction du sens des notions de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale ainsi que la relation qui lie les deux concepts, à l'aide du simulateur d'oscilloscope (lignes 361-413), de 47 :51 à 59 :42 soit pendant 11 min 51 s).
11. L'enseignant continue d'utiliser le simulateur d'oscilloscope pour la construction du sens des autres caractéristiques de la tension, comme le demande le programme officiel de la classe.

Comme nous pouvons le constater, l'enseignant B alterne l'utilisation du simulateur d'oscilloscope avec celle du tableau à craie. Chaque fois que l'enseignant B aborde une notion nécessitant l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, il l'utilise. Pendant cette utilisation, l'enseignant profite, parfois pour montrer le fonctionnement du simulateur d'oscilloscope à travers des manipulations de réglage. Le moment où B utilise le simulateur d'oscilloscope pour faire construire le sens des concepts de période et fréquence est donc favorable à la compréhension de ces concepts.

Cas de l'enseignant C

Pendant le déroulement de la séquence de cours de l'enseignant C, nous avons observé que (Annexe B, pp 160-172, ligne 1-286) :

1. Après avoir distribué la situation d'apprentissage sur de petites fiches aux élèves, l'enseignant procède à son exploitation avec eux, puis annonce la première activité de la leçon : la visualisation de la tension alternative sinusoïdale, première habileté à installer en vertu du le programme officiel de la classe (lignes 1-28).
2. L'enseignant annonce la première activité de la leçon : « *Donc sachant que vous êtes curieuses aussi comme Irène, on va essayer aussi de visualiser la tension ... aux bornes d'un générateur à l'oscilloscope.* » (ligne 28, p. 160). Il annonce aussi la présentation de l'appareil de la visualisation d'une tension alternative sinusoïdale : l'oscilloscope.
3. L'enseignant procède alors, à la présentation du simulateur d'oscilloscope en le manipulant. Ainsi, il présente la courbe affichée de la tension, le spot, l'écran et ses divisions, les boutons de réglage, les calibres, le générateur de basses fréquences (GBF), etc. (lignes 30-86, pp. 160-163), de 02 :04 à 09 :05 soit pendant 7 min environ.
4. L'enseignant aborde, avec la participation des élèves, la notion de tension continue en utilisant le simulateur d'oscilloscope. (Lignes 86-152, pp. 163-165), de 09 :05 à 13 :52 soit pendant 4 min 47 s.
5. L'enseignant aborde la notion de tension alternative sinusoïdale (lignes 153-203, pp. 165-168), de 13 :57 à 19 :20 soit pendant 5 min 4 s.
6. L'enseignant s'intéresse maintenant à la période. (Lignes 203-211, p. 168, de 19 :52-20 :19, soit moins d'une minute). Donne sa définition, puis l'indique sur un motif élémentaire, sur l'image de la courbe de la tension projetée sur l'écran. Ne fait pas cas de la fréquence.
7. L'enseignant continue de manipuler le simulateur d'oscilloscope jusqu'à la prise des cahiers de leçons par les élèves (ligne 286, p. 172).

Le déroulement de la séquence de cours de l'enseignant C montre que l'enseignant a utilisé longuement le simulateur d'oscilloscope avec ses élèves avant de passer à la trace écrite de leçon dans le cahier de cours, contrairement à A et B qui faisaient prendre, aux élèves, la trace écrite au fur et à mesure. C a abordé le concept de période à un moment où les élèves étaient déjà bien préparés à comprendre cette notion, puisque C a bien expliqué le concept de motif élémentaire à l'aide du simulateur, en invitant même les élèves au tableau pour le montrer sur l'image projetée de la courbe de la tension alternative sinusoïdale. Elle leur a aussi montré, avec la participation active de ces derniers, les notions de calibres, de divisions en termes de graduations, et comment calculer les valeurs correspondant à un certain nombre de divisions de l'écran de l'oscilloscope, etc. Certes, le moment était propice pour mieux faire construire le sens des concepts de période et fréquence, mais l'enseignant n'a pas profité, craignant certainement ne pouvoir rien faire noter dans les cahiers de cours, en raison du temps imparti à la leçon. Il faut rappeler que pour justifier sa démarche, l'enseignant a expliqué qu'en faisant d'abord l'expérience, c'était aux élèves de produire la trace écrite de la leçon. Cela, selon lui, avait l'avantage de rendre le processus d'apprentissage plus actif grâce à l'interaction questions-réponses avec l'enseignant.

Cas de l'enseignant D et de l'enseignant E

Les enseignants D et E ont fait tout le cours sans le simulateur d'oscilloscope (Annexe B, pp 215-216, et pp. 243-248). Pour ce faire, ils ont utilisé des photocopies d'écrans d'oscilloscope, de graphe d'une tension alternative sinusoïdale, etc. Ils ont utilisé le simulateur d'oscilloscope à titre d'illustration. Au moment où ils abordaient la construction du sens des concepts de période et fréquence, avec le simulateur d'oscilloscope, les élèves n'avaient certainement plus rien à découvrir. Le moment où D et E ont eu recours au simulateur d'oscilloscope n'est pas de nature à favoriser la construction, par les élèves, du sens des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale. En effet, comme le dit Pacurar, se référant à Jonassen, « *l'apprentissage est favorisé quand les élèves découvrent le contenu du domaine à travers la résolution de problèmes [ou à travers l'expérimentation] plutôt que d'apprendre d'abord la théorie et ensuite résoudre des problèmes en application du cours [ou de réaliser ensuite l'expérimentation].* » (Pacurar et al., 2004, p. 4).

Voyons à présent le temps que chaque enseignant a accordé à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, pendant le processus enseignement-apprentissage.

- ***Concernant la durée d'utilisation du simulateur d'oscilloscope***

La durée d'utilisation des simulations informatiques permet aux élèves de prendre le temps ou non d'assimiler les éléments de savoir qui leur sont enseignés, et ainsi de comprendre les concepts étudiés. Il apparaît dans certains écrits, que les durées relativement longues favorisent l'apprentissage. Cela nous a donc conduits à nous poser la question suivante : *L'enseignant utilise-t-il le simulateur d'oscilloscope pendant un temps suffisamment long pour permettre aux élèves de réagir et mieux comprendre les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?* Ainsi, concernant la construction du sens des concepts de

période et fréquence, nous avons cherché à savoir si l'enseignant a utilisé le simulateur pendant un temps suffisant.

Au regard de l'utilisation que **l'enseignant A** a fait du simulateur d'oscilloscope, nous pouvons dire qu'il n'y a pas eu de temps d'utilisation du simulateur pour la construction du sens des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale. La durée d'utilisation correspond juste au temps d'affichage du graphe de la tension.

L'enseignant B utilise activement le simulateur d'oscilloscope, depuis la présentation des fonctionnalités de ce simulateur d'oscilloscope jusqu'à la construction du sens des concepts de fréquence et période, pendant 33 min 6 s, dont 12 min environ concernant spécifiquement la construction du sens des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. Au total, B a utilisé le simulateur pendant 43 min 53s pour l'ensemble de la séquence (Annexe B, pp. 125-143, lignes P[105] à P[421]). Pour un cours de 64 min 44 s, ce sont donc, environ 68% du temps de la séquence que B a consacré à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, en interaction constante avec ses élèves, dont 20% environ sur les concepts de fréquence et période. Le temps que l'enseignant B a accordé à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope est donc de nature à favoriser la construction du sens des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale.

L'enseignant C a consacré un temps suffisant à la manipulation du simulateur d'oscilloscope avant de faire retirer l'écran de projection, puis de demander aux élèves de prendre leur cahier de cours. Du début de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope à la prise des cahiers de cours, c'est-à-dire, de la ligne P [30] à la ligne P [286] (Annexe B, pp. 160-172), (instant 02 :04 à instant 26 :18), ce sont donc près de 24 min 14 s, dont 17 min concernant la tension alternative sinusoïdale, que l'enseignant C a accordé à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope. La durée accordée à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope était donc favorable à la construction du sens des deux concepts à l'étude.

L'enseignant D a passé, en tout et pour tout, 6 min 52 s, sur le simulateur d'oscilloscope (Annexe B, pp. 215-216, lignes P4 [145] à P4 [165]). Selon D, « *c'est pour [...] montrer un peu [aux élèves] avec l'oscillo comment se comporte la tension alternative sinusoïdale notamment la période et la fréquence, et comment évoluent la période et la fréquence.* » (D, Annexe B, p. 216, ligne P4 [165]). Cette durée n'est pas suffisante pour utiliser le potentiel du simulateur d'oscilloscope. Le temps d'utilisation du simulateur d'oscilloscope, par l'enseignant D, est donc défavorable pour la construction du sens des concepts de période et fréquence d'une tension sinusoïdale.

L'enseignant E a eu à utiliser le simulateur pendant 18 min 42 s pour illustrer les éléments de savoir concernant la leçon sur les caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale : présentation des fonctionnalités du simulateur d'oscilloscope (écran, boutons, etc.), le graphe de la tension alternative sinusoïdale, la période, la fréquence, la tension maximale, etc. Cette durée nous semble insuffisante pour l'ensemble des notions abordées. Ce qui fait que l'utilisation du simulateur d'oscilloscope spécifiquement pour la construction du sens des concepts de période et fréquence ne nous pas parue bien structurée. Plusieurs autres notions ayant été abordées également dans le même laps de temps.

Il ressort de ce qui précède que seuls les enseignants B et C ont utilisé le simulateur d'oscilloscope à un moment favorable à la construction du sens des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale, et pendant des durées relativement suffisantes, contrairement aux enseignants A, D et E. Voyons maintenant si les conditions dans lesquelles les séquences se sont déroulées étaient favorables à la construction du sens des concepts étudiés.

6.5 Présentation des résultats concernant les perceptions des élèves et des enseignants sur les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope et sur son rôle dans l'apprentissage

6.5.1 Conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope

Il s'agit de vérifier l'hypothèse 8 de notre étude. Elle renvoie à la question suivante :

Question 8.

Les conditions dans lesquelles le simulateur d'oscilloscope est utilisé, par l'enseignant, favorisent-elles le déroulement du cours et la compréhension des élèves concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?

Nous nous sommes intéressés à l'intensité de la chaleur dans la classe, au bruit, à la place des élèves et de l'enseignant, et à la qualité de la projection. Cependant, nous présentons également d'autres conditions d'utilisation qui nous sont apparues au cours de l'expérimentation, telles que l'utilisation alternée du tableau avec le simulateur d'oscilloscope et l'influence directe de l'environnement extérieur.

6.5.1.1 Chaleur et bruit dans le groupe-classe

Les données du questionnaire d'enquête que nous avons administré aux élèves du groupe expérimental, dans son ensemble, nous ont révélé, sur 297 élèves, que la majorité d'entre eux ont trouvé que le bruit (53,2%) et la chaleur (60,3%) n'étaient pas assez forts au point de gêner le bon déroulement du cours. Cependant, le nombre d'élèves qui ne se sont pas prononcés en faveur de l'effet non gênant du bruit et de la chaleur n'est pas négligeable. Ce sont près de 47% pour le bruit et 40% pour la chaleur. Au niveau des groupes-classes, les tendances sont les mêmes, qu'il s'agisse de ceux qui sont en faveur ou de ceux qui sont contre l'effet du bruit ou de la chaleur. Concernant le bruit, par exemple, plus de la moitié des élèves du groupe-classe expérimental de l'enseignant C, environ 54%, ne se sont pas prononcés en faveur de son effet non gênant. Dans chaque groupe-classe, plus de 40% des élèves ne se sont pas déclarés pas en faveur de l'effet non gênant de la chaleur.

Ces résultats ont été confirmés, par exemple, par les élèves de l'enseignant B lors de l'entretien de groupe que nous avons eu avec eux. Cet entretien a révélé que les grands rideaux que nous avons confectionnés et placés pour amoindrir éventuellement l'effet de la lumière du jour, dans le cadre de la projection vidéo, ont, semble-il, empêché l'air de circuler et augmenté la chaleur dans la classe.

Au total, les conditions de chaleur et de bruit ont donc été moyennement favorables.

6.5.1.2 Place de l'enseignant et places des élèves

Concernant la place des enseignants, les données de l'observation directe ont montré que sur les 5 enseignants, 2 étaient assis, dos tournés à l'écran de projection, et 3 étaient assis sur le côté, perpendiculairement à la direction de l'écran de projection. Les enseignants A, D et E étaient assis sur le côté (voir images Annexe B, pp. 83, 204, 234). Cette position permettait à l'enseignant de voir l'image projetée sur écran pendant qu'il manipulait le simulateur d'oscilloscope sur l'ordinateur. La position idéale était d'être en face de l'écran de projection. Cependant, placé sur le côté, l'enseignant pouvait voir et exploiter l'image du simulateur d'oscilloscope avec ses élèves pendant la manipulation. Cette position n'était donc pas défavorable à l'utilisation du simulateur dans la classe.

En revanche, les enseignants B et C étaient assis, dos tournés à l'écran de projection (voir images Annexe B, pp. 118, 158). Dans cette position, l'enseignant manipule sans voir directement ce qui se passe sur l'écran de projection. Il est obligé de suspendre la manipulation, pour se retourner vers l'écran de projection afin de voir l'image projetée du simulateur et interagir avec les élèves, contrairement au cas de A, D et E où l'enseignant n'avait juste qu'à lever la tête pour regarder l'écran de projection pendant la manipulation. D'ailleurs, il nous a été donné de constater qu'au début de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, l'enseignant B avait le regard fixé sur l'écran de l'ordinateur pendant qu'il demandait aux élèves d'observer ce qui se passait sur l'écran de projection. Les élèves ne pouvaient pas répondre à la question puisqu'ils ne voyaient rien car l'écran était sombre, parce que l'enseignant n'avait pas mis le simulateur d'oscilloscope en marche en appuyant sur le bouton « Marche » du simulateur. Ce qui permettrait de rendre lumineux l'écran du simulateur d'oscilloscope. Il s'en est rendu compte plus tard et a mis le simulateur d'oscilloscope sous tension. La position des enseignants B et C n'était donc pas favorable à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope.

Concernant les places des élèves, nous avons noté que, dans l'ensemble des groupes expérimentaux, la plupart des élèves étaient installés à deux par table-banc. Cependant quelques-uns étaient assis à 3 sur le table-banc. C'était le cas dans la classe de B, en raison de la dimension réduite de la salle par rapport à l'effectif des élèves, au nombre de 76. La massification des élèves était telle que le l'enseignant avait du mal à circuler entre les rangées. Mais nous y avons aussi fait déplacer deux élèves afin de pouvoir placer le vidéoprojecteur sur un support vertical réglable. Ces deux élèves de B ont dû compléter à 3 d'autres élèves sur leur table-banc. Dans la classe de C, les élèves étaient assis à 2 sur leur table-banc. Les rangées entre les tables-bancs ont semblées spacieuses pour permettre à 'enseignant de circuler librement. Dans les cas des enseignants A, D et E, les salles étaient grandes, avec des rangées spacieuses. Leurs effectifs respectifs, étaient 43, 58, et 68. Malgré un effectif relativement inférieur à d'autres, des élèves de D étaient assis à 3.

En raison du nombre élevé d'élèves dans les classes, certains élèves étaient très éloignés de l'écran de projection, d'autres moins éloignés de l'écran de projection, et d'autres encore étaient ni éloignés ni proches de l'écran de projection, ou au centre et sur les côtés gauche et droit. Ainsi, il est fort probable que les conditions assises ne soit favorables à certains élèves,

lors de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, à moins que le réglage du vidéoprojecteur soit tel que la taille et la clarté de l'image projetée permettent à tous et à chacun de bien voir ce qui se déroule sur l'écran de projection.

6.5.1.3 Intensité de la lumière et qualité de la projection vidéo

Pour la majorité des élèves du groupe expérimental global comme ceux des groupes-classes, l'intensité de la lumière du jour n'était pas assez forte, selon les données du questionnaire d'enquête. Pour la majorité des élèves, cette intensité ne gênait pas la visibilité de l'image projetée du simulateur d'oscilloscope sur l'écran de projection accroché sur le tableau à craie. Beaucoup parmi eux ont même estimé que l'image projetée du simulateur était nette. Ainsi, sur le simulateur d'oscilloscope, les objets symbolisés (boutons, curseurs, écran, ...) étaient reconnaissables et leur rôle compréhensible. Cependant, ils ont été également nombreux (plus de 40%, voire 50% dans le groupe-classe de l'enseignant A) à ne s'être pas déclarés en faveur d'un effet non gênant de la lumière. Cette tendance est la même pour la visibilité de l'image ainsi que pour la qualité de l'image projetée. L'entretien semi-directif réalisé, par exemple, avec les élèves de l'enseignant B, ont effectivement mis en évidence des réponses-élèves contradictoires dans la classe. Certains élèves ont déclaré bien voir, d'autres ne pas bien voir. Cela dépendait de la place de l'élève. Ceux qui ont déclaré bien voir étaient moins éloignés de l'écran de projection que ceux qui ont affirmé ne pas bien voir, parce que, pour eux, l'image serait floue. De plus, à propos de la lumière, un élève a même répondu que c'est parce que l'intensité de la lumière était forte dans la classe que l'image n'était pas bien visible. Les réponses étaient donc mitigées. Cependant, ceux qui se prononcés en faveur d'une lumière, d'une visibilité et d'une qualité d'image acceptables étaient en nombre supérieur. Les conditions de lumière, de visibilité et la qualité de l'image projetée ont donc été moyennement favorables. Elles méritent d'être améliorées.

6.5.1.4 Utilité et utilisabilité du simulateur d'oscilloscope

Selon les données du questionnaire d'enquête, seulement 49,8% se sont déclarés en faveur de l'utilité du simulateur d'oscilloscope contre 50,2% qui ne se sont pas déclarés, soit en n'ayant rien dit, soit ayant été contre. Dans les groupes-classes expérimentaux des enseignants A, D et E, moins de 50% des élèves se déclarés en faveur de l'utilité du simulateur d'oscilloscope. Ils estiment que le simulateur l'oscilloscope leur a permis d'apprendre effectivement ce que l'enseignant vous leur faire apprendre sur les concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale. Pour eux, le simulateur d'oscilloscope a donc été utile. Il leur a aussi semblé facile à manipuler, et convenir à eux tous pour l'enseignement-apprentissage de ces concepts. Ils trouvent que le simulateur utilisé est donc effectivement utilisable pour la construction de sens concernant ces deux concepts. Pour les enseignants B et C, les élèves ont été plus nombreux à trouver que le simulateur d'oscilloscope a été utile pour l'apprentissage des concepts de période et fréquence. Les échanges réalisés avec les élèves dans les groupes-classes expérimentaux des enseignants B et E, ont mis en évidence des déclarations similaires. Ces résultats sont conformes à ceux relatifs à l'utilisation didactique du simulateur d'oscilloscope, par les enseignants concernant la construction du sens de ces deux concepts. En

effet, sur la question de l'utilisation, les résultats ont montré que les enseignants A, D, et C n'avaient pas utilisé le simulateur d'oscilloscope comme il le fallait contrairement aux enseignants B et C.

L'analyse que nous venons de faire ci-dessous montre que l'appréciation de l'utilité du simulateur est liée à la précision de l'utilisation qu'en a fait l'enseignant. Ce qui suggère une formation appropriée à l'utilisation de ce type d'aide didactique aux enseignants.

6.5.1.5 Autres conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope

Il s'agit des conditions concernant le moment d'utilisation du simulateur d'oscilloscope, de l'effet perturbateur de la caméra et de la présence du chercheur, du comportement des élèves n'appartenant pas au groupe-classe, en termes d'ingérence dans le cours, et enfin des conditions de mise en place du simulateur d'oscilloscope.

- *Moment d'utilisation du simulateur d'oscilloscope*

Trois moments d'utilisation du simulateur d'oscilloscope sont apparus pendant l'expérimentation. Ces trois stratégies d'intégration du simulateur d'oscilloscope dans la pratique enseignante, auxquelles nous ne nous attendions pas du tout, sont : l'utilisation du simulateur d'oscilloscope en alternance avec le tableau à craie, comme dans un processus normal d'enseignement traditionnel, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope avant toute trace écrite au tableau, et l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, carrément, après avoir fait le cours pour lequel il était nécessaire.

Les établissements d'enseignement secondaires dans lesquels nous avons mené notre recherche, datent, pour deux d'entre eux, du lendemain de l'accession du pays à l'indépendance, en 1960, voire avant. Ils ont été réhabilités. Les deux autres établissements sont plus récents. Mais aucun d'entre eux n'a été construits en ayant prévu l'utilisation de la technologie comme outil d'enseignement, quelques années plus tard. Ils ne disposent donc pas d'écran de projection ni d'un emplacement prévu pour cela, pas d'emplacement du vidéoprojecteur, parfois même pas de prises électriques fonctionnelles. Nous avons donc constitué un kit de matériel d'expérimentation dont un écran de projection mobile, que nous déplaçons d'un établissement à un autre, d'une classe à une autre. À la demande de l'enseignant, l'écran de projection est accroché au tableau.

Nous avons observé que les enseignants A et B ont utilisé le simulateur d'oscilloscope de manière alternée avec le tableau à craie, entre prise de la trace écrite de la leçon (titre, sous-titres, définitions, ...) et expérience sur le simulateur d'oscilloscope, par la manipulation. Cette stratégie offre l'avantage de permettre à l'enseignant d'aborder la construction du sens du concept au moment même où cela est nécessaire. En revanche, l'inconvénient est que l'écran de projection occupe une bonne partie du tableau à craie. Ce qui ne permet pas à l'enseignant de disposer d'espace suffisant pour bien présenter la trace écrite au tableau, de manière structurée, comme nous pouvons le voir dans le cas des enseignants A et B (voir images, Annexe B, pp. 83, 118).

L'enseignant C a, quant à lui, utilisé le simulateur d'oscilloscope avant toute trace écrite sur le tableau à craie. L'enseignant a fait les expériences qui lui semblaient nécessaires à la compréhension du cours. Ensuite, il a fait retirer l'écran de projection pour (re)faire construire le sens des concepts de période et fréquence, avec une implication active des élèves dans cette (re)construction du sens des concepts. Cette stratégie a l'avantage de focaliser l'attention des élèves sur l'utilisation du simulateur et les concepts étudiés. Elle permet aux élèves d'être véritablement acteurs de la (re)construction du sens des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale. Elle permet aussi de disposer de tout l'espace du tableau pour la trace-écrite. L'inconvénient est que si l'enseignant ne dispose pas d'un scénario pédagogique bien élaboré et une maîtrise dans l'utilisation du simulateur, il risque d'être confronté à un problème de timing avant de passer à la trace écrite au tableau.

Les enseignants D et E ont utilisé le simulateur d'oscilloscope, carrément, après avoir fait tout le cours. Ils ont utilisé le simulateur d'oscilloscope uniquement pour illustrer les informations du cours fait précédemment. Cette stratégie d'intégration nous paraît peu productive car elle enlève à l'apprentissage tout son caractère de découverte, un facteur important de l'engagement de l'élève dans l'apprentissage.

Au regard de ce qui précède, le schéma favorable de l'intégration du simulateur d'oscilloscope dans la pratique de l'enseignant, dans un contexte similaire au nôtre, nous semble donc être celui de l'enseignants C avec un scénario pédagogique efficace.

- *De l'effet perturbateur de la caméra et de la présence du chercheur*

L'entretien que nous avons réalisé, avec les élèves du groupe-classe expérimental de l'enseignant B, a révélé que la présence de la caméra et celle de l'équipe de la recherche pouvaient gêner l'attention et concentration des élèves envers l'apprentissage visé. Cette situation est compréhensible parce qu'elle était nouvelle pour les élèves, car selon le contexte de notre recherche, la leçon de notre étude de cas devrait se dérouler en seule séquence de cours. Les élèves n'avaient donc pas été préparés à cela. Il aurait fallu, avant l'expérimentation, les habituer à notre présence et à celle des caméras pendant un temps assez long, de sorte que cette présence devienne routinière pour que les élèves n'y fassent plus attention.

- *Du comportement des élèves extérieurs à la classe*

Des élèves du groupe-classe expérimental de l'enseignant B nous ont appris, lors de l'entretien que nous avons réalisé avec eux, qu'elles n'ont pas pu bien suivre le cours parce que, dehors des filles qui ne sont pas de la classe, parlaient à travers les claustras de la classe à propos du filmage qui s'y déroulait. Elles ont même écarté les rideaux de fortune que nous avons installés pour assombrir un peu plus l'intérieur de la classe, afin de voir ce que faisait l'enseignant. Ce comportement de la part de ces élèves extérieurs à la classe, n'est pas de nature à favoriser le processus d'enseignement – apprentissage comme nous l'avons déjà fait remarquer. Il faut donc prendre des dispositions pour que, en pareille circonstance, personne ne vienne perturber les élèves pendant le déroulement de la séquence d'enseignement vidéo-projetée.

- *Des difficultés d'installation du dispositif d'expérimentation*

Nous avons rencontré quelques difficultés dans la mise en place du matériel d'expérimentation dans certaines classes. Par exemple, dans le groupe-classe expérimental de l'enseignant D, il n'y avait pas de prises électriques fonctionnelles. Nous avons dû trouver une prise d'électricité à l'extérieur de la salle de classe, à 6 ou 7 mètres dans la boyerie occupée par le vigile de l'établissement. C'est de là que nous avons pu finalement alimenter, à l'aide de très longues rallonges, une multiprise électrique que nous avons prévue pour l'alimentation de l'ordinateur et du vidéoprojecteur. La recherche et la réalisation de cette solution nous a pris beaucoup de temps avant de commencer la séquence de cours sur les caractéristiques de la tension alternative sinusoïdale (période, fréquence, tension maximale, temps efficace) avec le simulateur d'oscilloscope. Nous avons eu aussi un peu de mal à installer le vidéoprojecteur dans les classes des enseignants B et C en raison de la massification des élèves. Nous avons dû déplacer des élèves afin de placer le vidéoprojecteur et le centrer par rapport au tableau sur lequel était accroché l'écran de projection. Dans un contexte naturel, ces situations ne favorisent pas la mise en œuvre du simulateur d'oscilloscope et impactent négativement sur la durée du processus enseignement-apprentissage.

Au regard de tout ce qui précède, nous pouvons retenir que, globalement l'étude a montré que, pour favoriser le processus enseignement-apprentissage des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale, utilisant un simulateur d'oscilloscope, dans un contexte naturel comme celui de la présente recherche, il faut que : la salle de classe dispose de prises électriques fonctionnelles, le dispositif techno-pédagogique (vidéoprojecteur, écran de projection, port de connexion de l'ordinateur sur le poste de l'enseignant, ...) soit préalablement installé, le poste de l'enseignant positionné de telle sorte que l'enseignant puisse avoir une vue directe sur l'écran de projection lors de la manipulation du simulateur d'oscilloscope, le vidéoprojecteur placé à une distance appropriée et réglé de sorte que l'image du simulateur d'oscilloscope, projetée sur l'écran de projection situé au niveau du tableau à craie, soit claire et bien vue, tant par les élèves assis devant, au milieu, que ceux assis dans le fond et sur les côtés de la classe, un environnement moins chaud et moins bruyant, avec une lumière de jour moins forte et un contrôle des intrusions extérieures pouvant gêner certains élèves pendant le processus d'enseignement-apprentissage. Il faut également que l'enseignant soit bien formé à une utilisation efficace du simulateur d'oscilloscope, l'intégrant dans sa pratique pédagogique en deux temps. Cette intégration consistera en premier lieu, pour l'enseignant, à aborder, à travers la manipulation du simulateur d'oscilloscope, la construction du sens des concepts à l'étude, sans trace écrite au tableau, afin d'accorder un temps suffisant à l'utilisation du simulateur et d'assimilation des notions aux élèves. Dans le deuxième temps, il s'agira, pour l'enseignant d'amener les élèves à restituer les éléments de savoir acquis, dans une interaction dynamique, et socioconstructiviste, pour en garder une trace écrite. Pour la réussite de l'apprentissage, l'enseignant devra expliquer clairement sa démarche aux élèves, l'objectif de chaque phase et ce qui est précisément attendu d'eux.

Voyons à présent les perceptions des élèves et enseignants concernant les effets cognitifs de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope lors du processus d'enseignement-apprentissage de ces deux concepts.

6.5.2 Effets cognitifs du simulateur d'oscilloscope dans l'apprentissage des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale

Il s'agit de vérifier l'hypothèse 9 de notre recherche. Cette hypothèse renvoie à la question suivante:

Question 9.

Quelles sont perceptions des élèves et des enseignants concernant les effets cognitifs de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur la compréhension des élèves concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?

6.5.2.1 Effet sur la mémorisation

Les élèves ont indiqué que, lors du processus d'enseignement-apprentissage des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope leur a permis de mémoriser facilement les informations c'est-à-dire les éléments de savoir sur les concepts étudiés. Les enseignants B et D ont également relevé ce fait en mettant en avant l'importance de la mémoire visuelle.

6.5.2.2 Effet sur l'attention et la concentration

Les observations ont montré que dans toutes les classes où le simulateur d'oscilloscope a été utilisé les élèves étaient calmes, les regards fixés sur l'écran de projection, et semblaient à l'écoute de l'enseignant. Pour Perraudeau (2006, 66), l'attention renvoie, d'après des collégiens de 6^{ème} et de 4^{ème}, au calme, au silence, à l'écoute de l'enseignant, au non bavardage. De cette conception de l'attention, nous avons jugé que l'utilisation du simulateur d'oscilloscope a amené les élèves à être plus attentifs au cours. C'est également le constat fait par l'enseignant B, qui a trouvé que l'attention des élèves était plus captivée que d'habitude lorsque le cours est fait sans simulation, comme nous l'avons relevé lors de l'entretien que nous avons réalisé avec lui. Cette conception de l'attention ne s'est pas avérée exacte pour tout le monde. Car effet, à écouter les propos de certains élèves de l'enseignant B, leur attention n'était pas forcément fixée sur le cours mais bien sur autres choses. Pour une élève, ce calme traduirait aussi le résultat de l'ennui de certains élèves.

Il ressort également, des échanges que nous avons eus avec les élèves, que l'utilisation du simulateur d'oscilloscope peut permettre une meilleure concentration. En effet, pour un élève du groupe classe expérimental de l'enseignant B, lorsque l'enseignant fait normalement le cours, c'est-à-dire, sans la simulation, ils (eux les élèves) n'arrivent pas suivre. Elle espère qu'ils seront peut-être mieux concentrés avec l'utilisation du simulateur.

Au regard de ce qui précède, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope favoriserait l'attention et la concentration de certains élèves au cours du processus d'enseignement-apprentissage.

6.5.2.3 Effet de facilitation de la compréhension

La plupart des élèves des groupes-classes expérimentaux des enseignants B, D et E, que nous avons interrogés, ont trouvé que l'utilisation du simulateur leur a facilité la compréhension du cours. Elle a aidé à la compréhension des notions abordées. Pour l'enseignant B, cette utilisation a permis aux élèves de mieux assimiler les notions. Une seule élève, par contre, a indiqué que « *on ne comprend rien avec le dispositif [avec l'utilisation du simulateur d'oscilloscope]* », ce qui d'ailleurs lui a valu des murmures de la classe, comme pour désapprouver la réponse de leur camarade. Ainsi, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope semble faciliter la compréhension des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale.

6.5.2.4 Effet sur la motivation à l'apprentissage

L'effet de la motivation des élèves du groupe-classe expérimental concernant l'apprentissage a été évoqué par l'enseignant B. Selon B, les élèves ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope étaient plus motivées à suivre le cours. Ainsi l'utilisation du simulateur d'oscilloscope favoriserait donc la motivation des élèves à l'apprentissage.

Voyons maintenant ce que pensent les élèves et les enseignants du rôle joué par le simulateur dans le processus enseignement/apprentissage des concepts de période et fréquence.

6.5.3 Perceptions des élèves concernant le rôle joué par le simulateur d'oscilloscope dans l'apprentissage

Nous avons aussi analysé le rôle joué par le simulateur d'oscilloscope en nous posant la question de recherche suivante : *Quelles sont les perceptions des élèves et des enseignants concernant le rôle joué par le simulateur d'oscilloscope dans l'apprentissage des concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?*

6.5.3.1 De la visualisation de la tension alternative sinusoïdale

La tension est un phénomène d'électricité qui n'est pas visible. Cependant, pour permettre aux élèves de se faire une représentation de ce phénomène, et de son comportement, le programme officiel de la classe demande de la visualiser. L'appareil qui sert à visualiser la tension est un oscilloscope. En absence d'oscilloscope, le simulateur d'oscilloscope a permis de visualiser la tension alternative sinusoïdale délivrée aux bornes du simulateur d'un Générateur Basses Fréquences (ou GBF) connecté virtuellement aux bornes du simulateur d'oscilloscope. Les élèves ont trouvé que contrairement, à ce qui se fait habituellement, la courbe de la tension alternative sinusoïdale « bouge ». Que ce n'est pas comme le dessin, disent-ils. Le simulateur a donc joué un rôle important dans la visualisation de la tension.

6.5.3.2 De la similarité avec le matériel de laboratoire

En raison des fonctionnalités qu'il présente, notamment, l'allumage de l'oscilloscope, la possibilité d'affichage d'un signal, l'affichage du déplacement du spot de la tension, la possibilité de faire varier les paramètres à travers la manipulation des boutons (boutons de calibres de la tension (V/div), du temps du balayage (ou sensibilité horizontale en s/div), ..., les élèves trouvent la réalisation de l'expérience est comme la pratique. « *C'est un peu plus réel* », comme ils le disent. Ainsi, le simulateur d'oscilloscope a joué le rôle d'un équipement de laboratoire de telle sorte que l'expérimentation virtuelle réalisée avec le simulateur a été perçue comme une expérimentation de laboratoire, au sens de Colonna (1993, p. 83).

6.5.3.3 De la mise en relation du monde des théories et des modèles, avec le monde des objets et des événements liés aux concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale

La période et la fréquence sont deux concepts inverses l'un de l'autre. Cette relation est traduite par l'expression mathématique $T = 1/N$ (ou $N = 1/T$). Le simulateur d'oscilloscope a permis de montrer concrètement ce que signifie cette expression théorique, en termes d'évènements qui se produiraient dans le monde matériel. Ainsi, le fait que lorsque la fréquence augmente la période diminue, revient à observer sur l'écran du simulateur à travers une augmentation du nombre de motifs élémentaires par unité de temps. En conséquence, le motif élémentaire se trouve « rétréci » sur le graphe de la tension, et par conséquent le segment correspondant à la période. Ce qui signifie que la durée de reproduction du signal est plus courte. Lorsque la fréquence diminue, la période augmente. Le nombre de motifs élémentaires diminue sur le graphe de la tension, chaque motif élémentaire devenant plus étendu. Le segment correspondant à la période devenant donc plus long. D'où la durée de reproduction du signal s'allonge. Ces différentes modifications ont été bien perçues par les élèves des groupes-classes expérimentaux avec lesquels nous avons échangé.

Le simulateur d'oscilloscope a donc joué un rôle fondamental dans la construction du sens de la relation qui lie les concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale, grâce à ses fonctionnalités (variation de la fréquence à l'aide du curseur « Freq. » du GBF et affichage de l'effet sur l'écran du simulateur d'oscilloscope).

Le tableau 102 présente la synthèse de l'ensemble des résultats obtenus dans cette étude.

Hypothèses	Questions de recherche	Résultats	Remarques
H1	Q 1 : La stratégie d'enseignement affecte-t-elle significativement le niveau de compréhension des élèves de 4 ^{ème} , mesuré par le gain relatif d'apprentissage, concernant les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?	Mitigé : Oui dans 2 cas (B, C) ; Non dans 3 cas (A, D, E) dont 1 régression significative	Par contre, les scores au post-test ont été significativement plus élevés dans les GCE de A, B, C mais les gains n'ont pas été significatifs (<30%) (D'Hainaut).
H2	Q 2 : L'attitude envers la physique des élèves affecte-elle significativement leur niveau de compréhension concernant les notions de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale, mesuré par le gain relatif d'apprentissage ?	Non	Cependant, les attitudes des élèves envers la physique ont été améliorées dans tous les GCE.

H3	Q 3 : L'implication du groupe-classe, mesurée par le <i>Student Response Rate</i> (SRR), dans la démarche d'investigation mise en œuvre par l'enseignant affecte-t-elle significativement le gain relatif d'apprentissage de la classe ?	Non	Mais le GCE s'est impliqué plus dans la démarche. Il est probable que son SRR et celui du GCT soit significativement différents. (p = 0,05)
H4	Q 4 : L'implication du groupe-classe, mesurée par le <i>Student Response Rate</i> (SRR), dépend-elle statistiquement du niveau de pratique de la démarche d'investigation mise en œuvre par l'enseignant, mesuré par l' <i>Inquiry Cycle Score</i> (ICS) ?	Non	Mais les enseignants ont pratiqué plus la démarche POE dans les GCE que dans les GCT
H5	Q 5 : La participation globale des élèves au cours ayant utilisé le simulateur d'oscilloscope, affecte-t-elle significativement le gain relatif d'apprentissage par rapport à celle des élèves du groupe-classe n'ayant pas utilisé le simulateur d'oscilloscope ?	Non	Pas de différence significative entre les niveaux de participation globale du GCE et du GCT sauf pour C.
H6	Q 6 : La pratique pédagogique de l'enseignant dans le groupe-classe expérimental est-elle significativement différente de celle qu'il a pratiquée dans le groupe-classe témoin ?	Non	Mais elle a été plus améliorée dans les GCE sauf dans celui de D.
H7	Q 7 : La manière d'utiliser le simulateur d'oscilloscope, par l'enseignant, favorise-t-elle la compréhension des élèves concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?	Certainement	Les pratiques des enseignants diffèrent. Mais B et C ont utilisé à des moments favorables et plus longtemps. Les gains relatifs de leur GCE sont les plus significatifs
H8	Q 8 : Les conditions dans lesquelles le simulateur d'oscilloscope est utilisé, par l'enseignant, favorisent-elles le déroulement du cours et la compréhension des élèves concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?	Certainement	L'installation du dispositif, la visibilité de l'image, le bruit extérieur, présence du chercheur ont pu déconcentrer des élèves.
H9	Q 9 : Quelles sont perceptions des élèves et des enseignants concernant les effets cognitifs de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur la compréhension des élèves concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale ?	Perceptions favorables : facilitation de la mémorisation, la compréhension, l'attention et la concentration.	L'activité avec le simulateur a été aussi aperçue comme une expérimentation réelle.

Tableau 102. Synthèse des résultats de la recherche

(*) : Rappel : Les lettres A, B, C, D et E désignent les enseignants participant à l'étude.
GCE : Groupe-classe expérimental ; GCT ; Groupe-classe témoin.

Chapitre 7 – Discussion et perspectives

Dans ce chapitre, nous confrontons les résultats de la recherche non seulement à nos hypothèses de départ mais aussi aux résultats de recherches antérieures. Nous y présentons également les forces et les faiblesses de notre méthodologie de recherche ainsi que les perspectives de recherches futures.

7.1. Vérification des hypothèses de départ

Notre étude porte sur la problématique de l'utilisation des simulations informatiques pour l'apprentissage des concepts de physique dans un environnement naturel de l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire. Elle vise, à partir de l'étude du cas de l'utilisation d'un simulateur d'oscilloscope pour l'apprentissage des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4^{ème}, à évaluer l'efficacité d'un tel enseignement/apprentissage, et à mettre en évidence les relations existant entre la réussite du processus d'enseignement/apprentissage, mesuré par le gain relatif d'apprentissage, dans un tel contexte, et des variables telles que l'attitude des élèves envers la physique, le niveau de pratique de la démarche d'investigation POE de l'enseignant, avec le simulateur d'oscilloscope, celui de la pratique de la pédagogie de l'apprentissage qu'il met en œuvre, celui de l'implication des élèves dans la démarche POE et de leur participation générale à la construction du savoir, la manière d'utiliser le simulateur d'oscilloscope, de l'enseignant, pour faire construire le sens des concepts, et les conditions d'utilisation du simulateur. Dans cette optique, dans un premier temps, nous avons comparé les gains relatifs d'apprentissage réalisés dans la situation d'enseignement/apprentissage avec le simulateur d'oscilloscope, avec ceux réalisés dans une situation d'enseignement/apprentissage témoin sans simulateur d'oscilloscope. Dans un deuxième temps, nous avons analysé les effets des variables que nous avons citées ci-dessus, supposées avoir un effet sur le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes, mais aussi les relations entre le niveau de pratique de l'enseignant et le comportement des élèves en termes d'implication, et de participation au cours. Dans un troisième temps, nous avons analysé le rôle du simulateur d'oscilloscope pour l'apprentissage visé ainsi que ses effets cognitifs. Voyons donc si les hypothèses que nous avons formulées dans le cadre de cette étude ont été vérifiées.

7.1.1. Hypothèses en lien avec le gain relatif d'apprentissage, les situations d'enseignement, l'attitude des élèves, et les pratiques de l'enseignant

7.1.1.1. *Du lien entre le gain relatif d'apprentissage et la situation d'enseignement-apprentissage*

Dans le cadre de l'étude sur l'efficacité de la situation enseignement/apprentissage avec le simulateur d'oscilloscope, nous avons émis l'hypothèse (H1) que « les groupes-classes ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope obtiendront un gain relatif d'apprentissage significativement plus élevé que les groupes-classes n'ayant pas été enseignés avec le

simulateur d'oscilloscope. ». L'étude a montré que, globalement dans notre échantillon, les élèves ayant été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope n'ont pas obtenu un gain relatif d'apprentissage significativement plus élevé que leurs pairs qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. Mais au niveau des groupes-classes, nous avons obtenu un résultat mitigé : le groupe-classe expérimental et le groupe témoin de l'enseignant A ont réalisé des gains relatifs d'apprentissage non significativement différents statistiquement. Pour les élèves des enseignants B et C qui ont été enseignés avec le simulateur d'oscilloscope, les gains relatifs d'apprentissage réalisés étaient significativement plus élevés que ceux de leurs pairs qui ont été enseignés sans le simulateur d'oscilloscope. Par contre, pour les enseignants D et E, les élèves qui ont été enseignés avec le simulateur ont réalisé un gain relatif d'apprentissage plus bas que ceux de leurs pairs qui ont été enseignés sans le simulateur avec une différence statistiquement significative, pour ceux de l'enseignant E. Ces résultats indiquent que l'hypothèse 1 de notre étude a été partiellement vérifiée, n'ayant pas été vérifiée dans le cas des groupes-classes des enseignants A, D et E.

7.1.1.2. Du lien entre le gain relatif d'apprentissage et l'attitude des élèves envers la physique

Sachant que pour réussir leurs apprentissages, les élèves les organisent mieux et développent des stratégies d'apprentissage plus efficaces lorsqu'ils ont un réel intérêt et une attitude positive pour la matière qu'ils étudient à l'école (OCDE, 2004, pp. 116), nous avons émis l'hypothèse (H2) que « le gain relatif d'apprentissage dépend de l'attitude envers la physique des élèves des groupes-classes, au départ de l'apprentissage ». Dans notre cas, l'étude n'a pas trouvé de lien entre le gain relatif d'apprentissage et l'attitude initiale des élèves envers la physique, dans l'ensemble de l'échantillon, ni dans le groupe expérimental, comme dans le groupe témoin. Au niveau des groupes-classes expérimentaux et témoins le résultat est le même. Notre hypothèse (H2) n'a donc pas été vérifiée. Néanmoins, l'étude a trouvé que cette attitude a été beaucoup améliorée du pré-test au post-test dans les groupes-classes expérimentaux.

7.1.1.3. Du lien entre le gain relatif d'apprentissage et l'implication des élèves dans la démarche d'investigation POE

Partant du fait que la mise en œuvre de la démarche d'investigation crée un cadre socioconstructiviste qui donne plus de responsabilité aux élèves pour l'élaboration des savoirs (Mathé et al., 2008, pp. 46-47), nous avons émis l'hypothèse (H3) stipulant que « le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend du niveau d'implication des groupes-classes dans la pratique de la démarche POE, caractérisé par leur taux de réponses aux questions posées par l'enseignant (*Student Response Rate* (SRR)) lors de la pratique de cette démarche ». L'étude n'a pas trouvé de corrélation entre le gain relatif d'apprentissage et le niveau d'implication des élèves (*ou Student Response Rate*). L'hypothèse n'a donc pas été vérifiée.

7.1.1.4. Du lien entre le gain relatif d'apprentissage et la participation globale des élèves dans le cours

Nous rappelons que, pour Astolfi & Develay (2002, p. 1), « *la compréhension est quelque chose qui ne se transmet pas et qui ne peut s'opérer que moyennant la participation centrale de l'apprenant* ». Considérant donc que, l'élève en général, le groupe-classe en particulier, ne peut réussir son apprentissage que lorsqu'il s'y engage activement, nous avons émis l'hypothèse (H5) que « le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend de leur niveau de participation dans le cours ». L'étude a montré qu'il n'y a pas de corrélation entre le gain relatif d'apprentissage et le niveau de participation globale des élèves dans le cours. Notre hypothèse n'a donc pas été vérifiée.

7.1.2. Hypothèses concernant l'effet des pratiques didactiques et pédagogique de l'enseignant sur les élèves

7.1.2.1. De la relation entre le niveau de pratique de la démarche POE par l'enseignant et le niveau d'implication des élèves

En référence au jeu didactique (Sensevy, 2008, pp. 42-43), nous avons fait l'hypothèse (H4) que « le niveau d'implication des groupes-classes dans la pratique de la démarche d'investigation POE (SRR) dépend du niveau de pratique de cette démarche par l'enseignant, pratique caractérisée par le nombre du cycle de questions prédiction-observation-explication (ou *Inquiry Cycle Score (ICS)*) mis en œuvre. ». L'étude de la corrélation entre les deux variables n'a pas trouvé une corrélation significative dans les groupes-classes expérimentaux. L'hypothèse de l'hypothèse n'a donc pas été vérifiée même si dans les groupes-classes expérimentaux les élèves ont semblé s'être plus impliqués lors de la mise en œuvre de la démarche par les enseignants.

7.1.2.2. De l'effet de la pratique d'une pédagogie d'apprentissage sur la participation globale des élèves au cours

En parlant, précédemment, d'implication des élèves dans la mise en œuvre de la démarche d'investigation POE, nous avons voulu marquer une démarcation entre le volet spécifiquement didactique de l'enseignement, qui renvoie à la construction du sens des concepts étudiés plus particulièrement, du volet pédagogique qui est plus lié à la médiation de l'enseignant. Cette médiation de l'enseignant, en tant qu'activité de facilitation de l'apprentissage comporte, certes, des explications, des consignes et des guidages des élèves mais elle est aussi ponctuée d'actions, de la part de l'enseignant, visant à pousser les élèves à s'engager véritablement dans l'apprentissage. Nous avons caractérisé cet engagement des élèves en termes de participation globale. Dans le cadre de cette médiation, les actions de l'enseignant que nous avons retenues sont l'Implication cognitive et motivationnelle du groupe-classe (ICM), la régulation interactive (RI), l'implication et l'engagement du groupe-classe dans la tâche (IET), le renforcement et l'évaluation des réponses (RER) élèves, et le maintien d'un climat social (CS) pour favoriser l'apprentissage. Cela nous a amenés à émettre

l'hypothèse (H6) selon laquelle « le niveau de participation globale des groupes-classes dépend du niveau de pratique de la pédagogie de l'apprentissage⁵⁷ de l'enseignant (Altet et al., 2015, p. 61) ». L'étude de la corrélation entre le niveau de participation globale du groupe-classe et le niveau de pratique de la pédagogie d'apprentissage a indiqué qu'il n'y a pas de corrélation statistiquement significative entre les deux variables dans les groupes-classes expérimentaux comme dans les groupes-classes témoins.

7.1.3. Hypothèses relatives à l'utilisation et aux conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope

7.1.3.1. De l'effet de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur la compréhension des concepts

En absence de référence scientifique sur un scénario d'intégration de l'utilisation d'une simulation informatique dans un processus d'enseignement/apprentissage, en contexte naturel, comme celui de la Côte d'Ivoire, nous avons proposé un modèle d'intégration, en 5 phases complétées par le moment et la durée d'utilisation du simulateur (*voir Annexe A11*). De ce modèle, nous avons retenu dans l'analyse des données, la présentation de l'objectif pédagogique de la manipulation, celle des concepts selon différents registres sémiotiques, la mise en relation des concepts à l'aide du simulateur d'oscilloscope, la pratique de la démarche d'investigation à l'aide du simulateur, le moment et la durée d'utilisation du simulateur d'oscilloscope. La bonne exécution de ces actions permet une meilleure compréhension des concepts étudiés. Ainsi, nous avons émis l'hypothèse (H7) selon laquelle : « les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes peuvent être expliqués par la manière dont l'enseignant utilise le simulateur d'oscilloscope pour la construction du sens des concepts ».

Les résultats de l'étude indiquent que, considérant l'ensemble des actions à effectuer, l'enseignant A n'a presque pas exploité le simulateur d'oscilloscope. Les enseignants B et C, ont mieux utilisé le simulateur d'oscilloscope. Les enseignants D et E, par contre, n'ont pas utilisé le simulateur comme il le fallait. Ils ont plutôt fait d'abord le cours, entièrement de manière traditionnelle. Le simulateur n'est intervenu que pour illustrer les concepts. Cependant, contrairement à D, E a tenté au cours de cette illustration, d'exécuter les différentes actions, sauf qu'elles n'étaient pas bien structurées. Au regard de cette analyse, et du gain relatif d'apprentissage réalisé dans le groupe-classe expérimental de chaque enseignant (A : gain non significatif, B et C : gains significatifs, D et E : gains en faveur du groupe-classe témoin), nous estimons que l'hypothèse que nous avons formulée est vérifiée.

⁵⁷ Pédagogie centrée sur une logique de l'apprentissage

7.1.3.2. Des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope sur l'apprentissage

Les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope auxquelles nous avons fait allusion (*voir grille d'observation, Annexe A12*) sont : la gestion de l'espace (place de l'enseignant, celle des élèves, la position du vidéoprojecteur), la gestion des supports (utilisation du tableau, de photocopies, du manuel scolaire, d'équipement réel, de simulateur d'oscilloscope), et des conditions d'exécution (chaleur/aération, bruit, lumière, moment d'utilisation, temps d'utilisation), qualité du simulateur d'oscilloscope (visibilité de l'image projetée, utilité, affordance). Lorsque ces indicateurs sont favorables, cela permet aux élèves de bien suivre le déroulement du cours, en termes d'attention et de concentration pour bien comprendre les concepts étudiés. Ce qui nous a amenés à formuler l'hypothèse que « les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes peuvent dépendre des conditions d'utilisation du simulateur ».

L'étude a montré que, dans l'ensemble les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope n'étaient pas très défavorables. Mais elles n'étaient pas totalement favorables non plus. Dans les groupes-classes expérimentaux des enseignants A, D et E, les salles étaient spacieuses, et les élèves étaient relativement bien assis, sauf que dans le cas de D, il y avait quelques élèves assis à trois en raison d'une insuffisance en tables-blancs. Les enseignants étaient positionnés avec une vue directe sur l'écran de projection. Dans ces groupes il y avait une lumière moins forte, avec une bonne visibilité de l'image projetée, et peu de chaleur, en raison d'une bonne circulation d'air. Contrairement aux élèves de A et E, les élèves de D semblaient éloignés du tableau à craie, et par conséquent de l'écran de projection. Dans le groupe-classe expérimental de A, il y avait beaucoup de bruits provenant de l'environnement extérieur. Pour les enseignants B et C, les conditions d'utilisation étaient moins bonnes que dans le cas des enseignants A, D et E. En effet, dans le cas de B et C, les salles étaient moins spacieuses, par rapport au nombre d'élèves. La place de l'enseignant était telle que celui-ci se trouvait dos tourné au tableau à craie, donc à l'écran de projection. Dans ces salles, il n'y avait pas de bruits gênants mais il y faisait relativement chaud. Les élèves assis dans le fond de la classe semblaient un peu éloignés de l'écran de projection. La visibilité et la qualité de l'image projetée étaient passables. Dans le cas de l'enseignant B, certains élèves de la classe étaient dérangés par des voix d'élèves extérieurs à la classe, intéressés par le cours qui se déroulait. Quant aux moments et durées d'utilisation du simulateur d'oscilloscope pendant la construction du sens des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale, ils étaient plus favorables chez les enseignants B et C que chez les enseignants A, D et E.

Au total, hormis le moment et la durée, les conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope pour faire construire le sens des concepts en jeu, semblent avoir été globalement plus favorables dans les groupes-classes expérimentaux des enseignants A, D et E que dans ceux des enseignants B et C. Pourtant, ce sont les groupes-classes expérimentaux des enseignants B et C qui ont réalisés des gains relatifs d'apprentissage élevés, avec une différence statistiquement significative, par rapport aux gains relatifs d'apprentissage de leur groupe-classe témoin. Dans ce sens, notre hypothèse d'étude n'a pas été vérifiée. En revanche, ces

résultats semblent avoir été affectés par des éléments tels que le moment et la durée d'utilisation du simulateur d'oscilloscope.

7.1.4. Hypothèse relative aux perceptions des élèves et enseignants concernant les effets cognitifs du simulateur d'oscilloscope

7.1.4.1. Perceptions des élèves et enseignants concernant les effets cognitifs de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope

Comme le disait Albert Einstein, à propos de lui-même : *«Les mots et le langage, écrits ou parlés, ne semblent pas jouer le moindre rôle dans le mécanisme de ma pensée. Les entités psychiques qui servent d'éléments à la pensée sont certains signes ou des images plus ou moins claires qui peuvent à volonté être reproduits et combinés.»* (Colonna, 1993, p. 92). Ce discours du célèbre physicien montre toute l'importance de l'effet de l'image dans le processus de la pensée, à travers le rôle de la mémoire. En raison de cette importance, nous avons émis l'hypothèse que « l'utilisation du simulateur d'oscilloscope favorise l'apprentissage des notions de fréquence et période parce qu'elle aide à mémoriser les éléments de savoirs, et facilite leur explication et leur compréhension ».

Les résultats de l'étude ont indiqué, d'après les perceptions des élèves et des enseignants, que l'utilisation du simulateur d'oscilloscope a favorisé la mémorisation des informations, l'attention, la concentration et la motivation des élèves. Elle a également facilité la compréhension du cours, selon les déclarations des élèves et des enseignants. De ce point de vue, nous pouvons dire que notre hypothèse de recherche a été vérifiée. Par ailleurs, dans la recherche des effets cognitifs dus à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, nous avons noté des perceptions d'élèves et enseignants concernant le rôle joué par le simulateur d'oscilloscope lui-même.

7.1.4.2. Des conceptions des élèves et enseignants concernant le rôle du simulateur d'oscilloscope dans l'apprentissage des concepts

L'étude a révélé que le simulateur d'oscilloscope, à travers ses affordances, a joué le rôle d'un équipement réel de laboratoire concernant les expériences réalisées. En effet, il a permis de visualiser la tension alternative sinusoïdale en affichant la courbe de cette tension. Il a permis également de mettre en lien les concepts de période et fréquence avec des événements visibles sur l'écran de l'oscilloscope, à travers la variation des paramètres de fréquence, grâce à la manipulation des boutons.

De nombreuses recherches ont traité de la problématique de l'utilisation des simulations informatiques dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique. Les résultats de notre recherche sont conformes à ceux de certaines d'entre elles, comme nous le montrons dans les sections qui suivent.

7.2. Confrontation des résultats de la recherche avec les résultats des travaux antérieurs

7.2.1. Travaux sur l'efficacité de l'utilisation des simulations informatiques dans l'enseignement de la physique-chimie

Dans le cadre de notre recherche, nous avons évalué l'efficacité de l'utilisation d'un simulateur d'oscilloscope dans l'apprentissage des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale. Il s'agissait de savoir si l'utilisation de ce simulateur affectait significativement la compréhension des deux concepts. Nous avons alors cherché à savoir s'il y avait une différence statistiquement significative entre le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe enseigné avec le simulateur d'oscilloscope (groupe-classe expérimental) et celui du groupe-classe enseigné sans le simulateur d'oscilloscope (groupe-classe témoin). Les groupes-classes expérimentaux et témoins de 5 enseignants, A, B, C, D et E, ont participé à cette étude. L'étude a donné un résultat mitigé comportant un effet positif significatif, un effet non significatif et un effet contraire à ce qui était attendu.

7.2.1.1. Effets positifs significatifs de l'utilisation de la simulation sur le gain relatif d'apprentissage

Les résultats de notre étude ont indiqué, pour les enseignants B et C, qu'il y avait une différence statistiquement significative entre le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe expérimental et celui du groupe-classe témoin. Ce qui semble signifier que l'utilisation du simulateur d'oscilloscope a eu un impact positif sur la compréhension des élèves concernant les concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale.

De nombreux travaux ont étudié l'efficacité de l'utilisation des simulations informatiques pour l'apprentissage des concepts de physique. Notre résultat est en concordance avec celui de la plupart de ces travaux. Il y a, par exemple, les travaux de Sarabando et al. (2014, 2016) sur l'étude de la compréhension des concepts de masse et poids à l'aide d'une simulation informatique, au collège. La référence à ces travaux est intéressante car le dispositif expérimental est presque similaire au nôtre, à la différence que l'étude a lieu en petits groupes avec les élèves sur des postes de travail. Cette étude a montré que les élèves qui ont travaillé avec la simulation informatique ont réalisé des gains totaux significativement élevés que ceux de leurs pairs qui n'ont pas travaillé avec la simulation seule. Contrairement au contexte de l'étude de Sarabando et al. (2014, 2016), nous avons réalisé notre étude en classe entière. Notre résultat est également en concordance avec celui rapporté par Lara K., Smetana & Bell (2014) concernant une étude qu'elles ont menée en classe entière. Elles ont trouvé que l'utilisation des simulations en classe entière permet d'améliorer les résultats d'apprentissage des élèves.

7.2.1.2. Effet non significatif de l'utilisation de la simulation sur le gain relatif d'apprentissage

Notre étude a indiqué également qu'il n'y a pas une différence statistiquement significative entre le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe expérimental et le gain relatif d'apprentissage du groupe-classe témoin de l'enseignant A. Ce résultat est en concordance avec celui de Ünlü & Dökme (2011). En effet, ces chercheurs ont mené une étude sur la compréhension conceptuelle du circuit électrique. L'étude n'a pas trouvé de différence statistiquement significative entre le groupe qui a travaillé avec la simulation informatique et le groupe qui a travaillé sans la simulation.

7.2.1.3. Effet de « régression » par rapport à la situation d'enseignement sans simulation

Notre recherche a montré que, pour les enseignants D et E, le groupe-classe expérimental a réalisé un gain relatif d'apprentissage inférieur au gain relatif d'apprentissage réalisé par le groupe-classe témoin. Ce qui signifie que la méthode traditionnelle d'enseignement-apprentissage, sans le simulateur d'oscilloscope, a été plus efficace que la méthode d'enseignement-apprentissage utilisant le simulateur d'oscilloscope chez les enseignants D et E. Ce résultat, indiquant l'inefficacité de l'utilisation de la simulation par rapport à une méthode sans simulation, est en phase avec celui de l'étude de Hallman et al. (2009).

Par ailleurs, selon les discours de Clark (1994) et Russell (2001), les résultats positifs obtenus avec les simulations ne relèvent pas des simulations informatiques utilisées mais plutôt de la pédagogie de l'enseignant. Pour vérifier cette affirmation, nous avons analysé la relation entre le gain relatif d'apprentissage et les deux types de situations d'enseignement-apprentissage des enseignants B et C. L'analyse statistique de la variance des moyennes des gains relatifs d'apprentissage, avec le test H de Kruskal Wallis et celle de la comparaison des gains relatifs du groupe expérimental et du groupe témoin, avec le test U de Mann-Whitney, ont montré que la différence significative entre les gains relatifs d'apprentissage des deux types de groupes ne dépendait pas de la situation d'utilisation du simulateur d'oscilloscope, en tant que telle. Nous avons donc analysé les effets d'autres facteurs sur le processus enseignement-apprentissage utilisant le simulateur d'oscilloscope, facteurs identifiés dans des études antérieures.

7.2.2. Travaux évoquant des facteurs favorisant l'utilisation de la simulation informatique dans l'enseignant-apprentissage

7.2.2.1. Travaux évoquant la manière d'utiliser les simulations informatiques comme facteur favorisant l'apprentissage avec celles-ci

Dans notre étude, la manière d'utilisation du simulateur d'oscilloscope renvoie à la présentation de l'objectif pédagogique de la manipulation du simulateur d'oscilloscope, à la présentation des concepts selon différents registres sémiotiques, la mise en relation des concepts

avec le monde des théories et modèles et le monde des objets et évènements, la pratique de la démarche d'investigation POE avec le simulateur d'oscilloscope, au moment et la durée d'utilisation. Les analyses que nous avons faites ont montré, en ce qui concerne la dimension pédagogique et didactique, que les enseignants B et C, dont les groupes-classes expérimentaux ont obtenus les gains relatifs d'apprentissage significatifs, ont mis en œuvre des pratiques qui étaient meilleures à celles des enseignants A, D et E. Le temps d'utilisant accordé à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope par ces deux enseignants étaient également suffisants. Ces résultats sont en concordance avec des résultats trouvés chez Sarabando et al. (2016). En effet, dans le cas de cette étude, en termes de médiation, un des enseignants désigné aussi B, a donné plus de temps aux élèves et d'autonomie de s'exprimer. Avant le démarrage du cours, le matériel d'expérimentation (ordinateur + simulation déjà installée) était prêt à être utilisé. Dans notre travail, les enseignants B et C ont disposé d'un temps suffisant de pratique avec le simulateur, parce que nous avons également installé le dispositif bien avant l'heure de début du cours. Ces éléments corroborent le fait que l'efficacité d'un enseignement utilisant une simulation informatique dépend de la manière d'utiliser cette simulation informatique.

Par ailleurs, nous avons analysé la relation entre le gain relatif d'apprentissage des groupes de l'expérimentation et les niveaux de pratiques de la démarche POE, tant du côté des élèves, concernant le taux de réponse aux questions posées par l'enseignant (*Student Response Rate* (SRR)) que du côté de l'enseignant, le nombre de cycle de questions POE (*Inquiry Cycle Score* (ICS)). Nous n'avons pas trouvé de corrélation significative entre ces deux variables. Rutten et al. (2015) n'ont pas évalué la relation entre le gain relatif d'apprentissage et le SRR, ni l'ICS. En revanche, tout comme nous, ils ont analysé la corrélation entre le SRR et l'ICS. Notre étude n'a pas trouvé de corrélation entre le SRR et l'ICS contrairement à celle de Rutten et al. (2015) qui a indiqué une corrélation négative entre les deux variables. Nous avons aussi analysé la congruence entre l'objectif d'apprentissage visé par l'enseignant et l'objectif d'apprentissage perçu par les élèves. Nous avons trouvé que les deux objectifs étaient congruents. Rutten et al. (2015, p. 1237) ont également trouvé qu'il y avait une congruence entre les objectifs des enseignants et des élèves en ces termes : « *Statistical analyses revealed [...] positive learning goal congruence between the teacher and his/her students.* ».

7.2.2.2. Travaux évoquant les conditions d'utilisation des simulations informatiques dans l'apprentissage pour des résultats efficaces

Dans notre étude, nous avons noté que pendant l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, la visibilité de l'image projetée du simulateur d'oscilloscope, sur l'écran de projection était assurée pour la plupart des élèves. Nous avons trouvé qu'elle a joué un rôle dans l'apprentissage. Ce résultat, concernant l'influence de la visibilité de l'image sur la réussite de l'apprentissage, est aussi évoqué par Ratompomalala (2012, p. 16).

7.2.2.3. Travaux évoquant la formation à l'utilisation des simulations informatiques et l'accompagnement des enseignants

L'analyse des données d'observation directe ont mis en évidence une difficulté d'utilisation didactique du simulateur d'oscilloscope chez les enseignants au regard des manipulations faites par eux. Ces manipulations sont apparues parfois non structurées, en raison de la multitude de possibilité qu'offrait le simulateur d'oscilloscope. Ce qui indique la nécessité d'une formation efficace des enseignants à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, et d'un soutien à leur endroit par la mise à disposition de scénario pédagogique. Cette préoccupation a été évoquée par Spodniakovà Pfefferová (2015, p. 288).

7.2.3. Travaux sur les perceptions des élèves et enseignants concernant le rôle et les effets cognitifs des simulations informatiques dans l'enseignant-apprentissage de la physique-chimie

7.2.3.1. Du rôle des simulations informatiques dans l'enseignement-apprentissage

Notre étude a montré, à travers les perceptions des élèves, que le simulateur a joué le rôle d'un équipement réel de laboratoire, en l'occurrence celui d'un laboratoire réel, en permettant l'affichage du graphe d'une tension alternative sinusoïdale. Ses affordances permettant les différents réglages mais également la variation des paramètres nécessaires pour la réalisation de l'expérience de la leçon du cours. L'expérience réalisée a donc été vue comme une expérience réelle. Les élèves et les enseignants ont trouvé aussi que le simulateur d'oscilloscope utilisé a permis d'enseigner effectivement ce qui devrait être enseigné. Ces résultats sont en phase avec des résultats de recherche trouvés chez Buty (2003). Ils corroborent des discours de plusieurs chercheurs tels que Spodniakovà Pfefferová (2015) sur la question de l'utilité de la simulation comme facteur important pour la réussite de l'apprentissage.

7.2.3.2. Des effets cognitifs de l'utilisation des simulations informatiques pendant l'enseignement-apprentissage des concepts

Les résultats de notre recherche ont indiqué, selon les perceptions des élèves et des enseignants, que l'utilisation du simulateur a facilité la mémorisation des informations ainsi que la compréhension des élèves concernant les concepts de fréquence et période d'une tension alternative sinusoïdale. Cette utilisation a aussi permis à certains élèves d'être plus attentifs et concentrés. Elle a semblé créer plus de motivation chez les élèves selon des enseignants. Ces résultats sont en phase avec les résultats rapportés par Ze (2017), dans son étude sur la motivation des élèves camerounais en classe de 3^{ème}, lors d'un apprentissage utilisant les simulation associé à un exerciceur. D'après l'analyse de nos données, l'utilisation du simulateur d'oscilloscope semble également avoir eu un effet positif sur l'attitude des élèves envers la physique car, par rapport au début de l'expérimentation, l'attitude des élèves s'est beaucoup améliorée. Il y a eu, à la fin de l'expérimentation, beaucoup plus d'attitudes positives et moins d'attitudes négatives dans les groupes ayant été enseignés avec le simulateur. Ulukök et Sari

(2016) ont rapporté également l'impact positif de l'utilisation des simulations sur le changement d'attitudes des apprenants dans le cadre de leur étude sur les perceptions des professeurs stagiaires en science. Rutten et al. (2015), également, ont indiqué une corrélation positive entre l'attitude des élèves et l'utilisation de la simulation, en termes de motivation. Ces résultats semblent confirmer les perceptions des enseignants ayant participé à l'étude exploratoire que Demba a menée, en 2013, sur leurs représentations concernant l'usage de la simulation en physique-chimie au secondaire en Côte d'Ivoire (Demba, 2013, p. 36).

7.2.4. Des apports nouveaux

Nous entendons par apports nouveaux, les éléments de connaissance que nous avons découverts, par hasard, lors de notre recherche, auxquels nous n'avions jamais pensés, ni rencontrés dans la littérature scientifique. Dans le cas de notre étude, il s'agit des scénarios d'utilisation que nous avons observés avec les enseignants de notre expérimentation, mais aussi, en termes d'indicateurs de la variable attention des élèves. Nous avons laissé la liberté aux enseignants d'utiliser le simulateur d'oscilloscope dans le déroulement de la séquence de cours, selon leur convenance. Car en effet, nous avons choisi de mener une recherche exploratoire afin de mieux comprendre la façon dont un enseignant intégrerait l'utilisation du simulateur d'oscilloscope dans sa pratique d'enseignement dans le contexte naturel de l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire. L'idée était de voir émerger des caractéristiques individuelles qui pourraient favoriser l'intégration des TIC en pédagogie, comme le dit Karsenti et al.(2002, p. 466). Voyons à présent les scénarios d'utilisation du simulateur d'oscilloscope, observés au cours de notre expérimentation.

7.2.4.1. Scénarios d'intégration de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope en classe entière, au collège en Côte d'Ivoire

D'après les fiches de renseignement, que nous avons fait compléter et viser par les Adjoints aux chefs d'établissement (ACE) des quatre établissements dans lesquels nous avons fait l'expérimentation de cette recherche, ces établissements ont été construits respectivement en 1903, 1935, 2004, et 2007. Ils n'ont donc pas été conçus en prévision qu'un jour, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) seraient utilisées dans les salles de classes. D'où, tout l'intérêt du concours international, dénommé *Archiscola*, pour penser « l'école de demain » (Mabilon, 2017)⁵⁸, instauré par les chercheurs des Laboratoires Bonheurs, Transition, TechSoLab et Mécénat, en France, pour anticiper sur l'avenir. Certes, les établissements de notre terrain ont connu quelques réhabilitations, en termes de rénovation de peinture de façades, d'étanchéité, de menuiserie, etc. mais pas en termes d'innovation technologique. Ce qui fait que les salles de classes gardent les mêmes configurations et commodités, même les nouvelles qui sont construites, en raison de la massification des élèves : tableau noir à craie, tables-bancs de deux places, toits pas très hauts, pas d'écran de projection prévu, ni de support de vidéoprojecteur, ni de prises électriques au niveau du poste enseignant,

⁵⁸ Thème de la première édition du concours, en 2016.

des fenêtres parfois inexistantes, ou remplacées par des claustras, une estrade sous le tableau à craie, etc. Au regard de cette situation, nous avons donc pris soin, pour le besoin de l'expérimentation, de faire confectionner un écran de projection recouvert de toile en sky blanc, un support de vidéo projecteur réglable en hauteur, et de grands rideaux noirs. Nous avons déplacé notre matériel d'expérimentation d'établissement à établissement. Par ailleurs, nous n'accrochions l'écran de projection sur le tableau à craie qu'à la demande de l'enseignant.

Pendant l'expérimentation, nous avons observé trois scénarios d'intégration de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, dans le déroulement de la séquence de cours (voir *Annexe A16*). Le premier scénario a consisté, pour l'enseignant, à intégrer le simulateur d'oscilloscope dans sa pratique tel qu'il le ferait avec un oscilloscope réel, au moment de l'expérience du cours à réaliser. Il a été mis en œuvre par les enseignants A et B. Ce scénario est caractérisé par une utilisation alternée du tableau à craie avec le simulateur d'oscilloscope. L'enseignant a utilisé le tableau à craie pour écrire la trace écrite du cours (titre de la leçon, sous-titres de la leçon, définitions des concepts, conclusion de l'expérience, etc.), au fur et à mesure du déroulement de la leçon. Il a utilisé le simulateur pour faire l'expérience du cours dès que cela était nécessaire.

Le deuxième scénario que nous avons observé, avec l'enseignant C, est caractérisé par deux phases. Dans la première phase, dès l'entame de la leçon, l'enseignant a fait mettre l'écran de projection en place. Il a ensuite utilisé le simulateur d'oscilloscope, en interaction avec les élèves, pour faire toutes les manipulations nécessaires liées à la compréhension de la tension alternative sinusoïdale et aux concepts de période et fréquence de cette tension. Durant toute cette phase, l'enseignant n'a pas utilisé le tableau à craie. Dans la deuxième phase, l'enseignant a fait retirer, du tableau à craie, l'écran de projection. Puis, il a fait noter la trace écrite de la leçon sur le tableau à craie, avec la contribution des élèves, sollicités pour restituer les éléments de savoirs sur les concepts de période et fréquence abordés, précédemment, pendant l'utilisation du simulateur d'oscilloscope dans la première phase.

Le troisième scénario, déroulé par les enseignants D et E, est le « contraire » du deuxième scénario. Ce scénario comporte également deux phases. Dans la première phase, l'enseignant fait entièrement tout le cours, sans le simulateur d'oscilloscope. Il fait prendre la trace écrite aux élèves. Dans la deuxième phase, l'enseignant a fait mettre l'écran de projection en place. Ensuite, il a utilisé le simulateur d'oscilloscope pour illustrer les concepts qu'il a déjà enseignés dans la première phase.

Dans le scénario 1, l'enseignant a commencé à utiliser le simulateur d'oscilloscope dès la première activité, correspondant à l'apprentissage du concept de la période d'une tension alternative sinusoïdale. À ce moment précis, l'utilisation du simulateur était nécessaire pour la construction du sens de ce concept, comme le préconise la littérature scientifique (Spodniakovà Pfefferová, 2015, p. 281) : « *simulations must be used in the phase of the learning process they are necessarily a part of.* ». L'approche a semblé intéressante. Cependant, nous avons observé que dès que l'enseignant a fait accrocher l'écran de projection sur le tableau à craie, il ne restait plus d'espace suffisant pour y écrire la trace écrite de la leçon, de manière bien structurée et claire (voir *Annexe A16*).

Dans le scénario 2, l'enseignant a utilisé le simulateur dans la phase de découverte des concepts de période et fréquence de la tension alternative sinusoïdale. Ce qui a eu pour avantage de susciter un vif intérêt auprès des élèves, et leur curiosité. D'autre part, après avoir fait retirer l'écran de projection, l'enseignant disposait de tout l'espace du tableau à craie pour y écrire la trace de la leçon. Une démarche que l'enseignant a justifiée en nous disant qu'en APC, c'était aux élèves de construire la trace écrite de la leçon. Que faisant ainsi, cela amenait les élèves à être plus actifs dans l'apprentissage. En revanche, craignant probablement de ne pas disposer de temps suffisant pour la trace écrite, l'enseignant a arrêté les manipulations du simulateur d'oscilloscope sans avoir eu à aborder l'ensemble des manipulations nécessaires pour la construction du sens des concepts de période et fréquence. Les manipulations correspondant, par exemple, à la relation liant les deux concepts, avec le monde physique.

Dans le scénario 3, l'enseignant fait d'abord le cours avec la méthode traditionnelle. Il n'utilise le simulateur d'oscilloscope qu'après. Cet enseignement n'était donc rien d'autre qu'un enseignement traditionnel, suivi après d'un essai d'illustration des connaissances sur les concepts étudiés. Le simulateur d'oscilloscope n'a donc pas été utilisé au moment où cela était nécessaire. Avec cette approche, il n'y avait rien à faire découvrir véritablement à l'élève au moment où le simulateur d'oscilloscope a été utilisé. Ce qui pourrait présenter l'inconvénient de ne plus susciter l'intérêt et la curiosité des élèves pour l'apprentissage visé.

La découverte de ces trois scénarios pédagogiques d'intégration du simulateur d'oscilloscope, dans le milieu naturel de l'enseignement secondaire général du pays, est pour nous, une connaissance importante. Car en effet, elle met à notre disposition de vrais indicateurs de terrain nous permettant de proposer, en formation des professeurs des lycées et collèges, des scénarios pédagogiques appropriés à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope en classe entière, en tenant compte des méthodes d'enseignement qui constituent les différentes unités pédagogiques (Pacurar et al., 2004, p. 4) mises en œuvre dans la séquence de cours.

7.2.4.2. Des indicateurs de l'attention des élèves

De coutume, les indicateurs qui sont présentés pour caractériser la variable « Attention des élèves pendant le cours », sont le calme, l'absence de bavardage (Perraudeau, 2006, p. 66), etc. Certes ces caractéristiques sont effectivement évocatrices de l'attention des élèves pour le cours. Cependant, nous avons noté, dans le cadre de notre étude, que l'attention apparente des élèves, avec les regards fixés sur l'enseignant, pouvait indiquer l'intérêt des élèves pour autre chose que le cours. En effet, les données que nous avons collectées pour notre étude, au cours des échanges que nous avons eus avec les élèves de l'enseignant B, ont montré, par exemple, que le calme observé pouvait être expliqué par le fait que certains élèves dormaient, et que d'autres étaient intéressés par les chercheurs présents dans la salle d'expérimentation.

7.3. Forces et limites de la méthodologie de recherche

7.3.1. Du type de la recherche et du contexte de l'étude

7.3.1.1. Type de la recherche

La recherche exploratoire est mieux adaptée au contexte de la Côte d'Ivoire où nous n'avons trouvé aucune étude empirique scientifique (Trudel et al., 2006, p. 39) sur la compréhension des concepts de physique par l'utilisation de la simulation en physique-chimie au secondaire. La méthode qualitative choisie, associée à la méthode quantitative, est appropriée aux recherches du domaine des sciences humaines tel que celui des sciences de l'éducation. De plus, les répondants participant à l'étude constituent des acteurs « sociaux » que sont les enseignants de physique-chimie et leurs élèves. Ils sont donc compétents pour l'objet de la recherche (Savoie-Zajc, 2006, p. 103). En outre, la plupart des enseignants participant à l'expérimentation sont des praticiens totalisant plusieurs années d'expériences. Les acteurs, élèves comme enseignant, étaient accessibles, volontaires et motivés. Enfin, l'étude multi-sites et multi-cas offre l'avantage de recueillir des perceptions plus riches, dans différents contextes (Grimes & Warschauer, 2008, p. 308), comme nous avons pu le constater, lors des entretiens collectifs, avec les élèves des groupes-classes expérimentaux des enseignants B, D et E.

7.3.1.2. Entre contexte naturel et contexte choisi pour le déroulement de la recherche ...

Dans la plupart des travaux que nous avons rencontrés dans la littérature scientifique, le contexte du déroulement de la recherche est choisi par le chercheur. Il tient généralement compte des contraintes du terrain (durée, contenu spécifique à aborder par rapport à l'objet de la recherche, salle d'expérimentation, etc., voire le choix du nombre de participants). C'est donc un contexte choisi de manière à réduire, le plus possible, les difficultés qui peuvent se présenter à la réalisation de l'expérimentation, bien que le contenu concernant le concept à étudier fasse partie du programme officiel. Avec de tels arrangements, le début et la durée de la séquence sont en général contrôlables. Selon Baribeau (1996, p. 585), ce contexte « simulé », plus facile à mettre en œuvre, crée un biais de type instrumental dans l'étude. Quant au contexte naturel, au sens de l'auteur, il correspond au contexte réel de la classe, dans son fonctionnement régulier, avec tout ce que cela comporte comme événements imprévus (interférences, interruptions subites, pauses, entrées et sorties des élèves, etc.), mais aussi comme prescriptions institutionnelles (respect de l'horaire de l'emploi du temps de la classe, leçon considérée dans sa globalité, durée de la séquence de cours, classe entière d'élèves, etc.). Nous avons choisi ce contexte qui présente des avantages mais aussi des inconvénients, tels qu'indiqués dans les sections suivantes.

7.3.1.3. Force du contexte de déroulement de l'étude

La force du contexte du déroulement de notre recherche réside en ce qu'il nous a permis de repérer effectivement des éléments pertinents auxquels nous n'aurions certainement jamais pensés. Il s'agit, par exemple, des trois stratégies individuelles d'intégration de la simulation dans le processus enseignement/apprentissage que nous avons découvertes par hasard. Ou

encore le fait que des élèves, hors de la classe, poussent les rideaux pour regarder et discuter sur ce qui se déroule dans la classe pendant l'expérimentation, ou qu'ils viennent s'attouper à la fenêtre pour regarder ce qui se déroule sur l'écran de projection, comme cela a été le cas lors de l'expérimentation avec l'enseignant E. Il y a aussi, l'observation de la position de l'enseignant par rapport à l'écran de projection, etc. Dans un contexte simulé, nous aurions pris soin, par exemple, de bien installer l'enseignant, de réduire certainement le nombre d'élèves de la classe, d'isoler la classe de l'expérimentation de toute perturbation d'élèves, de proposer un scénario d'intégration, etc.

7.3.1.4. Limites du contexte de déroulement de l'étude

L'inconvénient majeur que présente ce contexte est le fait que l'exécution de la recherche y est relativement difficile. Car en effet, dans ce contexte, il est difficile de contrôler le début de démarrage de l'expérimentation. Par exemple, si, selon l'emploi du temps, l'enseignant qui occupe la salle de classe avant l'expérimentation ne la libère pas assez tôt, le début du lancement de l'expérimentation se trouvera compromis. Ce qui impactera forcément sur la durée de l'expérimentation, surtout si la salle doit être occupée après par un autre enseignant.

7.3.2. Du dispositif de l'expérimentation

7.3.2.1. Matériel d'enregistrement de la séquence de cours

Ce matériel était composé de deux caméras : une caméra pour enregistrer les comportements du groupe-classe, et une caméra pour enregistrer les comportements de l'enseignant. Ces deux caméras étaient des caméscopes que nous avons mis sur trépied. L'avantage d'utiliser ces caméscopes est qu'ils permettaient d'enregistrer à la fois le son et l'image. Ils étaient faciles à manipuler. En revanche, l'ouverture de leur objectif était telle qu'il était impossible de filmer l'ensemble de la classe contrairement à un contexte « simulé » où, c'est l'activité d'un binôme, travaillant avec la simulation, qui est généralement captée. En outre, au niveau de l'enregistrement, les fichiers vidéo/audio n'étaient pas totalement générés en continu, du début à la fin de l'enregistrement. Ce qui fait que nous nous sommes trouvés avec plusieurs petits fichiers vidéo dont le timing commençait par 00:00, pour la même séquence de cours. Nous avons dû recourir au logiciel *FormatFactory* pour joindre ces petits fichiers et en faire un tout, afin de connaître la durée effective de l'enregistrement, et par conséquent celle de la séquence de cours. Les deux caméras n'étaient pas synchronisées.

7.3.2.2. Matériel de projection vidéo

Le matériel de projection comprenait un vidéoprojecteur de marque Acer X113H, des câbles pour la connexion du vidéoprojecteur à la prise électrique et à l'ordinateur, et un écran de projection. Le coût d'acquisition de ce matériel, sur fond propre, était relativement supportable. En lieu et place d'un écran de projection en toile blanc sur pied, nous avons opté pour la confection d'un écran avec une surface plane rigide. En effet, pendant la pré-étude, nous

avons travaillé avec un écran sur pied. Nous avons observé que la surface de l'écran ondulait au moindre soufflement du vent, l'écran en lui-même oscillait. Nous avons alors estimé que, en tant que support de transmission du savoir, cet écran pouvait être défavorable à l'apprentissage. Nous avons donc fait confectionner un écran sur planche, recouverte de toile en Sky avec 2 anneaux permettant de l'accrocher sur les tableaux à craie. Malheureusement, nous étions contraints de déplacer cet écran, de classe expérimentale en classe expérimentale.

Par ailleurs, la taille de l'image projetée sur un écran dépend de la distance à laquelle se situe le vidéoprojecteur par rapport à l'écran de projection. Les constructeurs indiquent, pour chaque vidéoprojecteur, un coefficient appelé rapport (ou ratio) de projection. Il s'agit de la distance du vidéoprojecteur à l'écran de projection divisée par la largeur de l'écran de projection (Choisir-vidéoprojecteur, 2020) : « *Plus le rapport de projection sera élevé plus il faudra de recul pour installer le vidéoprojecteur. Inversement, un modèle [de vidéoprojecteur] avec un petit rapport de projection pourra être placé plus près de l'écran.* ». Lorsque le rapport de projection est inférieur à 1, le vidéoprojecteur est dit à focale (ou à distance focale) courte. Si le rapport de projection est compris entre 1 et 2, il est dit à focale standard. Et s'il est supérieur à 2, il est dit à focale longue. Le vidéoprojecteur Acer X113H que nous avons utilisé pour l'expérimentation a un rapport de projection de 1,95 à 2,15 :1 (Amazon, 2020). C'est donc un vidéoprojecteur à focale standard à longue. Nous avons donc cherché à éloigner le vidéoprojecteur de l'écran de projection. L'inconvénient est que cela nous a amenés, dans les classes à forte densité d'élèves, à déplacer des élèves afin de pouvoir installer et centrer le vidéoprojecteur. Ce qui a conduit des élèves à s'asseoir à 3 sur des tables-bancs pour deux. Une situation qui n'est pas propice à l'apprentissage, pour ces élèves-là. De plus, l'utilisation d'un vidéoprojecteur à focale longue commande que la luminosité de celui-ci, exprimée en Lumens, soit relativement élevée (Choisir-vidéoprojecteur, 2020). Notre vidéoprojecteur, X113H, a une luminosité de 2800 Lumens. Ce qui signifie que la lumière dans la salle de classe devrait être faible. Cela n'a pas toujours été le cas dans les groupes-classes expérimentaux.

7.3.2.3. De l'exploitation du simulateur d'oscilloscope

Dans la plupart des travaux portant sur l'impact de l'utilisation des simulations informatiques dans l'apprentissage des concepts de la physique, ce sont les élèves qui manipulent la simulation informatique, soit seul ou en petits groupes de 2 ou 3 élèves. Les élèves participants alors à l'étude sont activement associés à l'utilisation de l'outil. Ils sont au centre de l'activité de manipulation de la simulation. C'est une approche plus constructiviste, surtout lorsque l'élève est seul sur la simulation. Ce qui lui permet d'apprendre la main à la pâte, en faisant. En petit groupe, elle a un caractère socioconstructiviste mais non accentué. En classe entière, c'est l'enseignant seul qui manipule la simulation. L'avantage d'une utilisation de la simulation en classe est le fait qu'elle engendre une forte interactivité socioconstructiviste dans le groupe-classe. Mais l'inconvénient est que les élèves ne manipulent pas eux-mêmes.

Dans le cas de notre expérimentation, nous avons hébergé le simulateur d'oscilloscope sur la plateforme *Espace.sandbox-jp.fr* afin qu'il soit accessible par tous, enseignant comme élèves, aussi bien hors classe, qu'en classe à l'aide des paramètres de connexion que nous leur avons attribués. La force de ce dispositif était qu'il permettait à tous d'accéder au simulateur

d'oscilloscope où qu'ils se trouvent, à condition de disposer d'une connexion Internet. Tous les enseignants qui ont participé à l'expérimentation se sont connectés, au simulateur d'oscilloscope, à travers la plateforme *Espace.sandbox-jp.fr* grâce à un routeur wifi. Des élèves également ont utilisé le simulateur d'oscilloscope hors classe, avant l'expérimentation. Ainsi, nous avons trois catégories d'élèves : 1) les élèves enseignés sans le simulateur d'oscilloscope (groupe-témoin), 2) les élèves enseignés avec le simulateur d'oscilloscope sans avoir eu à l'utiliser eux-mêmes avant le cours (groupe expérimental I), 3) les élèves enseignés avec le simulateur d'oscilloscope après avoir eu à l'utiliser eux-mêmes avant le cours (groupe expérimental II).

Partant du fait que, dans le programme officiel, très peu d'heure soit consacrée à la leçon de notre étude de cas (1 séance d'1 h 30 en classe entière, dans l'année), nous avons voulu faire découvrir les fonctionnalités du simulateur par les élèves avant le cours. L'idée était de comparer ensuite les performances des groupes expérimentaux I et II par rapport à celle du groupe témoin, mesurées par les gains relatifs d'apprentissage, afin d'évaluer l'effet d'une pédagogie inversée sur le processus enseignement/apprentissage en classe entière. N'ayant pas trouvé une méthodologie pour vérifier que les activités de manipulation sur le simulateur d'oscilloscope, effectuées hors classe depuis la plateforme *Espace.sandbox-jp.fr*, par l'élèves, ont été effectivement faites par les élèves eux-mêmes, nous avons dû mettre de côté cette comparaison.

7.3.2.4. De la procédure de recherche

La procédure d'expérimentation que nous avons déroulée peut être décrite de la manière suivante :

- 1. Installation du matériel d'expérimentation (caméras, vidéoprojecteur, ordinateur portable avec le simulateur d'oscilloscope, [écran de projection à la demande]),*
- 2. Administration du questionnaire élève concernant le recueil des données personnelles sur l'élève (10 minutes).*
- 3. Administration du pré-test (10 minutes)*
- 4. Séquence de cours (leçon 2) sur les caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale (60 minutes)*
- 5. Administration du post-test (10 minutes).*

Pour pouvoir analyser l'attitude des élèves envers la discipline après l'enseignement / apprentissage avec le simulateur d'oscilloscope, nous avons administré un questionnaire aux élèves des groupes-classes expérimentaux, une semaine après l'expérimentation.

Durant le temps imparti par l'emploi du temps de la classe, les enseignants se sont employés à faire le cours en abordant l'ensemble des caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale (période, fréquence, tension maximale, tension efficace) telles qu'exigées par le programme officiel. Nous avons observé qu'au cours de l'expérimentation, les élèves n'ont pas eu d'activité d'entraînement. Ils n'ont pas eu un temps d'appropriation des savoirs qui leur ont été enseignés par le professeur avant le post-test. Les seules applications du cours, en guise

d'exemples, ont donc apparemment été considérées comme suffisantes pour les élèves. Or, la compréhension des concepts de physique passe par un changement conceptuel des élèves (Tiberghien & Vince, 2005 ; Buty, 2003 ; Bêty, 2010). Ce changement n'est pas instantané et exige un temps (Bêty, 2010, p. 6). Dans les travaux qui ont trouvé un gain relatif d'apprentissage significatif avec les simulations informatiques, les élèves ont eu, avant le post-test, à réaliser des exercices de compréhension du/des concepts étudiés avec la simulation. C'est par exemple le cas avec Jimoyiannis & Komis (2001, p. 189) : « *All students from the experimental group were offered two 1-h lessons in the computer lab. During the first lesson (...), all students had a short period of practice in order to familiarize with the simulation environment. (...). During the second lesson students were engaged in tasks demanding the use of Interactive Physics stroboscopic representations. Students' engagement in simulation tasks was restricted to the study of the free fall.* ». L'absence d'exercices d'application semble donc avoir été un facteur limitant pour la compréhension des concepts de période et fréquence au niveau des élèves.

7.3.3. Des outils de recueil des données de la recherche

L'une des forces de l'étude est la multiplication de nos instruments de collecte des données. Celle-ci a conduit à la triangulation des données de l'étude. En effet, dans les recherches en sciences de l'éducation, la triangulation des données est un élément important. Elle permet d'assurer la validité de la recherche en confrontant les données provenant de diverses sources, concernant le même phénomène étudié (Karsenti et al., 2011, p. 65). Elle permet ainsi, selon Karsenti, de valider les hypothèses de recherche selon différentes méthodes de vérification. Dans le cas de notre étude, nous avons eu recours à quatre instruments : le questionnaire d'enquête, le pré-test / post-test, l'observation directe de classe et l'entretien semi-dirigé, individuel et collectif, chacun avec ses forces et ses faiblesses.

7.3.3.1. Questionnaires d'enquête élèves et enseignants

La force des questionnaires élèves que nous avons proposés réside dans le fait qu'ils nous ont permis de collecter effectivement les informations utiles pour la vérification de nos hypothèses de recherche (ibid., p. 65). Il s'agit, notamment, des données pour l'évaluation des effets éventuels des variables de contrôle, sur les groupes-classes expérimentaux et témoins. Il s'agit également des données relatives à l'attitude des élèves envers la physique avant l'expérimentation, et des perceptions de ceux des groupes-classes expérimentaux concernant les effets cognitifs et rôle du simulateur d'oscilloscope dans l'apprentissage. Au fil du déroulement de la recherche, nous avons amélioré ces questionnaires. Cette stratégie d'amélioration des instruments dans la phase active de la recherche s'accommode bien avec l'activité du chercheur car, comme le fait remarquer Savoie-Zajc, « (...) *une recherche se planifie théoriquement mais [elle] se vit dans une réalité, celle-ci étant toujours plus riche qu'anticipée, invitant ainsi le chercheur à adopter un comportement flexible et créatif* » (Demba, 2013, 26). Mais, en raison des contraintes de durée, et surtout de l'exigence du contexte naturel de notre recherche, nous n'avons pas pu tester rigoureusement, pendant un temps suffisant, ces questionnaires avant leur administration. Ce qui fait que des questions sont parues moins précises, et ont présenté des difficultés pendant leur traitement.

Le questionnaire enseignant a permis de relever des informations sur les caractéristiques individuelles des enseignants mais leurs pratiques d'enseignement n'ont pas été traitées.

7.3.3.2. *Pré-test / post-test*

Nous avons adopté un questionnaire à choix multiple pour le pré-test et le post-test. Il est approprié lorsque l'échantillon a un grand nombre d'élèves. Il présente surtout l'avantage d'être traité rapidement. Ce type de questionnaire a été également utilisé par Sarabando et al.(2014, p. 116). En revanche, il ne permet pas de savoir si les élèves ont choisi consciemment les réponses ou pas contrairement au cas de Sarabando et al. où les élèves devraient justifier leurs réponses. Ce qui leur permet de prendre conscience de leurs conceptions concernant le concept étudié. Jimoyiannis & Komis (2001, p. 202), ont également proposé un test dans lequel les élèves étaient appelés à justifier leurs réponses. La demande d'une justification nous semble pertinente pour provoquer un changement conceptuel. Car, comme le dit Perraudau, « *la compréhension nécessite une lucidité, une conscience de l'activité engagée. La prise de conscience, souvent facilitée par la mise en mots des procédures, permet à l'élève de se doter des outils de réflexion pour être en capacité de réutiliser ou d'adapter une procédure valide.* » (Perraudau, 2006, p. 68).

Les scores des élèves ont certes plus évolué, entre le pré-test et le post-test, dans les groupes-classes expérimentaux que dans les groupes-classes témoins, excepté chez les enseignants D et E, où cela a été plutôt le contraire. Cependant, les gains relatifs d'apprentissage obtenus par les groupes-classes expérimentaux n'ont pas été significatifs au sens de Louis D'Hainaut. Ce qui pourrait signifier que les conceptions des élèves n'ont pas beaucoup changé, du pré-test au post-test. Par ailleurs, il est à noter que, dans la phase de la pré-étude, nous avons administré un pré-test et un post-test, similaire au type de Jimoyiannis & Komis (2001). Mais l'insuffisance du niveau d'expression écrite des élèves, en français, langue d'enseignement, avait conduit à un traitement difficile et fastidieux des réponses-élèves, pour l'échantillon des 42 élèves qui ont participé à cette pré-étude.

7.3.3.3. *Observation directe*

La technique de l'observation directe de la situation de classe a été l'un des instruments forts de cette recherche, vu qu'elle nous a permis de capter des données pertinentes, tant sur les comportements des élèves que sur l'activité de l'enseignant. Les plus significatives ayant été surtout celles concernant l'intégration individuelle du simulateur d'oscilloscope dans le déroulement de la séquence de cours, ainsi que son utilisation, en tant qu'aide didactique, à la construction du sens des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale, en classe de 4^{ème}. Cependant, l'ouverture limitée des objectifs des caméscopes que nous avons utilisés ne nous ont pas permis d'observer tous les élèves afin d'étudier plus efficacement leurs comportements. Ceux-ci ont été repérés à partir de la transcription des enregistrements vidéo des séquences de cours.

De plus, pendant la séquence de cours, notre présence était fortement remarquée en classe. En effet, l'expérimentation s'est déroulée avec notre ordinateur portable sur lequel était

installé le simulateur d'oscilloscope. Ainsi, il fallait d'abord attendre d'accrocher l'écran de projection sur le tableau à craie, ensuite, lancer le logiciel de simulation de l'oscilloscope, à la demande de l'enseignant, et enfin s'éclipser. La présence non discrète, également, des caméras. Celle orientée sur les élèves, a semblé gêner l'apprentissage, à entendre les déclarations de certains élèves, comme par exemple : « *Monsieur, les filles-là étaient obsédées, intéressées par la caméra, et puis par vous et votre assistant.* » (Annexe B, p. 259, EL27 [ligne 217]) ou encore « *Monsieur quand vous venez avec l'oscilloscope, évitez de trop nous filmez parce que quand vous nous filmez-là, on sera concentrer sur l'appareil, au lieu peut être [du cours], ça nous gêne* » (Annexe B, p. 262, EL44 [ligne 324]). Ces situations conduisent à des biais importants dans l'étude.

7.3.3.4. Entretiens semi-dirigés, collectif avec les élèves, et individuel avec les enseignants

L'entretien avec les élèves, mais aussi avec les enseignants, a été un instrument très important dans cette étude étant donné qu'il nous a permis de capter la réalité des comportements non-observables et significatifs. En outre, les entretiens collectifs que nous avons organisés en classe entière, avec tous les élèves, ont permis à tous les élèves qui le souhaitaient de s'exprimer librement, sans subir l'influence des autres acteurs (Lessard-Hébert et al., 1997). Cette approche nous a semblé très efficace dans la détermination véritable des facteurs liés aux conditions d'enseignement et d'apprentissage utilisant un simulateur d'oscilloscope en classe entière. Elle l'a été aussi dans la connaissance des perceptions des élèves et des enseignants concernant le rôle du simulateur dans l'apprentissage des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale.

Le fait de s'entretenir avec tous les élèves a révélé des déclarations contradictoires d'élèves, sur une question donnée, que nous n'aurions peut-être pas relevé si seulement un tout petit nombre d'élèves des groupes-classes expérimentaux avait été sélectionnés pour constituer le groupe d'élèves à interroger, comme c'est souvent le cas. À titre d'exemple, dans le groupe-classe expérimental de l'enseignant B, nous avons voulu connaître les raisons du calme qui régnait dans le groupe lorsque l'enseignant faisait le cours avec le simulateur d'oscilloscope. En réponse à la question que nous avons posée, un élève a répondu que c'est parce que la moitié des élèves dormait, et que l'autre moitié était intéressée par « autre chose ». Beaucoup d'élèves semblaient être d'accord avec cette appréciation. Cependant, une frange d'élèves a réfuté cette réponse. Ce qui semblait signifier qu'elles étaient, en ce qui les concerne, calmes parce qu'elles étaient plutôt attentives à ce que faisait l'enseignant.

La technique de l'entretien collectif semi-dirigé avec les élèves a été certes efficace. Cependant, elle s'est déroulée parfois dans un environnement très bruyant, occasionné par les éclats de rires, des interventions simultanées d'élèves, etc., avec un impact négatif sur le son de l'enregistrement audio/vidéo. Par ailleurs, en raison des contraintes du temps que nous avons pour la réalisation de l'expérimentation, nous n'avons pas pu tester suffisamment les protocoles d'entretien. Ce qui nous a amenés à poser des questions parfois pas très précises.

Concernant les enseignants, les entretiens semi-dirigés que nous avons réalisés avec chacun d'eux, leur ont permis de se prononcer librement sur les apports du simulateur

d'oscilloscope. Mais, ces entretiens se sont déroulés au sein de l'établissement dans des conditions quelque fois difficiles (pas de salle disponible pour faire l'entretien, environnement bruyant, ou au mieux salle avec écho avec des entrées et sorties d'autres personnes).

7.3.4. Du traitement et de l'analyse des données de la recherche

Nous avons eu recours à deux types d'approches : une approche quantitative et une approche qualitative.

7.3.4.1. De l'approche quantitative

Nous avons utilisé une approche quantitative pour traiter, d'une manière générale, les données des questionnaires d'enquête et celles du pré-test et du post-test. Elle nous a permis de dresser une statistique descriptive de ces données et d'analyser, au moyen de test d'hypothèses, les relations entre données quantitatives (scores, gain relatif d'apprentissage, SRR, ICS, Niveau de participation, Niveau de pratique de la pédagogie d'apprentissage, etc.). L'importance du traitement quantitatif réside en ce qu'il donne une vue rapide sur les informations recherchées. Il a concerné notamment le contrôle des variables extrinsèques (âge, catégorie socioprofessionnelle des parents, fréquence d'utilisation des TIC, etc.) et l'analyse quantitative des liens éventuels entre variables. Le traitement quantitatif a été facilité par l'utilisation des logiciels Excel 2013 et SPSS 20. Cependant, nous avons eu quelques difficultés pour le traitement quantitatif des données concernant l'appréciation de la compétence TIC des élèves, notre conception du questionnaire ayant été relativement complexifiée à ce niveau.

D'autre part, notre étude n'a pas trouvé de lien entre le gain relatif d'apprentissage et l'attitude des élèves envers la physique. Cela pourrait être dû à la manière dont nous avons traité les attitudes des élèves envers la physique. En effet, en ce qui concerne l'attitude des élèves envers la physique, nous avons conçu le questionnaire en nous basant sur le modèle du questionnaire ROSE⁵⁹ de Le Hebel et al. (2014, p. 208) relatif à l'attitude des élèves envers la science. Dans ce modèle, contrairement au nôtre, les items ont été analysés item par item, selon le genre, et classés en quatre sections : « ma classe de science », « ce que je pense de la science et de la technologie », « moi et ce que je trouve intéressant d'apprendre » et « moi et ma future profession ». Les résultats ont été présentés selon ces 4 sections. Cependant, ils n'ont pas été analysés par rapport au gain relatif d'apprentissage.

Nous avons également utilisé le traitement quantitatif en tant qu'aide à l'analyse qualitative, en déterminant les fréquences d'apparition des occurrences des indicateurs de pratique de la démarche POE et de la pédagogie d'apprentissage.

⁵⁹ ROSE = Relevance Of Science Education

7.3.4.2. De l'approche qualitative

Nous nous sommes référés au modèle de Rutten et al.(2015) pour analyser la pratique de la démarche d'investigation de l'enseignant, et l'implication des élèves dans cette démarche. Pour ce faire, nous avons utilisé l'approche de l'analyse de contenu pour identifier les indicateurs des pratiques de l'enseignant (démarche d'investigation, pédagogie d'apprentissage, etc.), et des indicateurs de comportements des élèves. Ainsi, nous avons codé les différents types de chaque question (rappel, prédiction, observation, explication, et autres). Le codage des types de questions nous ont permis, plus tard de calculer, deux types de scores : SRR (Student Response Rate, le taux de réponse des élèves aux questions posées par l'enseignant pendant la pratique de la démarche d'investigation), et l'ICS (Inquiry Cycle Score, score correspondant au nombre de cycles d'investigation apparus dans lors de la pratique de la démarche). Nous nous sommes basés uniquement sur les transcriptions vidéo pour réaliser le codage de ces indicateurs. En raison de l'insuffisance de la qualité du son, il se peut que nous ayons perdu des informations importantes. Par conséquent, il se peut qu'un cycle que nous avons considéré comme POE puisse couvrir des domaines autres que celui de la démarche d'investigation en raison du passage d'une question d'observation à une question d'explication. Car en effet, toutes les questions d'observation, et d'explication ne sont pas forcément liées à la démarche d'investigation. Ce qui pourrait constituer un biais important.

Nous avons également utilisé l'analyse du contenu pour identifier les indicateurs de la pratique pédagogique de l'enseignant, mais aussi le comportement des élèves, en termes d'attention, et de participation. Pour la pratique pédagogique de l'enseignant, il s'agit notamment des indicateurs correspondant à l'implication cognitive et motivationnelle (ICM), l'implication et engagement dans la tâche (IET), la régulation Interactive (RI), le Renforcement et l'évaluation des réponses-élèves (RER), et le climat social (CS). N'ayant pas pu obtenir une vue globale sur l'ensemble des élèves de classe, en raison de la limite d'ouverture des caméras utilisées pour l'enregistrement des séquences de cours, il se peut également que nous ayons perdu des informations importantes. Là aussi, cela pourrait constituer un biais important.

En outre, pour l'analyse du contenu des observations directes de classes *in situ* ou des entretiens semi-dirigés réalisés, nous avons utilisé un traitement manuel. Il présente l'avantage de la matérialisation des données mais l'inconvénient est qu'il amène le chercheur à « fouiller » les transcrits sur support papier, pour les traitements et les analyses (Wanlin, 2007, p. 265). Un traitement sur logiciel, avec Nvivo par exemple, permettrait de mécaniser les tâches reliées au codage, d'automatiser les analyses, réaliser rapidement des calculs et statistiques, et d'obtenir les résultats avec une plus grande rapidité, selon Wanlin. Cependant, en raison des contraintes de temps, il n'a pas été possible de paramétrer le logiciel et de l'utiliser.

L'approche qualitative nous a aussi permis d'identifier les indicateurs des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope, des effets cognitifs et des éléments de connaissance sur le rôle du simulateur d'oscilloscope.

7.3.4.3. Volume et durée des traitements des données au regard du périmètre de l'étude

La question de l'efficacité de l'utilisation des TIC dans l'enseignement-apprentissage a toujours préoccupé de nombreux chercheurs (Clark, 1994 ; Russell, 2001 ; Joy & Garcia, 2019). Pour Joy & Garcia (2019, p. 36), l'on ne peut se prononcer sur l'efficacité d'un enseignement utilisant les simulations informatiques, par rapport à un enseignement traditionnel, uniquement à partir des scores au pré-test et au post-test, tant que les connaissances antérieures, l'aptitude des élèves, les styles d'apprentissage, l'effet-maître, la familiarité des élèves avec les technologies, et la méthode d'enseignement du professeur, n'ont pas été contrôlés. Cette considération nous a amenés, dans le cadre de notre recherche, à explorer trois questions importantes portant respectivement sur l'efficacité d'un tel enseignement instrumenté, les facteurs et les conditions favorisant un tel enseignement-apprentissage, mais aussi sur les perceptions des élèves et des enseignants concernant les effets cognitifs de cette technologie. Ce qui a engendré l'évaluation des effets d'un nombre important de variables indépendantes concernant cette efficacité. Cette approche constitue certes une force pour l'étude mais elle augmente le périmètre de la recherche. Ce qui donne lieu à un grand volume de traitements qui peut impacter négativement sur les délais de production et de diffusion des résultats comme nous avons pu le constater dans le cas de notre travail.

7.3.4.4. Du traitement des variables et des relations analysées dans l'étude

Nous avons basé principalement notre stratégie méthodologique en nous inspirant des travaux de Jimoyiannis & Komis (2001), Sarabando et al.(2014) et Rutten et al.(2015). Cependant, au regard de la spécificité et du caractère exploratoire de notre étude, nous n'avons pas utilisé nos variables de la même manière.

Les variables que nous avons considérées comme variables explicatives de la variable expliquée, le gain relatif d'apprentissage, caractérisant la compréhension des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale, sont la situation d'enseignement, l'attitude des élèves envers la physique, les scores reliés à la pratique de la démarche d'investigation POE (ICS, SRR), la pratique de la pédagogie d'apprentissage, l'utilisation pédagogique du simulateur d'oscilloscope, et les conditions d'utilisation. Cependant l'analyse factorielle des correspondances multiples (ACM), que nous avons effectuée dans la section 6.1.2.4, a indiqué comme variables de discrimination, le genre, le type d'établissement, le groupe-classe, la situation d'enseignement, et le type de groupe. Mais au regard de nos hypothèses, nous ne les avons pas testées. Ces variables, en plus de l'âge, ont été utilisées par Jimoyiannis & Komis (2001), comme variables explicatives. Leurs effets ont été notés par l'étude.

Pour les pratiques des enseignants, tant au niveau de la démarche d'investigation qu'au niveau de la pédagogie d'apprentissage, nous nous sommes référés au modèle MFS-TST (Lopes et al., 2010) pour structurer la recherche de nos indicateurs. Dans le cas de notre étude, nous avons traité séparément la pratique de la démarche d'investigation POE et la pratique de la pédagogie d'apprentissage contrairement à Sarabando et al.(2014), dans leur étude. Les

informations que nous avons demandées aux enseignants avant l'expérimentation, sur leurs pratiques d'enseignement, n'ont pas été exploitées. Pour l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, nous avons proposé une grille d'observation différente de celle à laquelle Rutten et al. (2015, p. 1238) se sont référés pour évaluer l'utilisation de la simulation pour la construction du sens des concepts.

7.4. Perspectives de recherches futures

L'analyse des forces et des faiblesses de l'étude exploratoire a révélé des limites tant au niveau du dispositif d'expérimentation qu'au niveau de l'utilisation pédagogique du simulateur d'oscilloscope et des conditions d'utilisation. Dans la perspective d'une prise en compte de ses faiblesses, il serait bien de mener d'autres recherches tendant à confirmer ou pas les résultats de notre étude.

7.4.1. Recherche confirmatoire

Cette recherche pourrait être caractérisée par un dispositif d'expérimentation amélioré, une formation des enseignants à l'utilisation pédagogique du simulateur d'oscilloscope et la même question de recherche que la présente étude.

7.4.1.1. Du dispositif d'expérimentation de la recherche confirmatoire

Ce dispositif d'expérimentation comprendra : Un vidéoprojecteur à focale courte avec une luminosité forte et un support préinstallé, un écran de projection préinstallé, au moins deux caméras (grand angle d'ouverture) pour l'enregistrement des séquences de cours, préinstallées au plafond, une devant (orientée vers les élèves) et une derrière (orientée vers l'enseignant), le poste de l'enseignant préparé à l'avance (prise électrique de connexion, câble de connexion au vidéoprojecteur, table positionnée de sorte à offrir une vue de l'enseignant sur l'écran de projection), un ordinateur portable + le simulateur d'oscilloscope installé, et un environnement moins lumineux, et calme.

Avant la mise en œuvre de l'expérimentation, des enseignements utilisant des simulations informatiques seront mis en œuvre, dans d'autres leçons, en vue de familiariser les élèves au dispositif expérimental de sorte qu'ils n'y fassent pas attention le jour de l'expérimentation.

7.4.1.2. Scénario d'intégration pédagogique et formation des enseignants

L'analyse des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope, a montré des faiblesses au niveau de la manière dont les enseignants l'ont utilisé pour faire comprendre les concepts. De ce fait, la perspective d'une recherche confirmatoire nécessitera donc : l'élaboration d'un scénario d'utilisation du simulateur d'oscilloscope en situation d'enseignement/apprentissage, la formation des enseignants à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope et à la mise en œuvre du scénario proposé, un test de mise en œuvre du scénario avant l'expérimentation.

7.4.1.3. De la question de recherche

La question de recherche portera toujours sur l'efficacité de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, en classe entière, concernant la compréhension des caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale, dans le même contexte que celui de l'étude exploratoire avec un contrôle de plusieurs variables, au sens de Joy & Garcia (2019, p. 36). D'autres types de simulations pourraient également faire l'objet d'étude au même moment afin de tester l'applicabilité du scénario proposé.

7.4.2. De l'apport d'une pédagogie inversée axée sur un dispositif hybride

7.4.2.1. Justification et problématique

Très peu d'heures de cours sont consacrées à l'enseignement de la leçon sur les caractéristiques de la tension alternative sinusoïdale en classe de quatrième. Le programme officiel prescrit une séance de cours d'1h30 par an. Nous avons pu observer que dans ce laps de temps, l'élève n'a pas le temps de s'approprier les concepts enseignés. Dans ces conditions, un dispositif d'apprentissage hybride ne pourrait-il pas combler le déficit de temps par le recours à une pédagogie de type inversé, adapté à l'enseignement dans le secondaire ? Une anticipation sur le cours pourrait être explorée à travers un dispositif hybride de formation.

7.4.2.2. Définition et intérêt du dispositif

Le terme « hybride » renvoie à un dispositif basé à la fois sur l'apprentissage en présentiel, et l'apprentissage à distance, « ... *une articulation de moments de formation en présentiel et à distance (...)* » (Charlier et al., 2006, p. 482). Un enseignement s'appuyant sur un tel dispositif recourt à une pédagogie dite inversée ou de classe inversée. Cette approche, pensée surtout pour l'enseignement supérieur, est présentée comme un moyen de rendre « *[l]'*enseignement davantage centré sur les apprenants (Tennant, McMullen & Kacznski, 2010 ; Mostrom & Blumberg, 2012), favorisant des modalités d'apprentissage actif et plus collaboratif (Hmelo-Silver & Barrows, 2008 ; Harris & Harvey, 2000). » (Guilbault & Viau-Guay, 2017, p. 2). Elle vise, selon les auteurs, l'égalité des chances de réussite de tous les élèves motivés à apprendre.

Pour Guilbault et Viau-Guay, citant Lage, Platt & Treglia (2000), il s'agit de faire faire aux élèves tout ce qui est traditionnellement fait en classe, et faire en classe tout ce qui est fait à la maison. Ainsi, les élèves prennent connaissance du cours à la maison et en classe, ils confrontent leur compréhension concernant les notions étudiées, à travers des exercices actifs. L'essai que nous avons réalisé avec les élèves, pendant l'étude exploratoire avait suscité un certain engouement à leur niveau. Ainsi, après avoir trouvé une méthodologie d'évaluation de l'utilisation des simulations par les élèves, à distance, nous pourrions encore adresser la question de recherche sur l'efficacité de l'enseignement/apprentissage en classe entière.

7.4.2.3. De la question de recherche

La question de recherche portera toujours sur l'efficacité d'un enseignement utilisant un simulateur d'oscilloscope, en classe entière, en examinant les effets du dispositif hybride sur les performances des élèves. Ainsi, elle tentera de répondre à un ensemble de questions, comme par exemple : cette approche affecte-t-elle significativement les performances des élèves concernant la compréhension des concepts ? Les élèves ayant utilisé le simulateur d'oscilloscope avant le cours présentiel, en classe entière, sont-ils plus performants ? Ce dispositif affecte-t-il la motivation des élèves à l'apprentissage de la physique ? Quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves ? Convient-il à tous les élèves ? Affecte-t-elle significativement les performances des élèves dans les séries littéraires comme dans les séries scientifiques ?

7.4.3. Et si on intègre un exerciceur et d'autres outils TIC comme aides didactiques complémentaires ... ?

7.4.3.1. De la proposition d'un kit numérique d'aides didactiques

Ze (2017) a montré que les élèves étaient très motivés à apprendre les sciences physiques⁶⁰ avec une simulation informatique associée à un exerciceur. Vu l'importance de la motivation, dans l'apprentissage, nous estimons qu'associer à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope un exerciceur améliorera significativement l'apprentissage.

Dans l'application de l'approche pédagogique par les compétences (APC), les enseignants élaborent des situations d'apprentissage. En général, ces situations d'apprentissage sont données sous forme de textes, sur support papier, écrit en français, la langue d'enseignement. Parfois, les situations d'apprentissage proposées aux élèves ne sont pas de nature à favoriser la réflexion des élèves car, comme le signale I. K. Koffi (2017, p. 98), « *les pratiques prescrites [dans la situation proposée] ne laissent pas le choix à l'apprenant d'exprimer ses propres idées* ». Par ailleurs, K. Nguessan (2015, p. 1), a signifié que l'utilisation de bandes dessinées pour présenter une situation d'apprentissage s'était avérée plus efficace que des textes sur support papier. Étant donné l'importance de la situation d'apprentissage, dans la mesure où c'est elle qui présente la problématique (problème à résoudre, question à traiter, production à réaliser), dans un contexte donné, l'ensemble des tâches, et d'activités liées aux connaissances, nous estimons que la présentation d'une bande dessinée animée, affectera positivement l'apprentissage et de manière significative.

7.4.3.2. Déploiement du kit numérique d'aides didactiques

La mise en œuvre d'une classe inversée consiste à mettre, sur une plateforme accessible à distance, par les élèves comme par l'enseignant, des ressources avant le cours à réaliser, en lien avec ces ressources (Nizet & Meyer, 2016 ; Guilbault & Viau-Guay, 2017). Nous

⁶⁰ En Côte d'Ivoire, il s'agit de la discipline Physique--Chimie

proposons que ces ressources soient constituées de : une capsule vidéo pour annoncer le cours et les consignes, une bande dessinée animée présentant la situation d'apprentissage, une simulation informatique destinée à l'apprentissage, et un exerciceur associé à la simulation informatique.

7.4.3.3. De la problématique et des questions de recherche

En nous inspirant de l'étude de Nizet & Meyer (2016), mais aussi de celle de Bernard Coulibaly sur l'analyse d'une situation didactique instrumentée sur une plateforme d'apprentissage à distance (Coulibaly, 2010, p. 326), nous inscrivons cette recherche dans la problématique suivante : Comment soutenir les apprentissages conceptuels et procéduraux liés aux concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale, utilisant un simulateur d'oscilloscope, en classe entière dans le contexte naturel de l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire ?

Cette recherche servira trois objectifs principaux : 1) Objectif 1 : Evaluer l'efficacité de l'apprentissage dans un enseignement utilisant un simulateur d'oscilloscope, en classe entière, en examinant les performances des élèves qui ont eu accès au dispositif et ceux qui n'ont pas eu accès au dispositif. Ainsi, la question de recherche portera sur l'efficacité de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope en classe entière pour l'apprentissage de ces concepts. 2) Objectif 2 : Analyser la situation d'apprentissage instrumentée à distance pour comprendre, comment, par groupe de 3 ou 4 élèves, les élèves construisent la compréhension du sens des concepts de période et fréquence sens d'une tension alternative sinusoïdale; 3) Comprendre comment la mise en œuvre d'un dispositif de classe inversée contribue à l'amélioration de l'apprentissage des concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale (Appropriation des ressources par les élèves ; la caractérisation de la dynamique présentielle de l'enseignant et des élèves).

Le tableau 103 présente la synthèse du chapitre 7.

Hypothèses	Résultats de l'étude (l'hypothèse est-elle vérifiée ?)	Conformité avec les recherches antérieures	Apports / limites / perspectives
H1 : Les groupes-classes expérimentaux obtiendront un gain relatif d'apprentissage significativement plus élevé que les groupes-classes témoins.	Pas totalement : <ul style="list-style-type: none"> • Significatif dans le cas de B et C ; • Non significatif dans le cas de A • Moins efficace que la méthode traditionnelle 	Travaux de <ul style="list-style-type: none"> • Lara, Smetana & Bell (2014). • Ünlü & Dökme (2011) • Hallman et al. (2009) 	Documenter la littérature scientifique sur l'utilisation de la simulation en classe entière. Améliorer le dispositif expérimental et les tests de recherche Nouvelle étude avec une plateforme de formation à distance avec pédagogie inversée
H2 Le gain relatif d'apprentissage dépend de l'attitude envers la discipline des élèves des groupes-	Non mais l'attitude des élèves envers la discipline a été améliorée après l'expérimentation.	Résultat d'amélioration des attitudes envers la discipline conforme au	Améliorer la méthode de traitement

classes, au départ de l'apprentissage.		résultat de l'étude d'Ulukök & Sari (2016).	
H3 : Le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend du SRR	Non	-	-
H4 : Le SRR dépend de l'ICS	Non	Contrairement à Rutten et al. (2015) qui ont trouvé une corrélation entre les deux, nous n'avons pas trouvé de lien de causalité.	
H5 : Le gain relatif d'apprentissage des groupes-classes dépend de leur niveau de participation dans le cours.	Non	-	-
H6 Le niveau de participation globale des groupes-classes dépend du niveau de pratique de la pédagogie de l'apprentissage de l'enseignant.	Non	-	-
H7 : Les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes peuvent être expliqués par l'utilisation du simulateur d'oscilloscope par l'enseignant	Vérifiée en partie : Cas de B et C.	Résultats sur le temps d'utilisation conformes aux résultats de l'étude de Sarabando et al. (2016). Résultats sur le moment d'utilisation conforme à la déclaration de Spodniakovà (2015).	Documenter la littérature scientifique sur les scénarios d'utilisation en contexte naturel en classe entière. Mieux former les enseignants à l'utilisation pédagogique du simulateur.
H8 : Les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes dépendent des conditions d'utilisation du simulateur	Probablement : Certains élèves ont été déconcentrés par le déconfort dû au dispositif d'expérimentation, les bruits extérieurs, les conditions de projection, la présence du chercheur, ...	Conditions de projection, notamment concernant la visibilité de l'image : résultat conforme à celui de Ratompomalala (2012).	Améliorer le dispositif d'expérimentation (installations, matériel de projection, etc.)
H9 L'utilisation du simulateur d'oscilloscope favorisera la concentration des élèves ainsi que la mémorisation, et la compréhension des notions de fréquence et période	Oui : Perception d'une facilitation de la compréhension, de la mémorisation, de la concentration, la motivation. Perception de la réalité d'une l'expérimentation matérielle, physique.	Résultats conformes à ceux trouvés dans l'étude de Spodniakovà (2015), et de Ze (2017) pour la motivation. Perception d'une expérimentation réelle, conforme aux travaux de (Hughes, 1999; Humphreys, 2004 ; Norton & Suppe, 2001) cités par Greca et al. (2014)	

Tableau 103. Synthèse du chapitre 7

Conclusion générale

L'objectif de cette étude exploratoire était de comprendre comment et dans quelles conditions utiliser un simulateur d'oscilloscope pour faire comprendre les concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4^{ème}, niveau collège, dans le contexte naturel de l'enseignement secondaire général en Côte d'Ivoire. Elle a été menée autour des trois questions centrales suivantes : un enseignement utilisant un simulateur d'oscilloscope, en classe entière, affecte-t-il significativement la compréhension des élèves concernant les concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale en classe de 4^{ème}, au collège en Côte d'Ivoire ? Quels sont les facteurs qui favorisent un tel enseignement dans un tel contexte ? Quelles sont les perceptions des élèves et des enseignants, participant à l'étude, concernant les effets cognitifs de l'utilisation du simulateur d'oscilloscope pour l'apprentissage des concepts de période et fréquence de la tension alternative sinusoïdale ?

Le recours à un cadre théorique multi-référencé, et à une méthodologie mixte de recherche, à la lumière des hypothèses que nous avons formulées en lien avec la pratique de la démarche d'investigation POE (Prédiction-Observation-Explication) pour l'enseignement de la physique, la pratique d'une pédagogie efficace de l'apprentissage, les attitudes des élèves envers la physique, la manière d'utiliser le simulateur d'oscilloscope, et les conditions de son utilisation, a permis d'adresser les trois questions. Ainsi, concernant l'efficacité de l'enseignement-apprentissage utilisant le simulateur d'oscilloscope, les performances de cinq groupes-classes expérimentaux ont été évaluées par rapport à celles de cinq groupes-classes témoins, tenus respectivement par cinq enseignants A, B, C, D et E, appartenant à quatre lycées publics. L'étude a montré qu'il y a une différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes expérimentaux et témoins des enseignants B et C, qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes de l'enseignant A, et que les groupes-classes expérimentaux des enseignants D et E, ont réalisé des gains relatifs d'apprentissage inférieurs à ceux de leurs groupes-classes témoins respectifs, avec une différence statistiquement significative dans le cas de l'enseignant E. Malgré ce résultat mitigé, il faut noter que les scores réalisés au post-test dans tous les groupes-classes expérimentaux ont été supérieurs à ceux des groupes-classes témoins, excepté dans le groupe-classe témoin de l'enseignant C.

Concernant les effets respectifs, dans les groupes-classes expérimentaux, des attitudes des élèves envers la physique, de l'implication des élèves dans la pratique de la démarche d'investigation POE de l'enseignant, de leur participation au cours grâce à la pratique d'une pédagogie de l'apprentissage par l'enseignant, et des conditions de l'utilisation pédagogique du simulateur d'oscilloscope, sur le gain relatif d'apprentissage, l'étude n'a pas trouvé, statistiquement, de liens de causalité. Elle n'a pas non plus établi de corrélations significatives entre la pratique de la démarche POE de l'enseignant et l'implication des groupes-classes expérimentaux. Néanmoins, celles-ci (la pratique et l'implication) ont connu une relative amélioration que dans les groupes-classes témoins.

En ce qui concerne l'utilisation du simulateur d'oscilloscope, trois scénarios d'intégration pédagogique du simulateur ont été mis en évidence, au cours de cette expérimentation, par les enseignants qui étaient libres d'utiliser le simulateur d'oscilloscope à leur convenance. Ce qui constitue, pour nous, un résultat majeur, en absence de connaissance sur la question. Par ailleurs, l'analyse a montré que ce sont les groupes-classes expérimentaux des enseignants qui ont utilisé plus longtemps le simulateur d'oscilloscope au moment où ils abordaient la construction des connaissances relatives au concepts de période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale, qui ont réalisé les gains relatifs d'apprentissage les plus statistiquement significatifs par rapport à leur groupe-classe témoin. Cependant, dans l'ensemble, les pratiques de la démarche d'investigation POE avec le simulateur d'oscilloscope par les enseignants, ont été insuffisantes. D'autre part, les conditions d'enseignement, avec le simulateur d'oscilloscope, n'étaient ni complètement défavorables, ni complètement favorables, notamment en ce qui concerne la visibilité de l'image projetée du simulateur, la place de certains élèves et de certains enseignants, l'intensité de la chaleur, du bruit, et les intrusions des élèves n'appartenant pas à la classe. Dans ces conditions l'attention et la concentration de certains élèves, sur le cours, ont été perturbées.

Au plan cognitif, l'étude a révélé que l'utilisation du simulateur d'oscilloscope a facilité la compréhension des concepts, la mémorisation des informations données par l'enseignant. Elle a aidé certains élèves à être relativement plus attentifs, plus concentrés, et plus motivés concernant l'apprentissage. Des élèves ont trouvé que les pratiques expérimentales avec le simulateur d'oscilloscope étaient semblables aux expériences réelles. Grâce à ses fonctionnalités, le simulateur d'oscilloscope a également joué un rôle, les résultats ont mis en évidence le rôle important joué par le simulateur d'oscilloscope dans l'apprentissage en ayant permis, à partir des évènements produits sur son écran, des mises en relation des concepts avec les évènements du monde physique.

Ces résultats auraient certainement été meilleurs si l'étude n'avait pas présenté quelques limites qu'il faudrait aplanir. Il s'agit, notamment : d'améliorer le dispositif d'expérimentation (caméras à grande ouverture, pré-installation du matériel de projection (écran, vidéoprojecteur à focale courte), poste de travail de l'enseignant, ...), la procédure de l'expérimentation (administration du questionnaire et du pré-test en dehors de l'heure de cours, mise à disposition de ressources didactiques à distance (capsule vidéo, situation d'apprentissage, exerciceur et activités d'appropriation ou de découverte, simulateur d'oscilloscope), augmenter le temps d'expérimentation, ...), formation des enseignants à l'utilisation du simulateur d'oscilloscope (pratique de la démarche d'investigation POE, mise en œuvre de scénarios d'intégration pédagogique imposé, ...), d'améliorer les conditions de l'expérimentation (luminosité, bruit, intrusions externes, ...), les outils de recueil et de traitement des données (élaboration de test de recherche aidant à la prise de conscience de l'activité engagée (Perraudau, 2006, p. 68) pour comprendre les concepts étudiés), de la formation des élèves (accès aux ressources, à distance, manipulation du simulateur d'oscilloscope, ...).

Après avoir partagé les résultats de ce travail avec le MENET-FP, puis apporté des réponses aux faiblesses identifiées dans la présente étude, une recherche plus vaste, sera nécessaire pour confirmer ou pas l'efficacité de l'enseignement utilisant le simulateur d'oscilloscope, en classe en entière, pour faire comprendre les concepts de période et fréquence

d'une tension alternative. Un projet, d'une telle envergure, qui s'inscrit dans l'appropriation d'une innovation (Coulibaly & Hermann, 2015), sera bénéfique, non seulement aux collèges normaux, mais aussi et surtout dans des collèges dits de proximité, situés en zones rurales, où un enseignant de physique-chimie, enseigne également la discipline Sciences et Vie de la Terre. Dans le système de l'éducation nationale, de l'enseignement technique et de la formation professionnelle ivoirien, ces enseignants sont connus sous la désignation d'« enseignants bivalents ». La réalisation de cette recherche d'envergure aura besoin d'être soutenue et accompagnée (Pelgrum et al., 2004, pp. 131-132).

BIBLIOGRAPHIE

- Académie des sciences. (2004). *L'enseignement scientifique et technique dans la scolarité obligatoire : École et collège*.
- ADEA. (2016). *Conclusion du Forum ministériel africain : Il est urgent d'accélérer l'intégration des TIC dans l'éducation et la formation* | ADEA. Dialogue sur l'éducation pour le leadership et le changement. <http://www.adeanet.org/fr/actualites/conclusion-du-forum-ministeriel-africain-il-est-urgent-d-accelerer-l-integration-des-tic>
- Albero, B. (2004). Technologies et formation : Travaux, interrogations, pistes de réflexion dans un champ de recherche éclaté. *Savoirs*, 5(2), 9. <https://doi.org/10.3917/savo.005.0009>
- Albert, M. (1991). *Capitalisme contre capitalisme*. (Paris: Seuil, Vol. 11).
- Altet, M., Paré Kaboré, A., & Sall, H. N. (2015). *OPERA Observation des Pratiques Enseignantes dans leur Rapport avec les Apprentissages des élèves*.
- Altinok, N. (2007). Capital humain et croissance : L'apport des enquêtes internationales sur les acquis des élèves. *Économie publique/Public economics*, 18-19. <http://journals.openedition.org/economiepublique/4762>
- Amazon. (2020). *Acer X113H DLP 2800Ansil Vidéoprojecteur 800 x 600 Pixels : Amazon.fr : Informatique*. <https://www.amazon.fr/Acer-X113H-2800Ansil-Vid%C3%A9oprojecteur-pixels/dp/B00K1FJUAK>
- Arnold, J. (2006). Comment les facteurs affectifs influencent-ils l'apprentissage d'une langue étrangère ? *Ela. Etudes de linguistique appliquée*, n° 144(4), 407-425.
- ARTCI. (2019). *Tarifs Internet*. <http://www.artci.ci/index.php/Internet/tarifs-internet.html>
- Association for the Development of Education in Africa (ADEA), & ICT Task Force. (2014). *The integration of ICT into education and training systems in Africa : The cases of Argentina, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Paraguay, Senegal, Tunisia and Uruguay = l'intégration des TIC dans les systèmes d'éducation et de formation en Afrique. Expériences de l'Argentine, du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, du Paraguay, du Sénégal, de la Tunisie et de l'Uruguay*. Association for the Development of Education in Africa (ADEA) [etc. <http://www.adeanet.org/en/publications/the-integration-of-ict-into-education-and-training-systems-in-africa>
- Astolfi, J.-P., & Develay, M. (2002). Didactique des sciences et processus d'apprentissage. *Cairn info*, 65-97.
- Attenoukon, S. A. (2011). *Technologies de l'information et de la communication (TIC) et rendement académique en contexte universitaires béninois : Cas des apprenants en droit de l'Université d'Abomey-Calavi*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/5139>
- Awokou, K. (2007). Enseignement télévisuel et radio éducation en Afrique occidentale francophone de 1960 à 1980, un bilan contrasté. <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article13>
- Azoh, F.-J., Koutou, C., & Soumahoro, F. (s. d.). *Rapport Côte d'Ivoire [PANAF/ROCARE]*. École Normale Supérieure, Abidjan.
- Bachelet, D. R. (2013). *L'évaluation d'impact des projets*. 66.
- Bächtold, M. (2012a). Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation. *T*, 38, 6-39.
- Bächtold, M. (2012b). Epistémologie et didactique de la physique : Le constructivisme en question. *Tréma*, 38, 1-5.

- Bacro, F., Guimard, P., Florin, A., Ferrière, S., & Gaudonville, T. (2017). Bien-être perçu, performances scolaires et qualité de vie des enfants à l'école et au collège : Étude longitudinale. *Enfance*, *N° 1*(1), 61-80.
- Baribeau, C. (1996). La rétroaction vidéo et la construction des données. *Revue des sciences de l'éducation*, *22*(3), 577-598. <https://doi.org/10.7202/031894ar>
- Baron, G.-L. (2007). *Informatique, environnements et ressources informatisés dans l'enseignement obligatoire : Points de repère sur la France*.
- Barrette, C. (2009). Métarecherche sur les effets de l'intégration des TIC en pédagogie collégiale. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire / International Journal of Technologies in Higher Education*, *6*(2-3), 18-25. <https://doi.org/10.7202/1000008ar>
- Barrouillet, P., Camos, V., Morlaix, S., & Suchaut, B. (2008). Progressions scolaires, mémoire de travail et origine sociale : Quels liens à l'école élémentaire ? *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, *162*, 5-14. <https://doi.org/10.4000/rfp.719>
- Baya-Laffite, N. (2018). Sociologie d'internet. *Revue d'anthropologie des connaissances*, *Vol. 12*, *N°1*(1), 95-101.
- Beauchemin, J., Hutchins, T. L., & Patterson, F. (2008). Mindfulness Meditation May Lessen Anxiety, Promote Social Skills, and Improve Academic Performance Among Adolescents With Learning Disabilities. *Complementary Health Practice Review*, *13*(1), 34-45. <https://doi.org/10.1177/1533210107311624>
- Beaufils, D., & Richoux, B. (2003). *Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique*. http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/23925/DIDASKALIA_2003_23_9.pdf?sequence=1
- Bécu-Robinault, K. (2007). Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques. *Aster*.
- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S., & Ploetzner, R. (2010). Collaborative Inquiry Learning : Models, Tools, and Challenges. *International Journal of Science Education*. http://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/21303/ssoar-ijse-2010-03-bell_et_al-collaborative_inquiry_learning_models.pdf?sequence=1
- Benoit-Chabot, G., & Denis, P. (2018). Accroître sa performance académique : Le rôle des préférences d'apprentissage. *Revue des sciences de l'éducation*, *44*(2), 129-163. <https://doi.org/10.7202/1058115ar>
- Berger, J.-L., & D'Ascoli, Y. (2011). Les motivations à devenir enseignant : Revue de la question chez les enseignants de première et deuxième carrière. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, *175*, 113-146. <https://doi.org/10.4000/rfp.3113>
- Bernard, F.-X. (2006). *L'impact cognitif des dispositifs médiatiques sur les enfants d'âge préscolaire en situation d'apprentissage avec un adulte. Etude d'un cas de simulateur informatique dans le contexte d'une exposition scientifique*. versité René Descartes - Paris V.
- Berthon, J. (2007). Les stratégies d'apprentissage. Comment accompagner les élèves dans l'apprentissage des savoirs, Michel Perraud, 2006. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, *40*(1), 165-167.
- Bêty, M.-N. (2010). *Changement conceptuel*.pdf. *Canadian Journal for New Scholars in Education*, *3*(1).
- Beuscart, J.-S., Dagiral, E., & Parasie, S. (2016). Sociologie d'internet—Introduction. In *Sociologie d'internet* (p. 223). Armand Colin. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01412633>
- Blaya, Cathérine. (2010). *Décrochages scolaires : L'école en difficulté*. <http://concourspe.e-monsite.com/medias/files/le-decrochage-scolaire-blaya.pdf>
- Bogui, M. J.-J. (2007). *Intégration et usages des Technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'Éducation en Afrique: Situation de l'enseignement supérieur en Côte d'Ivoire(2003-2005)*. 426.

- Boidou, B. N. (2019). *Facteurs d'influence de l'impact d'un usage partagé du tableau blanc interactif sur la performance scolaire dans un établissement secondaire général de Côte d'Ivoire* [Sciences de l'éducation]. Université de Cergy Pontoise.
- Boilevin, J.-M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants*. De Boeck Supérieur.
- Bork, A. M., & Peckham, H. (1971). *Computer Needs for Teaching Physics*.
- Boro, I. (2011). *Utilisation des TIC dans l'enseignement secondaire et développement des compétences des élèves en résolution de problèmes mathématiques au Burkina Faso*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/5349>
- Borst, G. (2016). Raisonement et apprentissages des sciences : Résistance cognitive, heuristiques et conceptions naïves. *Administration Education*, N° 152(4), 25-31.
- Bossé, É. (2012). *Analyse de contenu épistémologique de manuels de mathématiques destinés aux élèves du deuxième cycle du primaire*. 149.
- Bouffard, T. (2018). *Le sentiment d'efficacité personnelle de l'élève et de l'enseignant : La source de leur motivation et de leur réussite*. 38.
- Boulanger, P.-M. (2004). *Les indicateurs de développement durable : Un défi scientifique, un enjeu démocratique*. 24.
- Bourgeois, É. (2003). Les styles d'apprentissage en formation : Enjeux théoriques, épistémologiques et pratiques. *Savoirs*, n° 2(2), 29-41.
- Bousquet, F., Barreteau, O., Mullon, C., & Weber, J. (2013). *Modélisation d'Accompagnement : Systèmes Multi-Agents et Gestion des Ressources Renouvelables*. <http://www.commod.org/content/download/4291/32120/version/1/file/accompagnement.pdf>
- Brousseau, G. (2011). La théorie des situations didactiques en mathématiques. *Éducation et didactique*, 5(1), 101-104. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1005>
- Buty, C. (2000). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*. <http://www.inrp.fr/Didactique/These/PhysChim/Buty.htm>
- Buty, C. (2003). Richesses et limites d'un « modèle matérialisé » informatisé en optique géométrique. *Didaskalia*, 23, 39-63.
- Calmettes, B., & Boilevin, J.-M. (2014). Le modèle « investigation-structuration » et l'actualité des tensions autour des constructivismes. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 9, 103-128. <https://doi.org/10.4000/rdst.856>
- Canal, J.-L. (2007). *Conceptions des élèves sur le circuit électrique, leurs comparaisons avec d'autres modes de transfert d'énergie*. 101, 791-815.
- Cappelletti, L. (2010). Vers un modèle socio-économique de mesure du capital humain ? *Revue française de gestion*, n° 207(8), 139-152.
- Chambat, P. (1994). Usages des technologies de l'information et de la communication (TIC) : Évolution des problématiques. *Technologies de l'information et société*, 6(3), 249-270.
- Chaptal, A. (2007). Usages prescrits ou annoncés, usages observés. *Document numérique*, Vol. 10(3), 81-106.
- Chartand, S.-G., & De Koninck, G. (2009). *La clarté terminologique pour plus de cohérence et de rigueur dans l'enseignement du français (suite)*. http://www.enseignementdufrancais.fse.ulaval.ca/fichiers/site_ens_francais/modules/document_section_fichier/fichier__094cfbafd7e7__qf_clarte_terminologique_2_2009.pdf

- Chartier, D. (2003). Les styles d'apprentissage : Entre flou conceptuel et intérêt pratique. *Savoirs*, 2, 7-28. <https://doi.org/10.3917/savo.002.0007>
- Chauvet, F., & Duprez, C. (2003). Environnement d'apprentissage fondé sur une simulation. *Communication proposée aux 3ème rencontre de l'ARDIST. Toulouse*, 9.
- Chédru, M. (2015). Impact de la motivation et des styles d'apprentissage sur la performance scolaire d'élèves-ingénieurs. *Revue des sciences de l'éducation*, 41(3), 457-482. <https://doi.org/10.7202/1035313ar>
- Chekour, M., Laafou, M., & Janati-Idrissi, R. (2015). « Les facteurs influençant l'acquisition des concepts en électricité. Cas des lycéens marocains » Adjectif [En ligne]. Mis en ligne le Jeudi 08 août 2015. *Adjectif*. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article354>
- Chen, Y.-L., Pan, P.-R., & Chang, K.-E. (2013). *Correcting Misconceptions on Electronics : Effects of a simulation-based learning environment backed by a conceptual change model*. http://www.ifets.info/journals/16_2/18.pdf
- Choisir-vidéoprojecteur. (2020). *Vidéoprojecteur : Distance/taille écran et rapport de projection*. <https://www.choisir-vidéoprojecteur.fr/distance-taille-ecran>
- Cilianu-Lascu, C. (2001). La congruence entre enseignement, apprentissage et évaluation. *Dialogos*, 2(4), 30-35.
- Cishahayo, F. (2011). *Communication, développement et appropriation des médias émergents en Afrique francophone subsaharienne : Approche critique*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/4847>
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 21-29. <https://doi.org/10.1007/BF02299088>
- Codol, J.-P. (1988). Qu'est-ce que le cognitif? *C.N.R.S. Editions | « Hermès, La Revue »*, 3(n° 3), 172 à 178.
- Colonna, J.-F. (1993). Expériences virtuelles et virtualités expérimentales. *Réseaux. Communication - Technologie - Société*, 11(61), 79-96. <https://doi.org/10.3406/reso.1993.2404>
- Corbin, L., Moissenet, A., & Camos, V. (2012). Fonctionnement de la mémoire de travail chez des enfants présentant des difficultés scolaires. *Developpements*, n° 11(2), 5-12.
- Corroy, L. (2013). *Le comportement des jeunes face aux Technologies de l'information et de la communication*. <https://www.euroguidance-france.org/wp-content/uploads/2014/07/Le-comportement-des-jeunes-face-aux-TICE.pdf>
- Côte d'Ivoire, Groupe Consultatif PND 2016-2020. (s. d.). *RESUME PND 2016-2020*. Consulté 13 octobre 2019, à l'adresse http://www.gcpnd.gouv.ci/fichier/doc/ResumePND2016-2020_def.pdf
- Coulibaly, B. (2010). Situation a-didactique et dispositif d'apprentissage instrumenté : Cas de construction de projets de service. *Questions Vives. Recherches en éducation*, 4(13), 325-342.
- Coumaré, M. (2010). *La formation à distance (FAD) et les technologies de l'information et de la communication pour l'éducation (TICE) au service de la professionnalisation des enseignants au Mali : Une approche évaluative de dispositifs expérimentaux*. 459.
- Courtillot, D., & Ruffenach, M. (2006). *Enseigner les Sciences physiques*. 7.
- Crahay, M., & Dutrévis, M. (2015). *Psychologie des apprentissages scolaires*. De Boeck Supérieur.
- Creemers, B. P. M., & Kyriades, L. (2006). *A critical analysis oh the current approaches to modeling educational effectiveness : The importance of establishing a dynamic model*. http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39270180/Paper_on_the_dynamic_model_at_sesi.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1491730635&Signature=2BbU8CyH

z%2FegkQX6YAYs2dmxpQA%3D&response-content-
disposition=inline%3B%20filename%3DCritical_analysis_of_the_current_approac.pdf

- Dakouré, E. (2012, juillet 20). *Promotion de dispositifs multimédias au Burkina Faso : Pratiques, discours et stratégies d'acteurs*. <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article166>
- Daniel, B. M., & Mian, B. S. A. (2017, juin 23). *Enjeux et perspectives des usages des TIC dans la profession d'éducateurs*. <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article433>
- Debande, O., & Vincent, V. (2012). *Investir dans le capital humain*. Academia. https://perso.uclouvain.be/vincent.vandenberghe/Investir_Capital_Humain_Presentation.pdf
- Decamps, S., Lièvre, B. D., & Depover, C. (2009). Entre scénario d'apprentissage et scénario d'encadrement. *Distances et savoirs, Vol. 7(2)*, 141-154.
- Degni, E., & Touré, S. (s. d.). *L'introduction de l'informatique dans le système éducatif en Côte d'Ivoire*. Consulté 26 septembre 2019, à l'adresse http://ces.ci/uploads/saisine_avis/l-introduction-de-l-informatique-dans-le-systme-ducatif-en-cote-d-ivoire.pdf
- Degni, E., & Touré, S. (1986). *Introduction de l'informatique dans l'éducation en Côte d'Ivoire* (p. 25).
- Déliou, H.-P. (2014). Pratiques de l'enseignement des sciences expérimentales et de la technologie en cycle 3 dans un milieu multiculturel : Cas de la Guyane. *Education. Université Paris V*, 454.
- Demba, H. A. (2013). *Étude exploratoire des représentations des enseignants concernant l'usage de la simulation en physique-chimie au secondaire en Côte d'Ivoire* [Mémoire de master].
- Desalmand, P. (1986). Une aventure ambiguë : Le programme d'éducation télévisuelle (1971-1982). *Politique africaine, 24*, 91-103.
- Diallo, A. (2011). *Les TIC à l'école élémentaire : Étude du processus de construction des usages pédagogiques des TIC chez des instituteurs sénégalais*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/5051>
- Diallo, D., & Diaoune, T. M. (2019, février 25). *Étude exploratoire de la prise en compte des TICE dans les Écoles Normales d'Instituteurs (ENI) de Guinée*. <http://www.adjectif.net/spip>. http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article490&var_mode=calcul
- Djédjé, V. (2007). *Implantation des technologies de l'information et de la communication (TIC) par des directrices et enseignants de deux écoles secondaires en Côte d'Ivoire*.
- Djeumeni Tchamabe, M. (2011). *Les pratiques pédagogiques des enseignants avec les TIC au Cameroun entre politiques publiques et dispositifs techno-pédagogiques; compétences des enseignants et compétences des apprenants; pratiques publiques et pratiques privées*. Université Paris Descartes.
- Droui, M., & El Hajjami, A. (2014). *Simulations informatiques en enseignement des sciences : Apports et limites*. <https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1404e.htm>
- DSRP Gouv.ci. (2009). *Stratégie de Relance du Développement et de Réduction de la Pauvreté*. http://www.gouv.ci/doc/DSRP_FINAL%20RCI_Def.pdf
- Dubé, F., & Rivard, M.-P. (2009). Les troubles d'apprentissage au postsecondaire : De la reconnaissance des besoins à l'organisation des services. *Pédagogie collégiale, 23(1)*, 17-22.
- Dufour, A., & Ghernaouti-Hélie (D), S. (2006). Qu'est-ce qu'Internet ? *Que sais-je?, 10e éd.*(3073), 5-17.
- Dupin, J.-J., & Johsua, S. (1987). Conceptions of french pupils concerning electric circuits : Structure and evolution. *Journal of Research in Science Teaching, 24(9)*, 791-806. <https://doi.org/10.1002/tea.3660240903>

- Duroisin, N., Temperman, G., & De Lièvre, B. (2011). Effets de deux modalités d'usage du tableau blanc interactif sur la dynamique d'apprentissage et la progression des apprenants. *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Conférence EIAH'2011*, 257-269. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00692008>
- Egly, M. (1986). L'Utilisation De La Télévision Scolaire Au Niger, En Côte d'Ivoire Et Au Sénégal. *International Review of Education*, 32(3), 338-346. <https://doi.org/10.1007/BF02426069>
- Embse, N. von der, & Hasson, R. (2012). Test Anxiety and High-Stakes Test Performance Between School Settings : Implications for Educators. *Preventing School Failure: Alternative Education for Children and Youth*, 56(3), 180-187. <https://doi.org/10.1080/1045988X.2011.633285>
- Eme, E., & Rouet, J.-F. (2002). Aspects métacognitifs dans l'apprentissage de la lecture-compréhension. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 31/1. <https://doi.org/10.4000/osp.4871>
- EPS. (2013). *The importance of physics to the economies of Europe*. https://cdn.ymaws.com/www.eps.org/resource/resmgr/policy/EPS_economyExSummary2013.pdf
- Erdogan, S. C. (2017). Science Teaching Attitudes and Scientific Attitudes of Pre-service Teachers of Gifted Students. *Journal of Education and Practice*, 8(6), 164-170.
- Eyssautier, C., Jean, S., & Pernin, P. (2009). Un modèle de processus de gestion de profils d'apprenants. *EIAH'2009*, 69-76.
- Farrokhnia, M. R., & Esmailpour, A. (2010). A study on the impact of real, virtual and comprehensive experimenting on students' conceptual understanding of DC electric circuits and their skills in undergraduate electricity laboratory. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 5474-5482. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.893>
- Feyfant, P. A. (2011). *Les effets de l'éducation familiale sur la réussite scolaire*. 14.
- Flessas, J. (1997). *L'impact du style cognitif sur les apprentissages*. 18.
- Fofana, A. (2017). *L'approche par compétences dans le système éducatif ivoirien : Sous la direction de Abou Fofana*. Éditions universitaires européennes.
- Fontaine, A. (2015). La cristallographie, fondement essentiel des sciences et des technologies. *Reflets de la physique*, 44-45, 2-2. <https://doi.org/10.1051/refdp/20154445002>
- Frasing, F., & Cardinael, G. (1998). *L'aide informatique aux travaux pratiques de physique : Avant, pendant et après la manipulation*. 6.
- Gaidioz, P., Vince, J., & Tiberghien, A. (2004). Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 98(866), 1029-1042.
- Galand, B. (2017). *Quels sont les effets de la différenciation pédagogique sur les dimensions cognitives et socio-affectives?* 12.
- Gardner, H., & Bonin, Y. (2004). *Les intelligences multiples*. Paris: Retz, 3.
- Gashmardi, M. R., Azimi-Meibodi, N., & Zohrevandi, A. (2015). La relation entre les attitudes et la motivation des apprenants iraniens du FLE, et le choix et l'utilisation des stratégies d'apprentissage. *LiBRI. Linguistic and Literary Broad Research and Innovation*, 4(1 & 2). https://www.academia.edu/35877497/la_relation_entre_les_attitudes_et_la_motivation_des_apprenants_iraniens_du_fle_et_le_choix_et_lutilisation_des_strategies_dapprentissage
- Gaussel, M. (2016). *Ce que la recherche nous dit sur les styles d'apprentissage (ou retour sur un mythe tenace)* [Billet]. Édupass. <https://edupass.hypotheses.org/1049>

- Gérard, F.-M. (2003). L'évaluation de l'efficacité d'une formation. *Recherches et publications en management ABSL*, 18.
- Gilles, J.-L., & Mélon, S. (2000). Comparaison de trois modalités de « testing » des compétences en français chez les étudiants médecins lors de leur première candidature à l'ULg. *La maîtrise du français du niveau secondaire au niveau supérieur*, 161-178.
- Giordan, A., & Girault, Y. (1994). *Les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones*. http://www.unesco.org/education/pdf/325_95.pdf
- Goigoux, R. (2007). Un modèle d'analyse de l'activité des enseignants. *Éducation et didactique*, 1(vol 1-n°3), 47-69. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.232>
- Gosselin, M.-A., & Ducharme, R. (2017). Détresse et anxiété chez les étudiants du collégial et recours aux services d'aide socioaffectifs. *Service social*, 63(1), 92-104. <https://doi.org/10.7202/1040048ar>
- Greca, Ileana Maria, Seoane, E., & Arriasecq, I. (2014). Epistemological Issues Concerning Computer Simulations in Science and Their Implications for Science Education. *Science & Education*, 23(Issue 4), 897-921.
- Grimes, D., & Warschauer, M. (2008). Learning with laptops : A multi-method case study. *Journal of Educational Computing Research*, 38(3), 305-332.
- Guilbault, M., & Viau-Guay, A. (2017). La classe inversée comme approche pédagogique en enseignement supérieur : État des connaissances scientifiques et recommandations. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 33(33(1)). <http://journals.openedition.org/ripes/1193>
- Guyomar, A. (2011). *Nsertion d'un dispositif d'enseignement basé sur les Technologies de l'Information et de la Communication « Une approche systémique afin de favoriser le passage de l'intentionnel vers l'opérationnel »*. Université de Cergy-Pontoise.
- Hallman, G., Paley, I., Han, I., & Black, B. (2009). *Possibilities of Haptic Feedback Simulation for Physics Learning*. 7.
- Halwachs, F. (1975). La physique du maître entre la physique du physicien et la physique de l'élève. *Revue française de pédagogie*, 33, 19-29. JSTOR.
- Harasim, L. M. (1993). *Global Networks : Computers and International Communication*. MIT Press.
- Hennessy, S. (2006). *Integrating technology into teaching and learning of school science : A situated perspective on pedagogical issues in research*. https://www.researchgate.net/profile/Sara_Hennessy/publication/234646461_Integrating_Technology_into_Teaching_and_Learning_of_School_Science_A_Situated_Perspective_on_Pedagogical_Issues_in_Research/links/57093ec208ae8883a1fa5131.pdf
- Hennessy, S., Wishart, J., Whitelock, D., Deane, R., Brawn, R., La Velle, L., McFarlane, A., Ruthven, K., & Winterbottom, M. (2007). Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching. *Computers & Education*, 48(1), 137-152.
- Houssaye, J. (1984). *Le triangle pédagogique*. http://shs-app.univ-rouen.fr/civiic/archives/le_triangle_pedagogique.pdf
- Hughes, W. R. (1973). *A study of the use of computer simulated experiments in the physics classroom* [Doctoral dissertation]. The Ohio State University.
- Hugon, P. (2003). La Côte d'Ivoire : Plusieurs lectures pour une crise annoncée. *Afrique contemporaine*, n° 206(2), 105-127.
- Jaakkola, T., & Nurmi, S. (2004). *Academic impact of learning objects : The case of electric circuits*. <http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00003702.htm>

- Jacobi, D. (2001). Savoirs non formels ou apprentissages implicites? *Recherches en communication*, 15(15), 169-184.
- Jeannin, L., Veillard, L., & Tiberghien, A. (2010). Appropriation de nouvelles ressources d'enseignement par des professeurs de physique-chimie en seconde. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 1, 267-292. <https://doi.org/10.4000/rdst.235>
- Jellab, A. (2018). Anne Barrère. —Au cœur des malaises enseignants, Paris, Armand Colin, Paris, 2017, 208 p. *L'Année sociologique*, Vol. 68(1), e15-e18.
- Jemaa, B., & Boilevin, J.-M. (2016). Impact de la démarche d'investigation par simulation des ondes mécaniques sur le raisonnement des élèves. *Actes des 9èmes rencontres de l'ARDIST*, 7.
- Jimoyiannis, A., & Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning : A case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers & Education*, 36(2), 183-204. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(00\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(00)00059-2)
- Joy, E. H., & Garcia, F. E. (2019). Measuring Learning Effectiveness : A New Look at No-Significant-Difference Findings. *Online Learning*, 4(1). <https://doi.org/10.24059/olj.v4i1.1909>
- Karsenti, T. (1998). *Etude de l'interaction entre les pratiques pédagogiques d'enseignants du primaire et la motivation de leurs élèves*. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33274779/RAP-karsenti-7-1998.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1534068840&Signature=VQfb8fnv%2FW6qcZuUv2mM54qT%2BdY%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DEtude_de_linteraction_entre_les_pratique.pdf
- Karsenti, T. (2003). Plus captivantes qu'un tableau noir : L'impact des nouvelles technologies sur la motivation à l'école. *Revue de la fédération suisse des psychologues*, 6, 24-29. *Revue de la fédération suisse des psychologues*, 6, 24-29.
- Karsenti, T. (2008). Favoriser la motivation et la réussite en contexte scolaire : Les TIC feront-elles mouche? *Vie pédagogique*, 127.
- Karsenti, T. (2009). *Intégration pédagogique des TIC en Afrique : Stratégies d'action et pistes de réflexion/Pedagogical use of ICT in Africa : Teaching and reflecting strategies*. (Ottawa: CRDI). <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/39163/128404.pdf?sequence=1>
- Karsenti, T. (2016, octobre 18). Les technologies ont-elles un réel impact sur la réussite scolaire? Par Thierry Karsenti, Ph. D. *éducO - le blogue d'innovation pédagogique*. <https://www.cforp.ca/educO/les-technologies-ont-elles-un-reel-impact-sur-la-reussite-scolaire/>
- Karsenti, T., Peraya, D., & Viens, J. (2002). Conclusion : Bilan et perspectives de la recherche sur la formation des maîtres à l'intégration pédagogique des TIC. *Revue des sciences de l'éducation*, 28(2), 459-470.
- Keely, B. (2007). *Le capital humain. Comment le savoir détermine la vie. Les essentiels*. https://read.oecd-ilibrary.org/education/le-capital-humain_9789264029118-fr
- Khan, S. (2011). New Pedagogies on Teaching Science with Computer Simulations. *Journal of Science Education and Technology*, 20(3), 215-232. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9247-2>
- Klein, P. D. (1997). Multiplying the Problems of Intelligence by Eight : A Critique of Gardner's Theory. *Canadian Journal of Education / Revue canadienne de l'éducation*, 22(4), 377-394. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/1585790>
- Kollöffel, B., & Jong, T. (2013). Conceptual understanding of electrical circuits in secondary vocational engineering education : Combining traditional instruction with inquiry learning in a virtual lab. *Journal of engineering education*, 102(3), 375-393.
- Kouadio, A. (2007). L'enseignement général et l'enseignement technique et professionnel en Côte d'Ivoire : Quelle articulation pour quels enjeux ? *Carrefours de l'éducation*, n° 24(2), 217-232.

- Kouakou-Innocent, K. (2010, décembre 26). *Les conceptualisations des élèves ivoiriens concernant les interactions mécaniques en physique* [Text]. <http://www.radisma.info>. <http://www.radisma.info/document.php?id=1021>
- Kouawo, A. (2011). *Que pensent les enseignants et les élèves du secondaire des TIC? : Une étude des représentations sociales au Niger*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/5410>
- Kuehn, P. R. (2019). *Function and Importance of Pre and Post-Tests*. Owlcation. <https://owlcation.com/academia/PrePost-Test-A-Diagnostic-Tool-For-More-Effective-Teaching-of-EFL-Students>
- Kukkonen, J. E., Kärkkäinen, S., Dillon, P., & Keinonen, T. (2014). The Effects of Scaffolded Simulation Based Inquiry Learning on Fifth Graders Representations of the Greenhouse Effect. *International Journal of Science Education*, 36(3), 406-424. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.782452>
- Lafay, G. (1976). Compétitivité, spécialisation et demande mondiale. *Economie et Statistique*, 80(1), 25-36. <https://doi.org/10.3406/estat.1976.2356>
- Lafortune, L., & Deaudelin, C. (2003). *Conceptions, croyances et représentations en maths, sciences et technos*. PUQ.
- Lafortune, L., & Mongeau, P. (2002). *L'affectivité dans l'apprentissage*. PUQ.
- Lafortune, L., & Solar, C. (2003). *Femmes et Maths, Sciences et Technos*. PUQ.
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and Learning A Model-Centered Approach*. <http://www.tau.ac.il/~ilia1/franco-landriscina---auth-.pdf>
- Lapointe, L., Québec (Province), & Ministère de l'éducation. (2003). *Les difficultés d'apprentissage à l'école cadre de référence pour guider l'intervention*. Ministère de l'éducation. <http://www4.bnquebec.ca/pgq/2004/2900306.pdf>
- Le Hebel, F., Monpied, P., & Fontanieu, V. (2014). Les attitudes des élèves de 15 ans en France à propos des sciences. *RDST*, 10, 183-212. <https://doi.org/10.4000/rdst.950>
- L'Écuyer, R. (2011). *Méthodologie de l'analyse développementale de contenu*. PUQ.
- Leray, C. (2008). *L'Analyse de Contenu : De la Théorie à la Pratique, la Méthode Morin-Chartier*. PUQ.
- Lessard-Hébert, M., Boutin, G., & Goyette, G. (1997). *La recherche qualitative : Fondements et pratiques*.
- Liefooghe, C. (2010). Économie créative et développement des territoires : Enjeux et perspectives de recherche. *Innovations*, n° 31(1), 181-197.
- Lieury, A., & Fenouillet, F. (2013). *Motivation et réussite scolaire*. Dunod.
- Logossah, K. D. (1994). Capital humain et croissance économique : Une revue de la littérature. *Économie & prévision*, 116(5), 17-34. <https://doi.org/10.3406/ecop.1994.5696>
- Loiret, P.-J. (2007). *L'enseignement à distance et le supérieur en Afrique de l'ouest : Une université façonnée de l'extérieur ou renouvelée de l'intérieur?* 501.
- Lopes, J., Cravino, J., & Alberto Silva, A. (2010). *Effective Teaching for Intended Learning Outcomes in Science and Technology (Metilost)*.
- Lutangu Seleti, S. (2001). *Memoire Online—Difficultés de formulation des objectifs opérationnels et perspectives de la mise en oeuvre de l'approche par compétences. Cas des enseignants des écoles secondaires de la Commune de Makala*. Memoire Online. https://www.memoireonline.com/09/12/6112/m_Difficultes-de-formulation-des-objectifs-operationnels-et-perspectives-de-la-mise-en-oeuvre-de-l4.html

- Mabilon, T.-E. (2017). Archiscola : Un concours international d'idées pour penser l'école de demain. *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE*, 43, Article 43. <http://journals.openedition.org/edso/1994>
- Mabilon-Bonfils, B. (2005). Violence de l'institution scolaire et massification scolaire. *Pratiques du champ social*, 73-111.
- Mabilon-Bonfils, B. (2012a). *Méthodologie qualitative* [EC312-Cours de méthodologie qualitative DU Techedu 2012-2013].
- Mabilon-Bonfils, B. (2012b). Les « pratiques numériques », entre écrit et sociabilité. *Adolescence*, n° 79(1), 217-228.
- Mabilon-Bonfils, B. (2019). *Bien-être : Pratiquer le yoga pour mieux vivre l'école ?* <http://www.cafepedagogique.net/lexpresso/Pages/2019/01/31012019Article636845166046107329.aspx#.XFKrFTy-zwU.facebook>
- Mangenot, F. (2000). L'intégration des TIC dans une perspective systémique. *Langues Modernes*, 3 / 2000, 38-44.
- Martinez-Delgado, A. (2012). Le constructivisme radical et Socrate : Aspects pédagogiques et idéologiques. *Tréma*, 38.
- Martinot, D. (2001). Connaissance de soi et estime de soi : Ingrédients pour la réussite scolaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 27(3), 483-502. <https://doi.org/10.7202/009961ar>
- Martins, D. (1993). Facteurs affectifs et performance. *Le Psychologue*, 59-80.
- Marzin, P., Girault, I., Wajeman, C., & Cross, D. (2007). *L'utilisation d'un arbre des tâches pour concevoir et analyser des situations d'apprentissage : Trois T.P. intégrant la conception d'un protocole expérimental par les élèves, en géologie, chimie et physique*. 8.
- Masson, S., & Brault Foisly, L.-M. (2012). *Les conceptions erronées des élèves en électricité ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau*.
- Mathé, S. (2010). La « "démarche d'investigation" » dans les collèges français—Élaboration d'un dispositif de formation et étude de l'appropriation de cette nouvelle méthode d'enseignement par les enseignants. *Education*, 210.
- Mathé, S., Meheut, M., & De Hosson, C. (2008). *Investigation approach in middle school : What are the stakes?* <http://hdl.handle.net/2042/23980>
- Mazouze, B., & Lounis, A. (2015). Résolution de problèmes et apprentissage des ondes : Quels types de difficultés rencontrent les élèves ? *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 9(2), 25-40-40.
- Mélot, L. (2015). *Effet de deux modalités d'utilisation pédagogique du tableau blanc interactif sur les performances des apprenants*. 18.
- MENET-FP. (2014). *Programmes éducatifs et Guides d'exécution Physique-Chimie 4ème*.
- MENET-FP. (2017a). *Scolarisation et qualité du système éducatif, année 2016-2017* (p. 128). http://men-dpes.org/FILES/pdf/stats/rapports/rap_ana_20162017.pdf
- MENET-FP. (2017b). *Statistique de poche 2016-2017*.
- MENET-FP/DPFC. (2019). *Document de formation des enseignants de physique-chimie des établissements privés*.
- MENET-FP/DSPS. (2017). *Scolarisation et qualité du système éducatif, année 2016-2017* (p. 128).
- MENET-FP/DSPS. (2018). *Statistiques Scolaires de Poche 2017-2018*. http://www.men-dpes.org/FILES/pdf/stats/poche/poche_20172018.pdf

- MENET-FP/IGEN. (2018). *Présentation de l'Inspection générale*.
- Meyong, M. C. (2009). *Facteurs facilitant l'implantation de l'apprentissage en ligne selon les administrateurs-enseignants, les enseignants et les étudiants des ENS Camérounaises*.
- Mian, B. S. A. (2015). *Formation professionnelle et besoins des entreprises du secteur industriel d'Abidjan*. https://www.academia.edu/21716609/formation_professionnelle_et_besoins_des_entreprises_du_secteur_industriel_dabidjan
- Mian Bi, S. A. (2010). *Usages et compétence TIC en formation initiale à l'ENS d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Le cas des formateurs et des futurs enseignants*. Université de Montréal.
- Mian Bi, S. A. (2011). Le statut des TIC en éducation : Cas de la Côte d'Ivoire. *Association EPI*.
- Mian Bi, S. A. (2015). La formation pratique des enseignants en Côte d'Ivoire. *Formation et profession*, 23(3), 202-209.
- Mihindo, W. W. J., Wachanga, S. W., & Anditi, Z. O. (2017). *Effects of Computer-Based Simulations Teaching Approach on Students' Achievement in the Learning of Chemistry among Secondary School Students in Nakuru Sub County, Kenya*. 8(5), 65-75.
- Mili, A. C. M. (2013). *Les styles d'apprentissage et les styles d'enseignement : Les convergences et les divergences*. 9.
- Milot, M.-C. (1996). Place des nouvelles technologies dans l'enseignement de la physique-chimie. *Didaskalia*, 8, 97-109.
- Mollenauer, J. F. (1988). Metropolitan area networks and ATM technology. *International Journal of Digital & Analog Cabled Systems*, 1(4), 223-228. <https://doi.org/10.1002/dac.4520010408>
- Moor, D. (2017). *La dynamique du groupe-classe—CREG*. <https://creg.ac-versailles.fr/la-dynamique-du-groupe-classe>
- Morin, A. (1985). Critères de « scientificité » de la recherche-action. *Revue des sciences de l'éducation*, 11(1), 31-49. <https://doi.org/10.7202/900478ar>
- Moustapha-Sabeur, M. (2018). Evaluer par la voix et/ou le geste. Un style d'enseignement lié à l'expérience pratique ? *Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité. Cahiers de l'ApliuT*, Vol. 37 N°2. <https://doi.org/10.4000/apliut.6019>
- Musial, M., Pradère, F., & Tricot, A. (2012). *Comment concevoir un enseignement?* (Bruxelles: De Boeck).
- N'dede, B. F. (2012). *Usages pédagogiques des technologies de l'information et de la communication (TIC) par les élèves du secondaire en Côte d'Ivoire*. 11.
- Nebout Arkhurst, P. (2013). *La motivation scolaire, une clé didactique pour l'apprentissage* (Les Editions Balafons).
- Ngandeu, B. (2016, juin 28). *Apprentissage du français dans une université anglophone au Cameroun : De l'expérience du quasi-synchrone à un nouveau modèle d'intégration des TIC*. <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article399>
- Ngnoulayé, J. (2011). *Étudiants universitaires du Cameroun et les technologies de l'information et de la communication : Usages, apprentissages et motivations*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/4924>
- Nguessan, K. (2015). Contribution à l'utilisation des situations-problèmes en sciences physiques dans l'enseignement secondaire en cote d'ivoire : Cas du cycle d'observation. *Recherches Africaines*, 12. <https://revues.ml/index.php/recherches/article/view/793>

- Nguessan, K. (2016). Contribution à l'Analyse du Mode D'Évaluation des Connaissances des Éléves Dans le Manuel Intitulé Physique Chimie (Collection Arex, les Classiques Africains) : Exemple de la Mécanique en Classe de Seconde Scientifique. *Canadian Social Science*, 12(9), 79-84.
- Nguessan, K., & Kouakou, Y. J. J. (2016). *Analyse comparative des contenus des manuels scolaires de physique utilisés dans les classes de première, série scientifique de 1980 à ce jour en Côte d'Ivoire, cas de la notion d'énergie de la partie mécanique classique*. *International Journal of Current Research*, 8, (1 1), 41030 - 41039.
- Nguessan, S. K. (2016). *Les futurs enseignants de physique-chimie et le concept d'atome. Quelques représentations, difficultés et obstacles identifiés lors de leur formation professionnelle*. <http://ijcas.net/Files/CMSUserOwnFolder/issue/February-2016/14.pdf>
- Ngunu Hungu, C. (2012). *L'impact de l'intégration des logiciels éducatifs dans l'enseignement des sciences au Kenya*.
- Nizet, I., & Meyer, F. (2016). Inverser la classe : Effets sur la formation de futurs enseignants. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 32(1). URL : <http://ripes.revues.org/1059>
- Nogry, S., & Daubias, S. (2004). *Évaluation des EIAH : une nécessaire diversité des méthodes*.
- Nouhou, A. M. (2017, mars 15). *Analyse de l'évolution des rôles de superviseurs pédagogiques de l'activité enseignante, avec le numérique*. <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article425>
- Nouhou, A. M. (2019). *Impact des technologies numériques sur le développement professionnel des enseignants de mathématiques dans le système de l'enseignement secondaire au Niger*. Université Cergy Pontoise.
- OCDE. (2004). *L'apprentissage des élèves : Attitudes, engagement et stratégies* (vol 1-ch3; Apprendre aujourd'hui, réussir demain – Premiers résultats de PISA 2003). <http://www.oecd.org/education/school/programmeforinternationalstudentassessmentpisa/34473101.pdf>
- OCDE. (2016). *PISA 2015 Résultats à loupe*. <http://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus-FR.pdf>
- Olympiou, G., & Zacharia, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives : An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, 96(1), 21-47. <https://doi.org/10.1002/sce.20463>
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>
- Ouattara, B. (2019). *Quels effets pour les scénarios pédagogiques s'appuyant sur les technologies de l'information et de la communication ? Cas de la formation à distance pour l'obtention du certificat de compétences en informatique et Internet de l'Université Ouaga II (Burkina Faso)* [Sciences de l'éducation]. Université de Cergy-Pontoise.
- Ouédraogo, B. (2011). *Les déterminants de l'intégration pédagogique des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) par les enseignants à l'Université de Ouagadougou (Burkina Faso)*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/5114>
- Owens, M., Stevenson, J. S., Hadwin, J. A., & Norgate, R. (2012). *mediating factors of worry and working memory Anxiety and depression in academic performance : An exploration of the*.
- Özmen, H. (2008). The influence of computer-assisted instruction on students' conceptual understanding of chemical bonding and attitude toward chemistry : A case for Turkey. *Computers & Education*, 51(1), 423-438.
- Pacurar, E. G., Trigano, P., & Ghitalla, F. (2004). *Vers une conception des modèles prédéfinis de scénarios pédagogiques*. 8.

- Page-Lamarche, V. (2005). *Styles d'apprentissage et rendements académiques dans les formations en ligne*. Université de Montréal.
- PASEC. (2016). *PASEC2014-Performances du système éducatif ivoirien : Compétences et facteurs de réussite au primaire*. (p. 168) [PASEC.CONFEMEN]. <https://www.pasec.confemen.org/wp-content/uploads/2016/12/PASEC2014-C%C3%B4te-d'Ivoire.pdf>
- Paun, E. (2006). Transposition didactique : Un processus de construction du savoir scolaire. *Carrefours de l'éducation*, n° 22(2), 3-13.
- Pelgrum, W. J., Law, N., Unesco, & Institut international de planification de l'éducation. (2004). *Les TIC et l'éducation dans le monde : Tendances, enjeux et perspectives*. Unesco, Institut international de planification de l'éducation.
- Pelissier, L., Venturini, P., & Calmettes, B. (2007). *L'épistémologie souhaitable et l'épistémologie implicite dans l'enseignement de la physique. De l'étude sur l'enseignement en seconde à la démarche d'investigation au collège*. 8-13. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00199058/document>
- Perraudon, M. (2006). *Les stratégies d'apprentissage. Comment accompagner les élèves dans l'apprentissage des savoirs*. Armand Colin, Paris, 2006.
- Perrenoud, P. (2002). L'enseignement n'est plus ce qu'il était? *Résonances*, 6, 6-7.
- PhET. (2014). *Physics Education Technology*. Retrieved March 26, 2015. PhET. <https://phet.colorado.edu/>
- PND Côte d'Ivoire. (2016). *RESUME PND 2016-2020*. http://www.gcpnd.gouv.ci/fichier/doc/ResumePND2016-2020_def.pdf
- Poel, J. van de. (2010). *Bilan critique en matière d'utilisation pédagogique des NTIC dans le secteur de l'éducation*. https://www.academia.edu/24732249/Bilan_critique_en_mati%C3%A8re_d_utilisation_p%C3%A9dagogique_des_NTIC_dans_le_secteur_de_l_%C3%A9ducation
- Potvin, M. (2015). *Retard scolaire, difficulté ou trouble d'apprentissage?* Universitas. <https://www.universitas.ca/fr/blogue-universitas/retard-scolaire-difficulte-ou-trouble-d-apprentissage/>
- Québec (Province), Ministère de l'éducation, Vézina, G., Lapointe, L., Québec (Province), & Direction de l'adaptation scolaire et des services complémentaires. (2003). *Les difficultés d'apprentissage à l'école : Cadre de référence pour guider l'intervention*. Ministère de l'éducation, Direction de l'adaptation scolaire et des services complémentaires.
- Quintin, J.-J. (2007, juin). *L'impact du tutorat sur les performances des étudiants*
 Effet de cinq modalités d'intervention tutorale sur les performances d'étudiants engagés dans un travail collectif asynchrone. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00161540>
- Quintin, J.-J., Depover, C., & Degache, C. (2005). *Le rôle du scénario pédagogique dans l'analyse d'une formation à distance Analyse d'un scénario pédagogique à partir d'éléments de caractérisation définis. Le cas de la formation Galanet*. 7.
- Quinton, A., & Chassagne, F. (2012). *Les motivations dans l'apprentissage : Désir d'apprendre, désir d'enseigner*. 14.
- Rapport PNIASE-CI. (2012). *Programme d'investissement pour l'accès aux services énergétiques en Côte d'Ivoire* (p. 99).
- Ratompomalala, H. (2012, septembre 2). *TIC pour l'enseignement de la physique chimie au lycée : Quelles formations pour quelles utilisations ? Réalités, représentations et perspectives. Une étude contrastive réalisée en France et à Madagascar*. <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article178>

- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I., & Lahanier-Reuter, D. (2013a). Contexte—Milieu. *Hors collection, 3e éd.*, 49-54.
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I., & Lahanier-Reuter, D. (2013b). Dévolution. *Hors collection, 3e éd.*, 61-64.
- Rézeau, J. (2002). Médiation, médiatisation et instruments d'enseignement : Du triangle au « carré pédagogique ». *ASp. la revue du GERAS*, 35-36, 183-200. <https://doi.org/10.4000/asp.1656>
- Robelin, J. (2010). La dimension sociale de l'affectivité. *Noesis*, 16, 63-84.
- Roy, A. D. (2012a, août 16). *Le tableau numérique interactif en Afrique de l'Ouest : Quels usages sur le terrain ?* <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article173>
- Roy, A. D. (2012b, octobre 3). *Tablettes et liseuses : Des outils éducatifs pour les pays africains ?* <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article187>
- Russell, T. L. (2001). *The no significant difference phenomenon : A comparative research annotated bibliography on technology for distance education : as reported in 355 research reports, summaries and papers*. IDECC.
- Rutten, N., Joolingen, W. R. van, & Veen, J. T. van der. (2016). Investigating an intervention to support computer simulation use in whole-class teaching. *Learning: Research and Practice*, 2(1), 27-43. <https://doi.org/10.1080/23735082.2016.1140222>
- Rutten, N., Veen, J. T. van der, & Joolingen, W. R. van. (2015). *Inquiry-Based Whole-Class Teaching with Computer Simulations in Physics*.
- Saint-Pierre, L. (1991). L'étude et les stratégies d'apprentissage. *Pédagogie collégiale*, 5(2), 15-21.
- Sall, C. T., & Kane, S. (2007). Quand les élèves parlent de l'enseignement de la physique et de la chimie et des pratiques expérimentales au lycée. *Scientia Paedagogica Experimentalis*, XLIV(2), 139-164.
- Samuel, T., Azen, R., & Campbell-Kyureghyan, N. (2019). Evaluation of Learning Outcomes Through Multiple Choice Pre- and Post-Training Assessments. *Journal of Education and Learning*, 8(3), 122. <https://doi.org/10.5539/jel.v8n3p122>
- Sane, A. (2009). L'enseignement des sciences au Sénégal devant des choix cruciaux. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 51, 67-77. <https://doi.org/10.4000/ries.675>
- Sarabando, C., Cravino, J. P., & Soares, A. A. (2014). Contribution of a computer simulation to students' learning of the physics concepts of weight and mass. *Procedia Technolgy*, 13, 112-121.
- Sarabando, C., Cravino, J. P., & Soares, A. A. (2016). Improving student understanding of the concepts of weight and mass with a computer simulation. *Journal of Baltic Science Education*, 15(1). https://www.researchgate.net/profile/Jose_Cravino/publication/299637187_Improving_Student_Undersanding_of_the_Concepts_of_Weight_and_Mass_with_a_Computer_Simulation/links/57039f4f08ae646a9da9b54d.pdf
- Sarrazy, B. (1995). Note de synthèse. *Revue française de pédagogie*, 112(1), 85-118. <https://doi.org/10.3406/rfp.1995.1229>
- Savoie-Zajc, L. (2006). Comment peut-on construire un échantillonnage scientifiquement valide. *Recherches qualitatives*, 5, 99-111.
- Sensevy, G. (2008). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique. Une activité située ? *Recherche et formation*, 57, 39-50. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.822>

- Sensevy, G. (2012). Le jeu comme modèle de l'activité humaine et comme modèle en théorie de l'action conjointe en didactique. Quelques remarques. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 7(2), 105. <https://doi.org/10.7202/1013056ar>
- Sgard, J. (2008). L'enjeu mondial. In *Qu'est-ce qu'un pays émergent?*. In (p. 41-54). Presses de la fondation nationale des sciences politiques (PFNSP).
- Simard, C. (2001). Langue et acquisition des savoirs : Les compétences langagières dans les disciplines scolaires. *Québec français*, 123, 32-35.
- Smetana, Lara K., & Bell, R. L. (2014). Which Setting to Choose : Comparison of Whole Class vs. Small-Group Computer Simulation Use. *Journal of Science Education and Technology*, v23(4), p481-495.
- Smetana, Lara Kathleen, & Bell, R. L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning : A Critical Review of the Literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370.
- Souhaliho, C., & Mian, B. S. A. (2018, avril 14). *Les usages des TIC dans l'administration scolaire en Côte d'Ivoire*. <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article461>
- Spodniakovà Pfefferová, M. (2015). Computer Simulations and their Influence on Students' Understanding of Oscillatory Motion. *Informatics in Education*, 14(2), 279-289.
- Squillaci, M. (2017). *Neurosciences cognitives : Quels apports pour les élèves polyhandicapés ?* 6.
- Stolwijk, Cecilia, & Roy, A. D. (2011, novembre 17). *Thèses récentes sur les TICE en Afrique subsaharienne*. <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article100>
- Tamboura, Y. (2010). *Attitudes des enseignants du secondaire face à l'intégration des TIC dans les pratiques de classe : Etat des lieux des écoles concernées par l'Agenda Panafricain en Afrique francophone*. 9.
- Tchamabe, Atangana, S. N., Lamago, M. F., & Nouatcha, G. W. N. (2014). *Des chercheurs d'Afrique subsaharienne enTICE*. 59.
- Tchinkap, J.-Y. N., & Jaillet, A. (2018, septembre 7). *Usage d'un artefact numérique dans le processus d'enseignement/apprentissage des langues secondes*. <http://www.adjectif.net/spip>. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article473>
- Thompson, C. L., & Shrigley, R. L. (1986). What Research Says: *School Science and Mathematics*, 86(4), 331-343. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1986.tb11625.x>
- Tiberghien, A., & Vince, J. (2005). *Études de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique*. *Cahiers du français contemporain*, 10, 153-176.
- Toure, K. (2018). Faire la classe dans l'enseignement primaire (en Côte d'Ivoire). *Cross-Cultural Communication*, 14(3), 39-45. <https://doi.org/10.3968/10567>
- Traverso, V. (2011). *Analyser un corpus de langue parlée en interaction : Questions méthodologiques*.
- Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : Interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. *Archives-ouvertes*, 13.
- Trudel, L., Simard, C., & Vonarx, N. (2006). La recherche qualitative est-elle nécessairement exploratoire? *Recherches qualitatives*, 5, 33-55. https://www.researchgate.net/profile/Lorraine_Savoie-Zajc/publication/237504691_Comment_peut-on_construire_un_echantillonnage_scientifiquement_valide/links/560951f408ae1396914a0131/Comment-peut-on-construire-un-echantillonnage-scientifiquement-valide.pdf#page=41
- Tyndiuk, F. (2005). *Référentiels Spatiaux des Tâches d'Interaction et Caractéristiques de l'Utilisateur influençant la Performance en Réalité Virtuelle*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00162297>

- Ulukök, S., & Sari, U. (2016). The Effect of Simulation-assisted Laboratory Applications on Pre-service Teachers' Attitudes towards Science Teaching. *Universal Journal of Education Research*, 4(3), 465-474.
- UNESCO. (2017). *L'éducation en vue des objectifs de développement durable objectifs d'apprentissage*. UNESCO.
- Ünlü, Z. K., & Dökme, I. (2011). The effect of combining analogy-based simulation and laboratory activities on Turkish elementary school students' understanding of simple electric circuits. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 10(4). <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ946640.pdf>
- Venturini, P. (2004a). *Attitudes des élèves envers les sciences : Le point des recherches*.
- Venturini, P. (2004b). *Note de synthèse - Attitudes des élèves envers les sciences : Le point des recherches*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00202109>
- Venturini, P. (2005). Rapports idéal-typiques à la physique d'élèves de l'enseignement secondaire. *Didaskalia (Paris)*.
- Venturini, P. (2007). L'implication des élèves à apprendre la physique. *55e journées nationales de l'UdPPC*, 1-10.
- Venturini, P. (2012). Action, activité, « agir » conjoints en didactique : Discussion théorique. *Éducation et didactique*, 6(n°1, vol.6), 127-136. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1348>
- Venturini, P., & Amade-Escot, C. (2009). *Enseigner la physique en milieu difficile : Co-construction de la référence en classe dédoublée et en classe entière*. 23.
- Viau, R. (1995). L'état des recherches sur l'anxiété en contexte scolaire. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 2(2), 375. <https://doi.org/10.7202/1018209ar>
- Viau, R. (2000). Des conditions à respecter pour susciter la motivation des élèves. *Correspondance*, 5(3). <http://stididac.lyceehfontaine.fr/files/article/28/Des-conditions-a-respecter-pour-susciter-la-motivation-des-el-.pdf>
- Viennot, L. (1997). Former en didactique, former sur le contenu? : Principes d'élaboration et éléments d'évaluation d'une formation en didactique de la physique en deuxième année d'IUFM. *Didaskalia (Paris)*.
- Vignoli, E., & Mallet, P. (2012). Les peurs des adolescents concernant leur avenir scolaire et professionnel : Structure et variations selon le niveau scolaire, le sexe et la classe sociale. *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale, Numéro 94(2)*, 249-282.
- Vilatte, J.-C. (2007). *Méthodologie de l'enquête par questionnaire*. 56.
- Virat, M. (2016). Dimension affective de la relation enseignant-élève avec les adolescents : Revue des études longitudinales et perspective de l'attachement. *Revue de psychoéducation*, 45(2), 405-430. <https://doi.org/10.7202/1039055ar>
- Voulgre, E. (2011). *Une approche systémique des TICE dans le système scolaire français : Entre finalités prescrites, ressources et usages par les enseignants*.
- Wang, J. (2015). L'impact des stratégies et styles d'apprentissage sur le sentiment de réussite ou d'échec dans l'apprentissage de langues étrangères. *Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité. Cahiers de l'Aplut, Vol. XXXIV N° 2*, en cours. <https://doi.org/10.4000/aplut.5223>
- Wanlin, P. (2007). *L'analyse de contenu comme méthode d'analyse qualitative d'entretiens : Une comparaison entre les traitements manuels et l'utilisation de logiciels*. BILAN ET PROSPECTIVES DE LA RECHERCHE QUALITATIVE.
- Winn, W., Stahr, F., Sarason, C., Fruland, R., Oppenheimer, P., & Lee, Y.-L. (2006). Learning oceanography from a computer simulation compared with direct experience at sea. *ResearchGate*, 43(1), 25-42.

- Zacharia, Z. C. (2007). Comparing and Combining Real and Virtual Experimentation : An Effort to Enhance Students' Conceptual Understanding of Electric Circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 120-132. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00215.x>
- Zacharia, Zacharias C., Olympiou, G., & Papaevripidou, M. (2008). Effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(9), 1021-1035. <https://doi.org/10.1002/tea.20260>
- Ze, Y. S. N. (2017). *La motivation à apprendre les sciences physiques chez les élèves de 3e en contexte camerounais : L'apport des simulateurs associés à un exerciceur*. 16.
- Zietsman, A., & Hewson, P. W. (1986). Effect of instruction using microcomputer simulations and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(1), 27-39.

Index

Index des noms des auteurs

A

Académie des sciences 2, 411
ADEA..... 75, 84, 91, 411
Agence Emploi Jeunes 27, 129, 417
Albero..... 89, 90, 411
Albert 21, 22, 378, 411
Alberto Silva 419
Altet..... 8, 69, 126, 161, 162, 174, 175, 375, 411
Altinok 20, 21, 22, 411
Amazon 390, 411
Amiel..... 425
Anditi 421
Arnold 33, 34, 35, 37, 411
Arriassecq..... 101, 102, 103, 417
ARTCI..... 72, 411
Astolfi..... 47, 48, 62, 63, 64, 126, 151, 156, 174, 205, 374, 411
Atangana 90, 425
Attenoukon..... 91, 411
Awokou, 79, 411
Azen 214, 424
Azimi-Meibodi 416
Azoh 92, 411

B

Bachelet..... 141, 411
Bächtold 156, 157, 158, 159, 163, 164, 165, 166, 167, 411
Bacro 57, 411
Baribeau 10, 29, 189, 388, 409, 412
Baron, 69, 412
Barreteau 101, 413
Barrette..... 6, 412
Barrouillet 46, 412
Basque..... 70, 92, 94, 133, 412
Baya-Laffite 74, 412
Beauchemin..... 34, 412
Beaufils, 158, 412
Bécu-Robinault, 1, 64, 412
Bell..... 3, 7, 102, 113, 115, 116, 123, 136, 173, 174, 182, 380, 412, 425
Benoit-Chabot 38, 412
Berger..... 53, 54, 412
Bernard..... 115, 412
Berthon..... 7, 35, 412
Bêty 150, 151, 152, 176, 178, 207, 392, 412
Beuscart..... 74, 412
Blaya 31, 33, 412

Bogui 75, 91, 413
Boidou, 209, 413
Boilevin..... 1, 2, 61, 156, 158, 159, 163, 413, 418
Bonin 37, 416
Bork, 413
Boro 91, 413
Borst..... 2, 61, 62, 413
Bossé..... 206, 413
Bouffard, 52, 53, 413
Boulangier..... 20, 413
Bourgeois 36, 413
Bousquet 101, 413
Boutin 419
Brault Foisy 2, 44, 61, 420
Brawn..... 417
Brousseau..... 65, 144, 150, 160, 221, 346, 413
Buty .. 2, 5, 9, 62, 110, 122, 152, 153, 154, 174, 176, 194, 221, 247, 351, 383, 392, 413

C

Calmettes 163, 413, 423
Camos 45, 46, 412, 414
Campbell-Kyureghyan 214, 424
Camps 425
Canal..... 2, 23, 61, 62, 150, 413
Cappelletti..... 21, 413
Cardinael..... 3, 5, 29, 416
Cathérine 412
Cbr 22, 413
Chambat, 413
Chang 414
Chaptal..... 142, 143, 413
Chartand..... 150, 414
Chartier 36, 414, 419
Chassagne 7, 423
Chauvet 5, 414
Chédru, 38, 167, 414
Chekour..... 151, 414
Chen, 414
Cilianu-Lascu..... 245, 414
Cishahayo 91, 414
Clark 6, 174, 380, 398, 414
Codol 43, 414
Cohen-Azria..... 65, 74, 423
Cohen-Azria, 65, 74, 423
Collins..... 35, 168, 422
Colonna..... 4, 6, 98, 104, 370, 378, 414
Corbin, 45, 414
Corroy 28, 29, 414
Côte d'Ivoire..... xiii

Coumaré 91, 414
Courtillet 7, 69, 414
Crahay 45, 46, 414
Cravino 5, 116, 162, 174, 219, 419, 424, 455
Creemers 114, 414
Cross 420, 425

D

Dagiral 74, 412
Dakouré 91, 415
Daniel 34, 92, 415
Daubias 172, 422
Daunay 65, 74, 423
De Hosson 54, 67, 420
De Lièvre 182, 415
Deaney 417
Deaudelin 34, 419
Debande 21, 415
Decamps 51, 415
Degache 51, 423
Degni 81, 82, 83, 415
Delcambre 65, 74, 423
Delcambre, 65, 74, 423
Déliou 1, 415
Demba 2, 4, 7, 29, 52, 61, 65, 123, 134, 195, 211, 384, 393, 415
Denis 38, 94, 412
Depover 51, 97, 415, 423
Desalmand 79, 80, 415
Develay 47, 48, 62, 63, 64, 126, 151, 156, 174, 205, 374, 411
DGE 129, 417
Diallo 91, 415
Diaoune 91, 415
Dillon 419
Djédjé 91, 415
Djeumeni Tchamabe 78, 79, 140, 415
Dökme 5, 108, 109, 116, 380, 425
DPFC xvii, 55, 420
Droui 3, 4, 5, 115, 122, 247, 415
DSPS xvii, 56, 86, 225, 252, 420
DSRP Gouv.ci 415
Dubé 31, 415
Ducharme 34, 417
Dufour 71, 72, 415
Dupin 150, 157, 415
Duprez 5, 414
Duroisin 182, 415
Dutrévis 45, 46, 414

E

Egly 79, 80, 415
El Hajjami 3, 4, 5, 115, 122, 247, 415
Embse 34, 416

Eme 40, 48, 416
EPS 416
Erdogan 167, 416
Esmailpour 5, 108, 109, 173, 182, 416
Eyssautier 32, 416

F

Farrokhnia 5, 108, 109, 173, 182, 416
Fenouillet 7, 167, 419
Ferrière 411
Feyfant 58, 59, 60, 416
Flessas 36, 416
Florin 411
Fluckiger 28, 416
Fontaine 19, 22, 416
Fontanieu 216, 419
Friant 14, 416
Frising 3, 5, 29, 416
Fruland 426

G

Galand 52, 53, 416
Garcia 6, 398, 401, 418
Gardner 37, 416, 418
Gashmardi 167, 416
Gaudonville 411
Gaussel 35, 36, 416
Gérard 182, 416
Ghernaouti-Hélie 71, 72, 415
Gilles 182, 416
Giordan 1, 61, 64, 151, 178, 416
Girault 1, 416, 420
Goigoux 311, 331, 417
Gosselin 34, 417
Goyette 140, 419
Greca 3, 4, 5, 6, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 417
Grimes 187, 210, 387, 417
Guilbault 135, 200, 402, 403, 417
Guimard 411
Guyomar 70, 417

H

Hadwin 34, 422
Hallman 380, 417
Halwachs 48, 61, 417
Han 417
Harasim 71, 417
Hasson 34, 416
Hennessy 115, 417
Hewson 5, 151, 193, 208, 427
Houssaye 35, 417
Hughes 3, 4, 105, 417

Hugon..... 14, 417
Hutchins 34, 412

I

IGEN xviii, 55, 420
Ileana Maria 417
INS 129, 417

J

Jaakkola..... 5, 108, 109, 417
Jacobi 54, 417
Jaillet 77, 89, 90, 91, 187, 224, 425
Jean vii, 19, 32, 35, 74, 83, 98, 416
Jeannin 68, 171, 418
Jellab 50, 418
Jemaa..... 2, 61, 156, 158, 159, 418
Jimoyiannis 1, 2, 5, 61, 116, 152, 174, 182, 183, 193, 206,
207, 392, 393, 394, 399, 400, 418
Johsua..... 157, 415
Jong 5, 108, 109, 115, 122, 173, 182, 193, 194, 418
Joolingen 113, 173, 424, 455
Joy 6, 36, 398, 401, 418

K

Kane 2, 13, 167, 424
Kärkkäinen 419
Karsenti6, 7, 9, 11, 28, 29, 68, 69, 70, 76, 91, 92, 97, 128,
131, 140, 188, 193, 210, 213, 384, 392, 409, 418
Keely 21, 418
Keinonen 419
Khan 112, 116, 174, 181, 418
Klein,..... 37, 418
Kollöffel,..... 418
Komis.. 1, 2, 5, 61, 97, 116, 152, 174, 182, 183, 193, 206,
207, 392, 393, 394, 399, 400, 418
Kouadio..... 27, 28, 418
Kouakou..... vii, 2, 54, 61, 67, 418, 421
Kouakou-Innocent 2, 61, 418
Kouawo 92, 418
Koutou..... 92, 411
Kuehn 213, 419
Kukkonen 115, 419

L

La Velle..... 417
Laafou 414
Lafay, 20, 419
Lafortune 33, 34, 419
Lahanier-Reuter..... 65, 74, 423
Lamago..... 90, 425

Landriscina 3, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 419
Lapointe 30, 31, 419, 423
Lapointe, 30, 419, 423
Lara..... 3, 7, 113, 115, 116, 123, 136, 173, 174, 182, 380,
425
Law 423
Le Hebel..... 9, 167, 171, 216, 230, 397, 419
Leray 237, 238, 419
Lessard-Hébert..... 395, 419
Liefoghe 21, 419
Lieury..... 7, 167, 419
Logossah 20, 419
Loiret 92, 419
Lopes 108, 162, 242, 400, 419, 455
Lounis 2, 61, 420
Lundgren-Cayrol..... 92, 94, 133, 412
Lutangu Seleti 346, 419

M

Mabilon,..... 384, 419
Mabilon-Bonfils..... 1, viii, 13, 26, 29, 57, 218, 220, 222,
223, 419, 420
Mallet..... 34, 426
Mangenot, 76, 420
Martinez-Delgado 163, 420
Martinot 34, 420
Martins..... 34, 420
Marzin..... 2, 420
Maslow 132, 209, 420
Masson..... 2, 44, 61, 420
Mathé..... 54, 55, 66, 67, 68, 156, 157, 158, 159, 374, 420
Mazouze..... 2, 61, 420
McFarlane 417
Meheut 54, 67, 420
Mélon..... 182, 416
Mélot..... 182, 420
MENET-FP.. xviii, 1, 7, 23, 26, 28, 55, 56, 65, 66, 84, 86,
94, 95, 130, 132, 137, 148, 176, 214, 225, 252, 295,
420
Meyer 403, 404, 409, 422
Meyong 91, 420
Mian 26, 27, 28, 74, 91, 223, 415, 421, 425
Mian Bi 74, 91, 223, 421
Mihindo..... 150, 152, 182, 421
Mili 35, 36, 50, 51, 421
Milot 1, 7, 29, 421
Ministère de l'éducation.... 10, 30, 78, 189, 269, 410, 419,
423
Moissenet 45, 414
Mollenauer 71, 421
Mongeau, 33, 419
Monpied 216, 419
Moor, 145, 146, 147, 421
Morin 211, 419, 421
Morlaix 46, 412
Moustapha-Sabeur 50, 421

Mullon 101, 413
Musial.....31, 32, 68, 150, 178, 181, 194, 208, 421

N

Nebout Arkhurst..... 167, 421
Ngandeu 91, 421
Ngnoulayé 91, 421
Nguessan2, 54, 61, 67, 403, 409, 421, 422
Nguessan, 2, 61, 409, 421, 422
Ngunu Hungu77, 78, 152, 178, 179, 214, 216, 422
Nizet 403, 404, 409, 422
Nogry 172, 422
Norgate..... 34, 422
Nouatcha 90, 425
Nouhou..... 92, 303, 337, 422
Nurmi 5, 108, 109, 417

O

OCDE..... xviii, 1, 7, 21, 22, 373, 409, 422
Olympiou 5, 422, 426
Oppenheimer 426
Osborne 1, 35, 167, 168, 169, 170, 422
Ouattara..... 183, 235, 237, 238, 422
Ouédraogo 91, 422
Owens..... 34, 422

P

Page-Lamarque..... 38, 422
Paley 417
Pan..... 414
Papaevripidou..... 5, 426
Parasie 74, 412
Paré Kaboré,..... 175, 411
PASEC xviii, 22, 28, 422
Patterson..... 34, 412
Paun..... 64, 422
Peckham 3, 97, 413
Pelgrum, 423
Pelissier, 423
Peraya 193, 210, 418
Pernin 32, 416
Perraudeau..... xiii, 32, 35, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 62, 163,
164, 166, 194, 207, 368, 387, 394, 408, 412, 423
Perrenoud 53, 423
PhET 114, 116, 117, 423
Pierre.. vii, xiii, xvi, 2, 38, 39, 40, 42, 43, 45, 62, 92, 175,
423, 424
Plé gat-Soutjis 425
Ploetzner..... 173, 412
PND..... xviii, 19, 20, 137, 414, 423
PNIASE-CI xviii, 1, 16, 22, 128, 423
Poel 88, 423

Poncet 29, 423
Potvin.....31, 33, 423
Pradère31, 150, 421

Q

Québec (Province) xvi, 30, 31, 32, 35, 50, 419, 423
Quintin51, 182, 238, 423
Quinton 7, 423

R

Ratompomalala, 423
Regnier..... 29, 423
Reuter.....65, 74, 423
Rézeau 35, 424
Richoux..... 3, 62, 102, 103, 115, 122, 158, 412
Rivard 31, 415
Robelin..... 49, 424
Rouet.....40, 48, 416
Roy.....91, 424, 425
Ruffenach.....7, 69, 414
Russell6, 380, 398, 424
Ruthven..... 417
Rutten.. 7, 8, 113, 114, 116, 123, 136, 156, 158, 159, 173,
174, 182, 193, 217, 224, 240, 241, 242, 245, 337, 341,
353, 382, 383, 397, 399, 400, 424, 455
Rutten,..... 113, 173, 424, 455

S

Saint-Pierrexiii, xvi, 38, 39, 40, 42, 43, 45, 175, 424
Sall 2, 13, 167, 175, 411, 424
Sall, 411, 424
Samuel 214, 424
Sane1, 2, 7, 424
Sarabando xiii, 3, 5, 6, 107, 108, 116, 150, 162, 173, 174,
182, 213, 214, 215, 219, 312, 379, 381, 393, 399, 400,
424, 455
Sarason..... 426
Sarrazy346, 347, 424
Savoie-Zajc 140, 211, 212, 387, 393, 424, 425
Schanze 173, 412
Sensevy 9, 126, 159, 160, 311, 374, 424
Seoane..... 101, 102, 103, 417
Sgard..... 19, 424
Shrigley.....9, 167, 170, 171, 216, 425
Simard..... 14, 64, 424, 425
Simon 35, 422
Smetana3, 7, 102, 113, 115, 116, 123, 136, 173, 174, 182,
380, 425
Soares..... 5, 116, 162, 174, 219, 424, 455
Solar 35, 419
Souhaliho 91, 425
Soumahoro 92, 411

Spodniakková Pfefferová 5, 106, 116, 172
Squillaci 7, 425
Stahr 426
Stevenson 34, 422
Stolwijk 91, 425
Suchaut 46, 412

T

Tamboura 91, 425
Tchamabe 78, 79, 90, 92, 140, 415, 425
Tchinkap 91, 425
Temperman 182, 415
Thompson 9, 167, 170, 171, 216, 425
Tiberghien xiii, xvi, 2, 8, 9, 61, 62, 68, 126, 150, 152,
153, 154, 171, 176, 177, 198, 199, 221, 246, 347, 351,
392, 418, 423, 425
Toure 53, 56, 57, 425
Touré 81, 82, 83, 92, 415
Traverso 206, 425
Tricot 6, 10, 29, 31, 126, 133, 150, 172, 181, 196, 421,
425
Trudel 387, 425
Tyndiuk 197, 425

U

Ulukök 117, 118, 171, 217, 230, 330, 383, 425
Unesco 79, 423
Urhahne 173, 412

V

Van 135, 218, 223
van de 423, 424
van der 424
Veen 113, 173, 424, 455
Veillard 68, 418
Venturini 1, 8, 9, 30, 35, 68, 124, 125, 127, 148, 149, 167,
168, 169, 170, 171, 423, 426
Venturini, 1, 8, 9, 30, 35, 124, 127, 167, 168, 169, 170,
171, 423, 426

Vézina 423
Viau 34, 43, 135, 200, 402, 403, 417, 426
Viau-Guay 135, 200, 402, 403, 417
Viennot 64
Viens 193, 210, 418
Vignoli 34, 426
Vilatte 216, 426
Vince xiii, xvi, 2, 8, 9, 61, 62, 126, 150, 152, 153, 154,
171, 176, 177, 198, 199, 221, 246, 347, 351, 392, 423,
425
Vincent 21, 415
Virat 53, 426
Vonarx 425
Voulgre 95, 124, 426

W

Wachanga 421
Wajeman 420
Wang 36, 37, 38, 426
Wanlin 206, 238, 398, 426
Warschauer 187, 210, 387, 417
Weber 101, 413
Whitelock 417
Winn 4, 107, 122, 426
Winterbottom 417
Wishart 417

Z

Zacharia 5, 108, 109, 173, 182, 422, 426
Zacharias 5, 426
Ze 7, 92, 95, 116, 119, 135, 383, 403, 426
Zerbo 28, 427
Zietsman 5, 193, 208, 427
Zohrevandi 416

Index des mots clés

A

Accès à distance.....200
Action Conjointe.....iii, x, 9, 159, 160, 161, 163, 405, 424
Adjoint au Chef d'établissement.....xvii, 189, 384
Analyse de contenu.....iii, 118, 119, 205, 206, 237, 238, 245, 397, 413
Analyse factorielle.....183, 279, 399
Approche qualitative.....237, 396, 397, 398
Approche quantitative.....396
Approches par compétences.....xvii
Attitude envers la physique.....xi, xv, 216, 224, 262, 279, 323, 324, 326, 327, 329, 331, 333, 334, 373
Attitude envers les sciences.....125, 168, 169

C

Concept de physique.....1, iii, 7, 32, 48, 61, 68, 69, 93, 97, 103, 110, 122, 126, 130, 133, 138, 140, 143, 149, 151, 154, 159, 173, 174, 176, 178, 182, 244, 372, 379, 387, 392, 405, 409, 452, 453
Conditions d'utilisation.....42
Conflit cognitif.....63, 152, 165, 166
contexte naturel.....iv, 10, 124, 189, 210, 211, 219, 355, 367, 376, 384, 387, 388, 393, 399, 404, 405, 407, 409
Contexte scolaire.....30, 409, 418, 426
Côte d'Ivoire.....v, vi, xvii, xviii, 16

D

Démarche d'investigation.....67
Dispositif de formation à distance.....86, 420

E

Enseignement secondaire.....iii, iv, 1, 6, 7, 23, 24, 38, 55, 56, 77, 85, 86, 87, 116, 124, 136, 137, 181, 189, 194, 210, 219, 364, 372, 384, 399, 404, 405, 407, 409, 413, 421, 422, 426
Entretien collectif.....xi, 222, 223, 291, 387, 395, 465
Entretien individuel.....xi, 119, 221, 222, 223, 244
Entretien semi-dirigé.....i, iii, 114, 115, 118, 172, 222, 223, 244, 363, 393, 395, 396, 398, 464

Environnement d'apprentissage humain.....x, xvii, 10, 29, 89, 171, 172, 405, 415, 416, 422, 425
Espace.sandbox-jp.fr.....196, 200, 201, 202, 211, 391
Exerciseur.....xii, 92, 116, 117, 119, 120, 131, 134, 135, 383, 403, 404, 409, 426
Expérimentation virtuelle.....1, 98, 370

F

Formation à distance.....84, 87, 200, 414, 422, 423

H

Hybride.....xii, 85, 87, 401, 402

I

IDH.....xviii, 15, 20
Internet.....xiii, xvii, xix, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 86, 87, 103, 106, 114, 129, 131, 196, 200, 201, 202, 218, 225, 226, 227, 228, 229, 255, 256, 257, 258, 273, 274, 281, 391, 411, 412, 415, 422, 447, 452

M

Matérielle.....30, 85, 153
Médiation.....x, 10, 35, 52, 78, 105, 107, 108, 110, 122, 161, 162, 171, 172, 174, 176, 375, 381, 405, 424
Médiatisation.....x, 10, 52, 171, 172, 405, 424
Mémorisation.....iv, 7, 32, 44, 45, 52, 106, 186, 245, 247, 290, 293, 368, 378, 383, 407
Métacognitif.....43, 48
Métacognition.....48, 49, 62
Méthodologie.....iv, x, xi, xii, 6, 10, 83, 97, 119, 173, 176, 187, 188, 193, 195, 196, 207, 208, 209, 247, 372, 387, 391, 402, 419
Milieu.....14, 17, 31, 36, 45, 46, 87, 129, 145, 163, 216, 367, 409, 415, 423, 426
Mise en relation des concepts.....xvi, 2, 118, 154, 244, 294, 347, 354, 376, 381, 407, 409
Mixte.....iii, 87, 187, 210, 212, 251, 270, 271
Monde physique.....2, 152, 153, 196, 204, 247, 295, 347, 351, 352, 354, 386, 407, 409
Multicas.....iii, v, 7, 10, 116, 187, 210, 387

O

Objet.....x, xviii, 13, 127, 456

P

Physique.....vii, 1, 18, 66, 90, 132, 190, 261, 403, 420, 421, 446, 451
Physique-Chimie.....vii, 66, 132, 190, 420
Plateforme de formation.....196, 200, 211
POE: Prédiction - Observation - Explication.....iii, iv, v, vi, xiii, xiv, xvi, xviii, 8, 9, 123, 125, 126, 127, 158, 172, 173, 185, 236, 239, 240, 241, 242, 282, 283, 284, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 353, 354, 372, 374, 375, 381, 382, 397, 399, 400, 405, 406, 407, 408, 463
Présentiel.....85, 402
Problèmes épistémologiques.....ix, 10, 104
Processus enseignement-apprentissage.....xiii, 51, 67, 68, 69, 125, 137, 148, 155, 167, 175, 221, 222, 245, 246, 247, 287, 297, 358, 367, 381
Protocole.....63, 420, 457

Q

Question de prédiction.....240, 285, 337, 339, 340, 341, 457, 459, 460
Question de rappel.....285, 458, 460

R

Recherche exploratoire.....120, 187, 210, 384, 387
Registre sémiotique.....44, 154, 176, 177, 198, 199, 204, 207, 347, 350, 376, 381

S

Séquence de cours.....i, xi, 126, 133, 175, 178, 179, 204, 205, 206, 207, 217, 218, 221, 222, 237, 240, 241, 243, 244, 288, 291, 296, 300, 338, 339, 340, 355, 356, 357, 358, 366, 384, 385, 388, 389, 392, 394, 398, 400, 407, 408
Simulation informatique en classe entière.....iv, 113, 136, 159

T

Théorie des deux mondes.....iii, 9, 150, 152, 153, 156, 163, 176, 221, 244, 246, 405
Triangulation.....213, 392

U

Usage.....x, xiii, 7, 14, 30, 68, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 106, 122, 124, 130, 131, 133, 134, 136, 137, 138, 142, 384, 409, 412, 413, 415, 421, 423, 424, 425, 426

V

Variable dépendante.....x, 181, 182, 309
Variables de contrôle.....183, 224, 225, 227, 249, 279, 396
Variables indépendantes.....x, 110, 172, 181, 182, 183, 224
Vidéoprojecteur.....85, 178, 179, 194, 196, 202, 209, 211, 220, 221, 288, 289, 299, 362, 364, 366, 367, 376, 385, 389, 390, 391, 400, 401, 407, 411, 414, 462
Virtuel.....88, 462
Virtuelle.....134, 414, 425

Annexes A⁶¹

⁶¹ L'Annexes B est un document de 283 pages à part.

Annexe A1. Importance de la physique dans l'économie

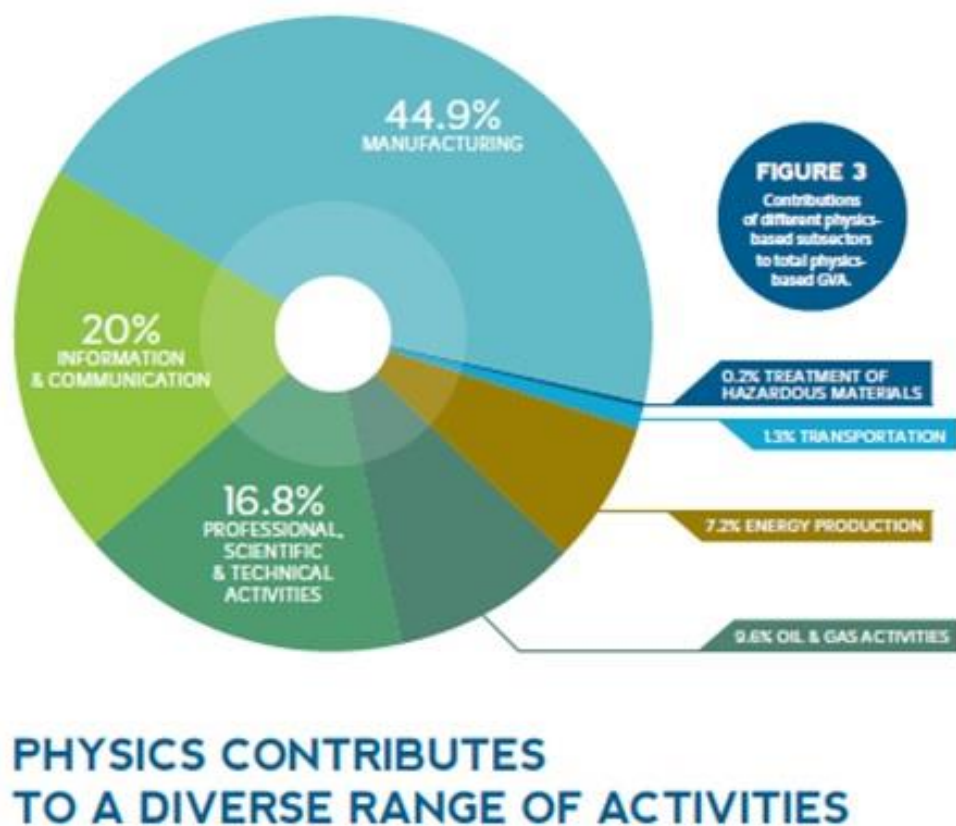


Figure 1. Importance de la physique dans l'économie européenne (EPS, 2013)

Fabrication des biens et équipements	44,9 %
Information et la communication	20%
Activités professionnelles, scientifiques et techniques (architecture et l'ingénierie)	16,8%
Activités liées au pétrole et au gaz	9,6 %
Production d'énergie	7,2 %
Transport	1,3 %
Traitement des matières dangereuses	0,2 %

Annexe A2. Indicateurs de développement du PNUD⁶²

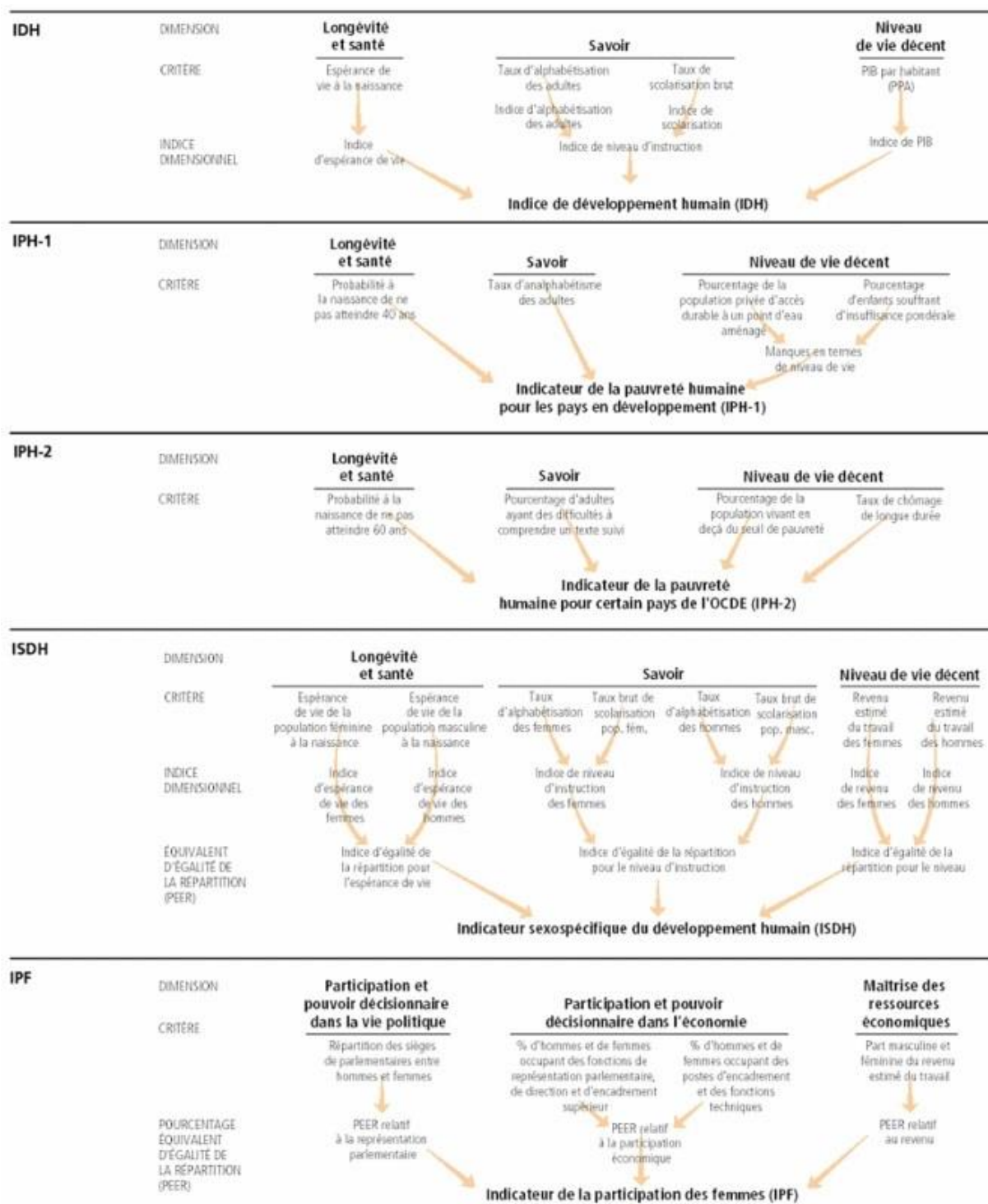


Figure 2. Indicateurs de développement du programme des nations unies pour le développement (PNUD)

⁶²<http://ses.ens-lyon.fr/articles/les-indicateurs-de-developpement-du-pnud-47729>

Annexe A3. Situation géographique de la Côte d'Ivoire



Figure 3. Situation géographique et linguistique de la Côte d'Ivoire (Leclerc, 2014)

Annexe A4. Répartition de la population selon les tranches d'âges⁶³

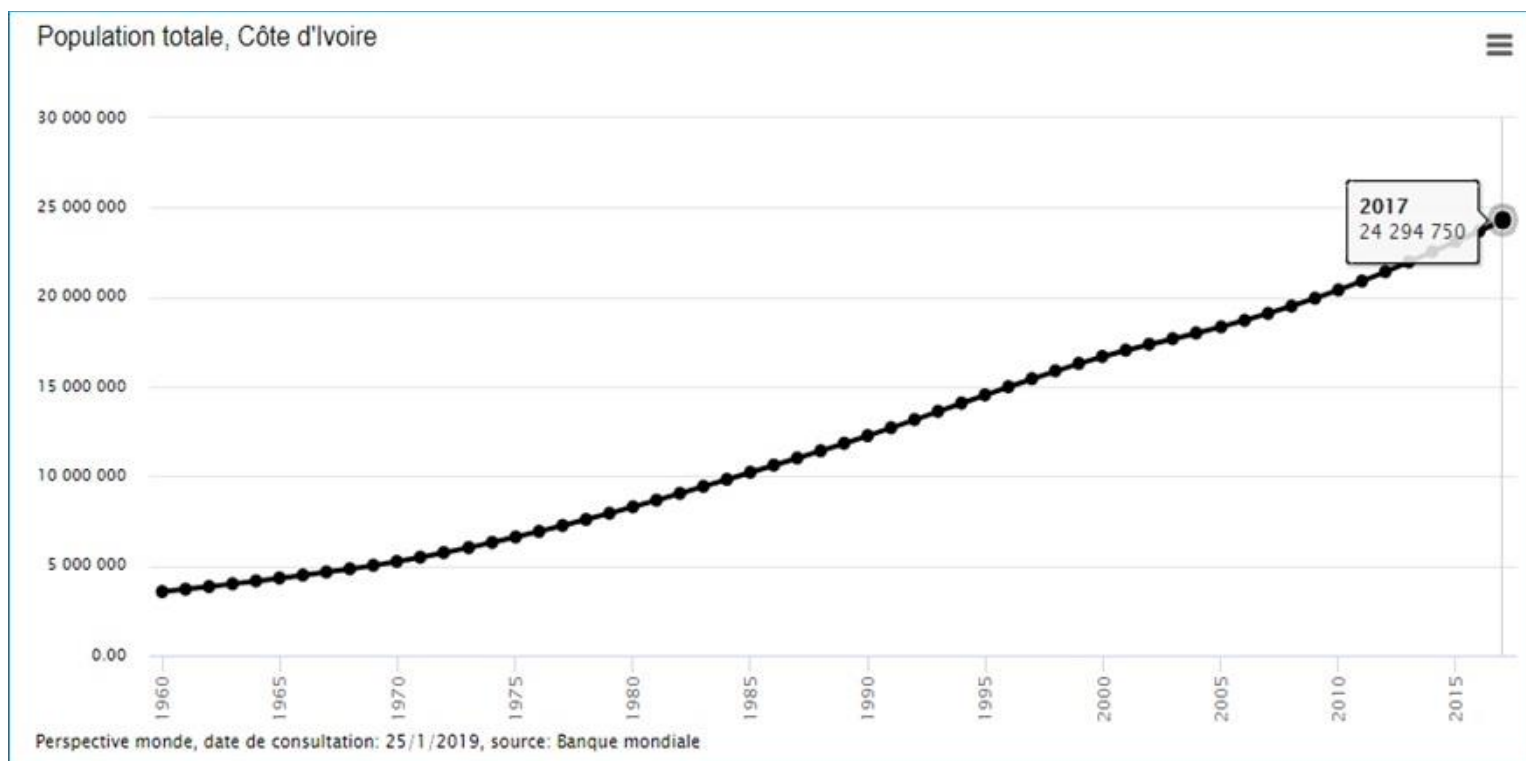


Figure 4. Evolution de la population totale de la Côte d'Ivoire de 1960 à 2017 (Banque Mondiale, 2019)

⁶³<http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?codeTheme=1&codeStat=SP.POP.0014.TO.ZS&codePays=CIV&optionsPeriodes=Aucune&codeThe me2=1&codeStat2=x&codePays2=CIV&optionsDetPeriodes=avecNomP&langue=fr>

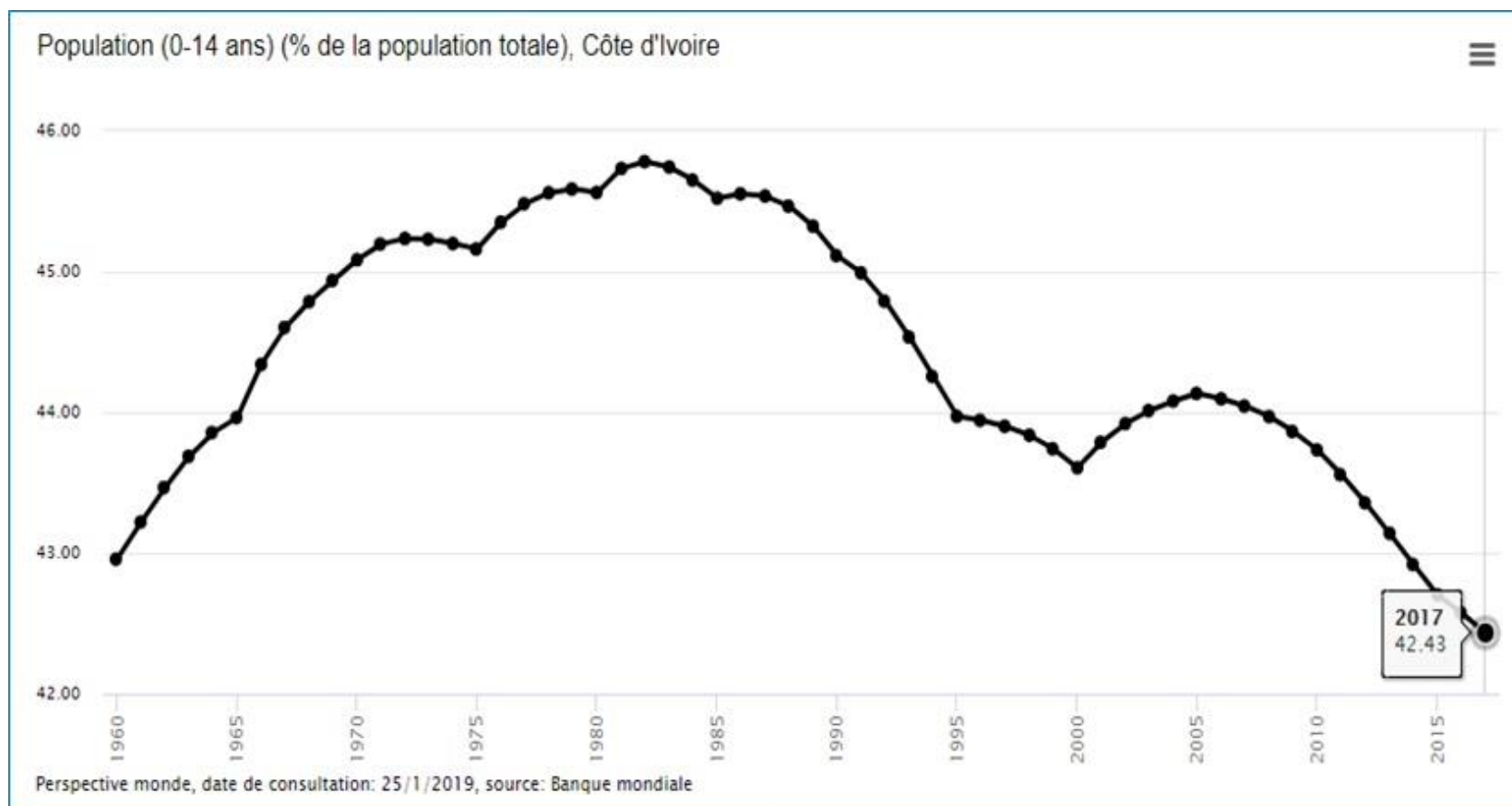


Figure 5. Evolution de la population ivoirienne âgée de 0 à 14 ans de 1960 à 2017 (Banque Mondiale, 2019)

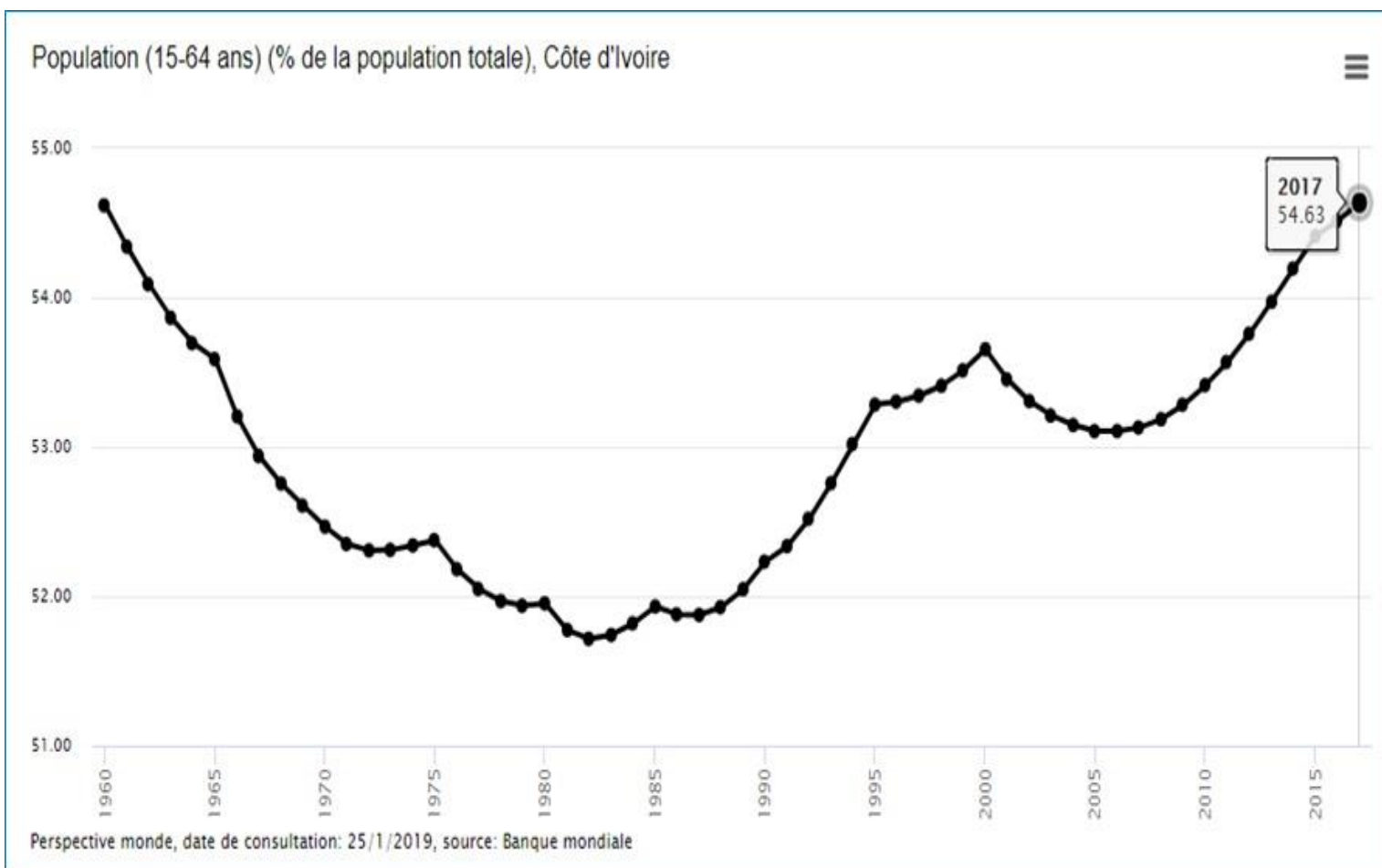


Figure 6. Évolution de la population ivoirienne âgée de 15 à 64 ans de 1960 à 2017 (Banque Mondiale, 2019)

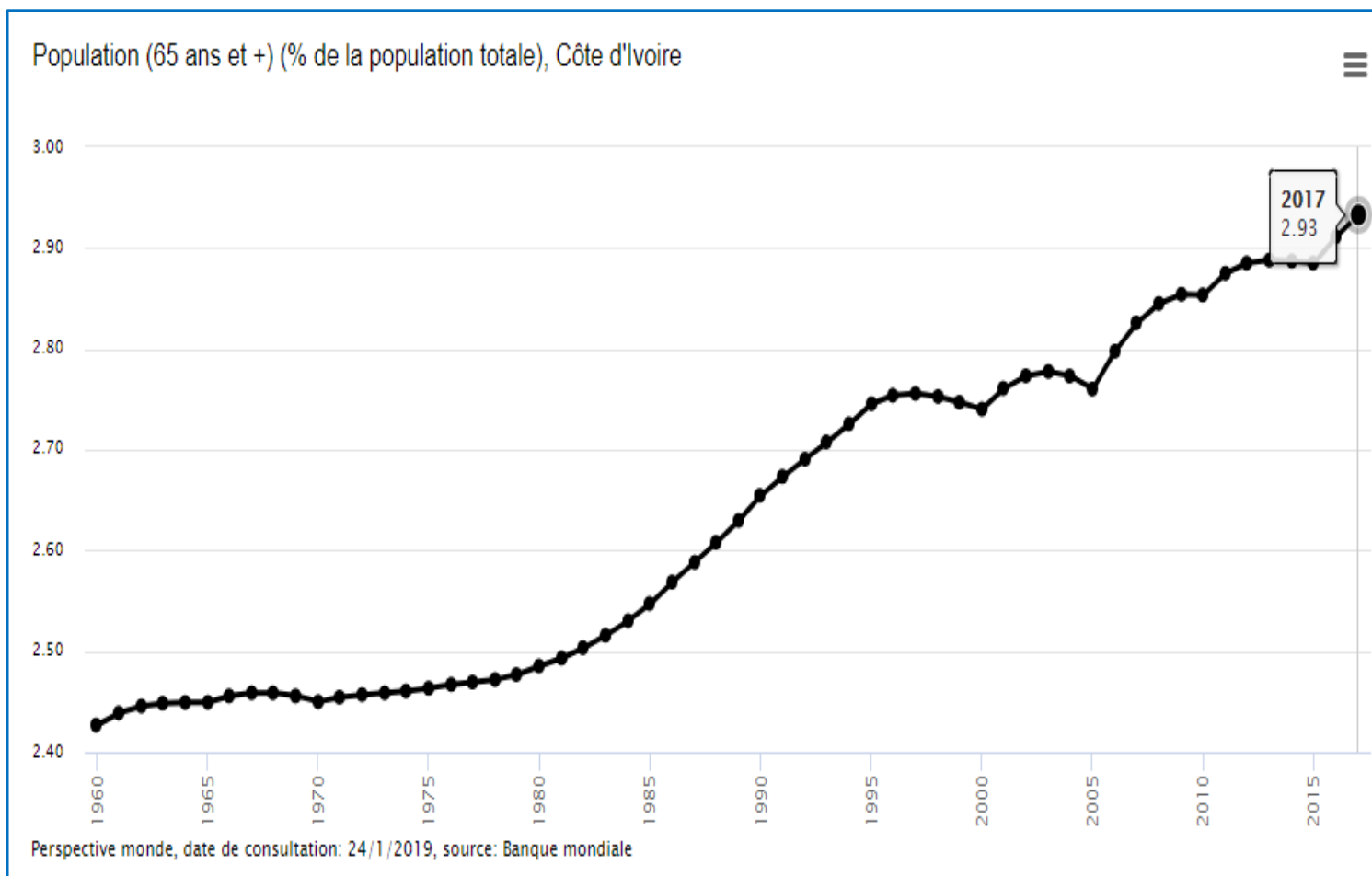


Figure 7. Évolution de la population ivoirienne âgée de 65 ans et plus de 1960 à 2017 (Banque Mondiale, 2019)

Annexe A1. Stratégies cognitives

Le tableau, ci-dessous, présente ces stratégies cognitives pour chaque processus d'apprentissage.

<p>STRATÉGIES DE RÉPÉTITION</p> <ul style="list-style-type: none">• répéter plusieurs fois (mentalement, à voix basse ou à voix haute)• ombrer, souligner, encadrer• recopier (formules, symboles...) à chaque exercice• prendre des notes mot à mot• faire des listes de termes, de symboles <p>STRATÉGIES D'ÉLABORATION</p> <ul style="list-style-type: none">• utiliser des moyens mnémotechniques (méthode des lieux, méthode des associations, méthode des mots clés)• paraphraser (réécrire en ses propres mots)• résumer• faire une analogie• produire des notes (commentaires, questions)• formuler des questions et y répondre• créer une image mentale• écrire une phrase qui fait le lien avec ce qu'on sait déjà• inventer un exemple• trouver des implications• créer des relations <p>STRATÉGIES D'ORGANISATION</p> <ul style="list-style-type: none">• regrouper• écrire (les idées principales dans la marge)• énumérer• classer• comparer• faire des schémas, des réseaux, des matrices• identifier la sorte de liens entre les parties d'un réseau : les parties de...; les types de ... ; les caractéristiques de...; les causes de... ; les conséquences de... ; les analogies...; les séquences temporelles	<p>STRATÉGIES DE GÉNÉRALISATION</p> <ul style="list-style-type: none">• faire des hypothèses : trouver des raisons pour lesquelles un exemple donné est un exemple du concept• rechercher des raisons ou une explication pour lesquelles une action particulière est appropriée• comparer deux exemples : trouver les ressemblances• inventer des exemples <p>STRATÉGIES DE DISCRIMINATION</p> <ul style="list-style-type: none">• faire des hypothèses : trouver des raisons pour lesquelles un exemple donné n'est pas un exemple du concept• rechercher des raisons ou une explication pour lesquelles une action particulière n'est pas appropriée• contraster un exemple et un contre-exemple• trouver les différences• identifier le type d'exercices à faire• inventer des contre-exemples <p>STRATÉGIES D'AUTOMATISATION D'UNE PROCÉDURE (Procéduralisation et composition)</p> <ul style="list-style-type: none">• trouver un exemple et le suivre étape• par étape• faire une liste des étapes à suivre• pratiquer de petites étapes à la fois• pratiquer la procédure entière• pratiquer suffisamment longtemps pour que les étapes s'enclenchent automatiquement• comparer sa performance au modèle• d'un « expert »
---	--

Les stratégies cognitives basées sur l'apprentissage des mathématiques - Source : (Saint-Pierre, 1991, p. 16))

Annexe A2. Stratégies métacognitives de l'élève

<p>STRATÉGIES DE PLANIFICATION</p> <ul style="list-style-type: none"> • survoler le travail à faire (les tables de matières, les introductions, les titres et sous-titres, les objectifs d'apprentissage, les résumés des chapitres, les exercices...) • estimer le temps nécessaire • établir des buts d'apprentissage • activer les connaissances antérieures • faire une analyse de la tâche • se donner des intentions de lecture (formuler des questions avant de lire un texte) 	<p><i>Se poser des questions, se parler</i></p> <p><i>qu'est-ce que j'ai à faire ?</i></p> <p><i>combien de temps dois-je prévoir ?</i></p> <p><i>que vais-je faire en premier ?... et ensuite ?</i></p> <p><i>qu'ai-je déjà lu sur le sujet ?</i></p> <p><i>qu'est-ce que ça prend comme outil ?</i></p> <p><i>que ferai-je de ce que j'aurai lu ?</i></p>
<p>STRATÉGIES DE CONTRÔLE</p> <ul style="list-style-type: none"> • s'autoévaluer et faire de l'auto-renforcement • concentrer son attention • évaluer l'efficacité de la stratégie choisie 	<p><i>Se poser des questions, se parler</i></p> <p><i>bon, c'est OK ; ça va bien</i></p> <p><i>attends une minute et répète les consignes; qu'est-ce que je veux faire ? qu'est-ce qui est important ?</i></p> <p><i>est-ce que je me rapproche du but ?</i></p>
<p>STRATÉGIES DE RÉGULATION</p> <ul style="list-style-type: none"> • ajuster la vitesse de lecture • relire pour mieux comprendre • revoir les étapes passées • évaluer l'efficacité de la stratégie choisie et la modifier au besoin • estimer le résultat attendu • évaluer si une nouvelle information est cohérente avec les autres • faire des ajustements continuels • sauter une question d'examen pour y revenir plus tard 	<p><i>Se poser des questions, se parler</i></p> <p><i>ai-je bien compris l'énoncé ?</i></p> <p><i>dois-je le relire ?</i></p> <p><i>qu'ai-je fait jusqu'à maintenant ?</i></p> <p><i>est-ce utile ?</i></p> <p><i>normalement, à quel résultat dois-je m'attendre ?</i></p> <p><i>est-ce logique avec ce que je viens de lire ?</i></p> <p><i>cette méthode est trop longue, je vais en essayer une autre</i></p> <p><i>s'il me reste du temps, je répondrai à cette question que je ne comprends pas maintenant</i></p>
<p>STRATÉGIES DE PRISE DE CONSCIENCE DE SON ACTIVITÉ MENTALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • connaître son propre style d'apprentissage • identifier ses lacunes • identifier les conditions d'utilisation d'une démarche et son efficacité 	<p><i>Se poser des questions, se parler</i></p> <p><i>qu'est-ce que j'ai aimé, réussi, en quoi suis-je efficace ?</i></p> <p><i>quelles questions, quels trous, inquiétudes, me reste-t-il ?</i></p> <p><i>pourrais-je réutiliser cette démarche ?</i></p>

Tableau 104. Les stratégies métacognitives pour l'élève Source : ((Saint-Pierre, 1991, p. 17))

Annexe A3. Stratégies Gestion des ressources

IDENTIFIER LES RESSOURCES DISPONIBLES <ul style="list-style-type: none">• le matériel• les camarades qu'on peut consulter• les moments où l'on peut consulter le professeur	GÉRER L'ENVIRONNEMENT DE L'ÉTUDE <ul style="list-style-type: none">• trouver un lieu précis pour étudier• trouver un lieu calme• trouver un lieu organisé
GÉRER LE TEMPS EFFICACEMENT <ul style="list-style-type: none">• planifier des périodes de travail à l'avance• planifier des périodes plus courtes et plus fréquentes• se donner des sous-objectifs à atteindre pour chaque période de travail	SOLLICITER L'AIDE DES AUTRES <ul style="list-style-type: none">• rechercher l'aide du professeur• rechercher l'aide des pairs• travailler en petits groupes• obtenir le tuteurage d'un pair ou d'un professeur

Tableau 105. Les stratégies de gestion des ressources - Source : (Saint-Pierre, 1991, p. 18)

Annexe A4. Tarifs des abonnements mobiles

Capacités	Tarifs ORANGE (F CFA)	Tarifs VIPNET (F CFA)
512 Kb	20 600 (31,42 €)	20510(31,28 €)
1Mb	31 000 (42,29 €)	22000(33,56 €)
2Mb	31 000 (42,29 €)	30000(45,76 €)
4Mb	46 400 (70,78 €)	45000(68,64 €)
8Mb	67 000 (102,2 €)	60000(91,52 €)

Tableau 1. Tarifs d'abonnement mensuel des services de l'Internet fixe (ADSL)

Capacités	Type	Prix du forfait (FCFA TTC)
		Orange
10MB	Fibre Optique (FTTx)	39000(59,49 €)
20MB		49000(74,75 €)
50MB		59000(90,00 €)
100MB		79 000 (120,51 €)

Tableau 2. Tarifs internet mobile pratiqués par ORANGE CI (en FCFA TTC/mois)

Tarifs ORANGE (F CFA)	Volume	Durée de validité
5 000 (7,63 €)	2,5 Go	30 jours
10 000 (15,25 €)	6 Go	30 jours
15 000 (22,88 €)	10 Go	30 jours
20 000 (30,51 €)	15 Go	30 jours

Tableau 3. Tarifs internet mobile pratiqués par ORANGE CI (en FCFA TTC/mois)

Tarifs MTN (F CFA)	Volume	Durée de validité
2 499 (3,81 €)	1450 Mo	30 jours
4999(7,63 €)	3 Go	30 jours
9999(15,25 €)	10 Go	30 jours
14999(22,88 €)	15 Go	30 jours
19999(30,51 €)	30 Go	30 jours

Tableau 4. Tarifs internet mobile pratiqués par MTN CI (en FCFA TTC/mois)

Tarifs MOOV (F CFA)	Volume	Durée de validité
4 900 (7,47 €)	1 Go	30 jours
9 900 (15,10 €)	3 Go	30 jours
19 900 (30,36 €)	10 Go	30 jours

Tableau 5. Tarifs internet mobile pratiqués par MOOV CI (en FCFA TTC/mois)

Annexe A5. Questionnaire des élèves AVANT l'expérimentation

Nom & prénom(s) : _____ Classe : _____ Date : _____

Q1- Tu es Garçon Fille

Q2 – Ta date de naissance est :/...../.....

Q3- Tu es Redoublant Non redoublant

Q4 – Tu habites dans quelle commune et quel quartier ? _____

Q5 – Quel travail fait ton père ? _____

Q6 - Quel travail fait ta mère ? _____

Q7 – Combien de fois par semaine utilises-tu un ordinateur dans les lieux ci-dessous ?

Lieux	0 fois	1 fois	2 fois	Plus de 2 fois
e) A l'école				
f) A la maison				
g) Dans un cyber café				
h) Chez un parent, un ami ou autre				

Q8 – A l'école, combien de fois par semaine utilisez-vous l'ordinateur en classe dans les disciplines ci-dessous ? (Pour chaque discipline, mets une croix dans la case qui convient au nombre de fois).

Discipline	0 fois	1 fois	2 fois	Plus de 2 fois
Physique				
Chimie				
SVT				

Q9- Utilises-tu un téléphone portable ?

Oui

Non

Q10- Tu utilises un ordinateur ou un téléphone portable pour quoi faire ? (*Mets une croix dans la case qui convient*) :

	Sur l'ordinateur	Sur le Téléphone portable
Faire des recherches personnelles sur internet		
Faire des recherches sur internet pour un travail de l'école		
Communiquer avec des amis		
Communiquer avec la famille		
Ecouter la musique		
Jouer		

Q11 – Pour chacune des affirmations ci-dessous concernant la physique, mets une croix dans la case qui correspond à ton degré d'accord ou de désaccord.

<i>Affirmations</i>	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Je ne sais pas	D'accord	Complètement d'accord
1. La physique est une matière difficile					
2. La physique est intéressante					
3. La physique est plutôt facile à apprendre					
4. Je préfère la physique à la plupart des autres matières					
5. Je pense que tout le monde devrait apprendre la physique					
6. Ce que j'ai appris en physique m'aidera dans ma vie					
7. La physique a développé ma curiosité à propos de ce que l'on ne peut expliquer					
8. J'aimerais devenir un scientifique					
9. J'aimerais avoir si possible beaucoup de physique à l'école					
10. J'aimerais un travail qui me permet de mettre en œuvre des connaissances en physique					
11. J'accorde autant ou plus d'importance à mes notes en physique qu'aux autres disciplines					
12. L'école m'apprend en général des choses sur ce qui m'intéresse					
13. La physique est ennuyeuse					
14. L'attitude de mon professeur de physique me fait aimer la physique					

15. Je suis attentionné pendant une leçon de physique					
16. Je reste concentré(e) sur une leçon de physique.					
17. Je n'aime pas les leçons de physique.					
18. Je trouve amusant les leçons de physique.					
19. J'ai beaucoup de lacunes en physique					
20. Le lien entre ce que mon professeur explique et le sujet de la leçon est clair.					
21. Je sais ce que je dois retenir à la fin d'un TP.					
22. Les notions abordées pendant une leçon de physique sont complexes.					
23. Je comprends sans difficulté les sujets abordés dans les leçons de physique.					
24. Je sais le lien entre ce que j'apprends et la réalité après une leçon de physique.					
25. Je ne trouve pas d'intérêt pour les sujets des leçons de physique.					
26. Je me souviens de ce que j'ai appris dans les leçons de physique.					

MERCI POUR TA PARTICIPATION

Annexe A6. Questionnaire des élèves APRES l'expérimentation

Q1- Dans le tableau ci-dessous, mets une croix dans la case qui exprime le mieux ton sentiment concernant les affirmations liées à l'utilisation et aux conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope et de GBF.

<i>Affirmations</i>	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Je ne sais pas	D'accord	Complètement d'accord
1. J'étais plus attentionné pendant la leçon lorsque le simulateur informatique a été utilisé.					
2. L'utilisation du simulateur informatique m'a permis facilement de rester concentré sur la leçon.					
3. J'ai mieux aimé la leçon de physique lorsque le simulateur informatique a été utilisé.					
4. C'était amusant lorsque le simulateur informatique a été utilisé.					
5. L'utilisation du simulateur informatique m'a aidé à améliorer mes connaissances en physique.					
6. Le lien existant entre la simulation utilisée et le sujet de la leçon était clair.					
7. Je sais ce que je dois retenir de cette simulation.					
8. Les simulations informatiques clarifient ce qui me paraît complexes.					
9. L'utilisation du simulateur informatique m'a aidé à mieux comprendre le sujet					
10. En utilisant la simulation, j'ai appris comment fonctionne la réalité.					
11. L'utilisation du simulateur informatique a augmenté mon intérêt pour le sujet de la leçon.					
12. Les simulations informatiques devraient être utilisées plus souvent dans d'autres matières.					
13. L'utilisation des simulations informatiques peut vraiment faire assimiler les cours.					
14. L'utilisation du simulateur informatique permet de me souvenir de ce que j'ai appris.					
15. L'utilisation du simulateur d'oscilloscope et de GBF par le professeur m'a semblé facile.					
16. On devine sans difficulté le rôle et le fonctionnement des boutons du simulateur d'oscilloscope et de GBF.					
17. Je n'ai pas eu de mal à faire le lien entre les manipulations du professeur et la notion qu'il voulait expliquer					
18. De ma place, j'ai vu clairement tout ce qui se déroulait sur l'écran de l'oscilloscope.					
19. De ma place, j'ai vu clairement les boutons de l'oscilloscope et du GBF ainsi que leurs mouvements.					

20. L'intensité de la lumière du jour dans la classe a fait que je ne voyais pas bien ce qui se déroulait sur l'écran de projection					
21. Des bruits m'ont empêché d'entendre clairement ce que le professeur expliquait pendant l'utilisation du simulateur.					
22. Le manque de circulation d'air et la chaleur ne m'ont pas permis d'être mieux concentré pendant l'utilisation du simulateur.					
23. La classe était calme pendant l'utilisation du simulateur par le professeur.					
24. Les mots et expressions employés par le professeur pour expliquer les notions pendant l'utilisation du simulateur étaient faciles à comprendre.					
25. Le professeur a utilisé le simulateur au moment même où il voulait expliquer les notions qu'il abordait.					
26. Je n'ai pas perçu le lien entre l'utilisation de la simulation et le concept qui a été expliqué					
27. Le professeur avait déjà expliqué les concepts avant d'utiliser le simulateur					

Q2- D'après toi, quelles sont les trois choses les plus importantes que le professeur voulait vous faire comprendre en manipulant le simulateur d'oscilloscope ?

- 1)
-
- 2)
-².....
-
- 3)
-

MERCI POUR TA PARTICIPATION

Annexe A7. Questionnaire des enseignants

Nom & prénom(s) : _____ Classe : _____ Date : _____

Q1- Vous êtes Homme Femme

Q2 – Quel est votre âge : _____

Q3- Combien d'année d'expérience avez-vous ? _____

Q4- Vous êtes Fonctionnaire Stagiaire Autre

Q5 – Combien de fois par semaine utilisez-vous un ordinateur dans les lieux ci-dessous ?

Lieux	0 fois	1 fois	2 fois	Plus de 2 fois
i) A l'école				
j) A la maison				
k) Dans un cyber café				
l) Chez un parent, un ami ou autre				

Q6 – A l'école, combien de fois en moyenne par semaine utilisez-vous l'ordinateur en classe pour enseigner les disciplines ci-dessous ?

Discipline	0 fois	1 fois	2 fois	Plus de 2 fois
Physique				
Chimie				

Q7- Utilisez-vous un téléphone portable ? Oui Non

Q8- A quelle fin, utilisez-vous un ordinateur ou un téléphone portable ? (Cochez la case)

	Sur l'ordinateur		Sur le Tél. portable	
	Oui	Non	Oui	Non
Faire des recherches personnelles sur internet				
Faire des recherches sur internet pour préparer mon cours				
Communiquer avec des amis				
Communiquer avec la famille				
Saisir un devoir avec un logiciel de traitement de texte				
Calculer les moyennes des élèves avec un tableur				
Préparer une présentation de type PowerPoint				
Enseigner ma discipline				
Ecouter la musique				
Jouer				

Q9 – Pour chacune des affirmations ci-dessous concernant votre pratique d'enseignement de la physique, mettez une croix dans la case qui correspond à votre degré d'accord ou de désaccord.

<i>Affirmations</i>	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Je ne sais pas	D'accord	Complètement d'accord
1. La physique est une matière difficile à enseigner					
2. L'enseignement de la physique prend beaucoup de temps					
3. J'ai peur de ne pas pouvoir enseigner la physique adéquatement					
4. Je me sens mal à l'aise quand j'enseigne la physique					
5. Les élèves sont attentionnés pendant mes cours de physique.					
6. J'aime les moments où je pratique la physique en laboratoire					
7. Le manque de matériel de laboratoire rend l'enseignement difficile					
8. Les élèves comprennent difficilement les concepts de physique					
9. Les élèves aiment les enseignements de la physique					
10. Les élèves ne pas concentrés pendant les cours de physique					
11. Les élèves prennent beaucoup de plaisir à suivre les cours de physique.					
12. Les concepts enseignés en physique sont très abstraits					

13. Les élèves n'arrivent pas à faire le lien entre ce que j'enseigne et la vie réelle					
14. Quand j'enseigne, je parle beaucoup pour faire comprendre les concepts de physique					
15. J'ai horreur d'enseigner la physique					
16. Je n'ai pas peur de démontrer un phénomène physique en classe					
17. J'aime aider les élèves à construire leurs saviors					
18. Je suis effrayé à l'idée que les élèves me posent une question à laquelle je ne puisse pas répondre					
19. En classe, j'ai peur que les expériences ne marchent pas					
20. Les élèves ne sont pas curieux concernant les sujets de la physique					
21. J'aime manipuler les équipements de science					
22. J'arrive à motiver mes élèves à s'engager dans l'apprentissage de la physique					
23. Les élèves ne participent pas assez pendant les cours de physique					
24. Enseigner la physique demande beaucoup d'effort					
25. Les conditions d'enseignement de la physique me découragent					

MERCI POUR VOTRE PARTICIPATION

Annexe A8. Pré-test et Post-test

Nom : Classe : Date :

Pré-test

Durée : 10 min

Entoure la lettre correspondant à la réponse correcte dans chaque question.

Q1 – La fréquence est :

- A. Le nombre de motifs produits en 1 seconde
- B. Le nombre de périodes
- C. La vitesse de sortie du courant

Q2 – La fréquence s'exprime en :

- A. Seconde par division (s/DIV)
- B. Mètre par seconde (m/s)
- C. Hertz (Hz)

Q3 – Le motif élémentaire du graphe d'une tension alternative sinusoïdale occupe 5,5 divisions sur l'axe horizontal. La durée de balayage est 2 ms/div. La valeur de la fréquence est donc :

- A. 11 Hz
- B. 90,9 Hz
- C. 909 Hz

Q4 – La période est :

- A. Le motif élémentaire
- B. Le nombre de motifs par seconde
- C. La durée du motif élémentaire.

Q5- Le motif élémentaire du graphe d'une tension alternative sinusoïdale occupe 4,3 divisions sur l'axe horizontal. La durée du balayage est 5 ms/div. La valeur de la période est donc :

- A. 21,5 s
- B. 46,5
- C. 0,0215 s

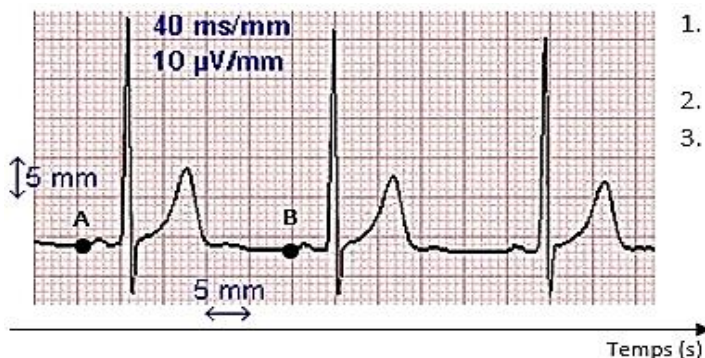
Q6 – La relation qui lie la fréquence et la période est :

- A. $N = \frac{T}{2}$
- B. $N = 2T$
- C. $N = \frac{1}{T}$

Q7 – Comment la période varie-t-elle lorsque la fréquence augmente ?

- A. Elle augmente
- B. Elle ne change pas
- C. Elle diminue

Q8 – Le graphe ci-dessous est un électrocardiogramme obtenu à l'aide d'un oscilloscope médical. Il représente le battement d'un cœur sain.



1. Trace en *ROUGE* le contour du motif élémentaire de A à B.
2. Indique la période T sur le graphe
3. Indique la valeur correcte de la période T:
 - A. 100 s
 - B. 1 s
 - C. 1000 s

Post-test

Durée : 10 min

Entoure la lettre correspondant à la réponse correcte dans chaque question.

Q1 – La période est :

- A. Le motif élémentaire
- B. Le nombre de motifs par seconde
- C. La durée du motif élémentaire

Q2 – La relation qui lie la fréquence et la période est :

- A. $N = \frac{T}{2}$
- B. $N = 2T$
- C. $N = \frac{1}{T}$

Q3 – La fréquence s’exprime en :

- A. Seconde par division (s/DIV)
- B. Mètre par seconde (m/s)
- C. Hertz (Hz)

Q4- Le motif élémentaire du graphe d’une tension alternative sinusoïdale occupe 4,3 divisions sur l’axe horizontal. La durée du balayage est 5 ms/div. La valeur de la période est donc :

- A. 21,5 s
- B. 46,5
- C. 0,0215 s

Q5 – Le motif élémentaire du graphe d’une tension alternative sinusoïdale occupe 5,5 divisions sur l’axe horizontal. La durée de balayage est 2 ms/div. La valeur de la fréquence est donc :

- A. 11 Hz
- B. 90,9 Hz
- C. 909 Hz.

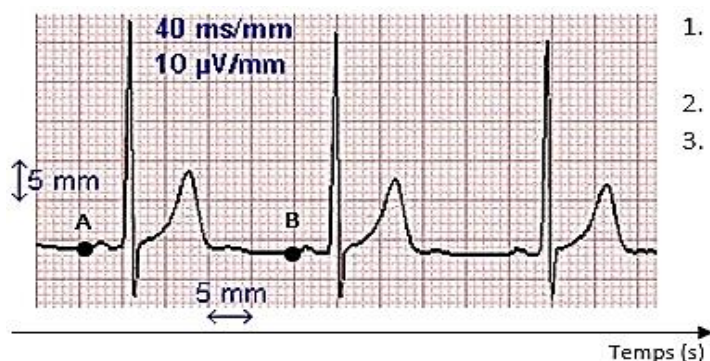
Q6 – La fréquence est :

- A. Le nombre de motifs produits en 1 seconde
- B. Le nombre de périodes
- C. La vitesse de sortie du courant

Q7 – Comment la période varie-t-elle lorsque la fréquence augmente ?

- A. Elle augmente
- B. Elle ne change pas
- C. Elle diminue

Q8 – Le graphe ci-dessous est un électrocardiogramme obtenu à l’aide d’un oscilloscope médical. Il représente le battement d’un cœur sain.



1. Trace en *ROUGE* le contour du motif élémentaire de A à B.
 2. Indique la période T sur le graphe
 3. Indique la valeur correcte de la période T:
- A. 100 s
 - B. 1 s
 - C. 1000 s

Annexe A9. Grille d'observation de la pratique de l'enseignant

Tableau : Grille d'observation et d'encodage de l'approche de l'enseignant selon le modèle MFS-TST (Model of Formative Situation for Teaching Science and Technology) de (Lopes et al., 2010b) dans (Sarabando, Cravino, & Soares, 2016, p.113), organisé en tableau, traduit en français et légèrement modifié par nous-mêmes.

Deux dynamiques fondamentales <i>2 fundamental dynamics</i>	Dimensions / <i>Dimensions</i>	Explications / <i>Explanation</i> ⁶⁴	Exemple / <i>Example</i> (Teacher B) (Sarabando et al., 2016, p.118)	Schèmes d'observation	
				Code	(Actions attendues de l'enseignant)
A – Interaction avec l'objet épistémique / <i>Interaction with the epistemic object</i>	A1 – Le travail réellement demandé aux élèves / <i>The work really demanded from students:</i>	Une tâche est un travail demandé aux élèves, qui doit être réalisé en vue d'aboutir, dans un certain temps, à une réponse à une question ou à d'autres types de sollicitations. / <i>A task is the work demanded from students, that they must perform to reach, within a certain time, an answer to a question or other kind of request;</i>	- <i>Proposed tasks by reading aloud</i> - <i>Made sure that students understood and performed the tasks.</i>	<i>Tâches</i>	
	A2 – Les contextes scientifiques et technologiques / <i>Scientific and technological contexts:</i>	Savoir si les contextes et situations physiques sont pris en compte dans les activités d'application, si les problèmes sont basés sur des contextes réels et si les tâches sont authentiques. / <i>This concerns how the contexts and physical situations are taken into account, namely if problem solving is based in realistic contexts and if tasks are authentic</i>	- <i>Tasks 1 and 2 were based on a real context</i> - <i>Task 3 was not based on a real context</i>	A11- <i>Pose une question orale qui nécessite des réponses orales à voix haute.</i> A12- <i>Pose une question de connaissance (K).</i> A13- <i>Fait passer un/des élève(s) au tableau</i> A14- <i>Fait produire la trace écrite par les élèves</i> A15- <i>Donne des tâches d'application des concepts</i> A16- <i>S'assure de la compréhension de la tâche à réaliser</i> A17- <i>S'assure de la réalisation effective de la tâche</i> A18- <i>Fait de la régulation</i> A19- <i>Autres sollicitations</i>	
	A3 – Pratiques épistémiques et/ou axiologiques / <i>Epistemic and/or axiological practices:</i>	Il s'agit des pratiques pour faire construire, par les élèves, le savoir scientifique et technologique avec comme repère le contexte de production des connaissances en	- <i>Reviews the concepts taught in the previous class, which are linked to the concepts of weight and mass</i> - <i>Proposed tasks, reading aloud</i>	<i>Connaissances antérieures</i>	
				A31- <i>Pose des questions de rappel Situation et Objectifs d'apprentissage</i> A32- <i>Présente une situation</i> A33- <i>Fait lire/lit la situation à voix haute</i>	

⁶⁴Les textes en anglais en italique sont les formulations authentiques dans (Sarabando et al., 2016a). La colonne des actions a été proposée par nous-mêmes en nous basant sur l'exemple de l'étude réalisée, et sur les schèmes d'observation de (Rutten, Veen, & Joolingen, 2015, p.1231) et le curriculum ivoirien pour les pratiques épistémiques.

		science et technologie/ <i>This concerns the student work in certain type of practices to construct science technology knowledge having as reference the science technology practices in the context of science technology production;</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Gives students time to try first to address, in groups, the problem issues - Explains the mode of operation of the simulation projecting it on the interactive whiteboard for whole class - Makes an oral synthesis at the end of the 1st class and makes an oral and writing synthesis in 2nd class, and students copy it to their notebooks 	<ul style="list-style-type: none"> A34- Indique les habiletés de la leçon. A35- Indique la compétence visée A36- Indique les objectifs d'apprentissage Dispositif et protocole expérimental A37- Présente les objectifs de l'expérience A38- Présente le dispositif expérimental et son fonctionnement. A39- Présente l'objectif de chaque manipulation A310- Présente le protocole expérimental Expérience et observation A311- Pose une question de prédiction (P) A312- Pose une question d'observation (O) A313- Pose une question d'explication (E) A314- Répond lui-même à la question Traces écrites A315- Fait une synthèse orale des savoirs acquis à la fin de la leçon.
	A4 – Supports didactiques	<i>Comment les informations sont présentées aux élèves, et sur quels supports didactiques.</i>	- Information sources: script, simulation projected on the interactive whiteboard, teacher	<ul style="list-style-type: none"> A41- Utilise une simulation informatique projetée sur un écran ; A42- Utilise des textes de livre ou de cahier d'habiletés A43- Utilise des planches ou photocopies des schémas A44- Ecrit au tableau A45- Utilise du matériel concret de laboratoire
	A5 – Accompagnement des élèves en temps réel en situation de classe	Concerne le soutien apporté par l'enseignant en termes de guidage, d'aide	- Helps students to confirm or infer their ideas or procedures, projecting for all the simulation on the interactive whiteboard	<ul style="list-style-type: none"> A51- Aide, guide, soutient les élèves A52- Donne des explications, des clarifications, des précisions A53- Répète les propos des élèves
B – Interaction avec autres / interaction with others	B1 – Echanges en classe / Classroom talk:	Comment les échanges en classe sont-ils menés / <i>How classroom talk is considered;</i>	- Uses an interactive and dialogical discourse, with a scientifically correct language (several occasions of teacher / class interaction)	<ul style="list-style-type: none"> B11- Utilise un discours interactif et dialogique B12- Utilise un langage scientifique correct
	B2 – Ressources et autonomie données aux élèves / Support and authority given to students:	Comment l'activité de l'élève se déroule en classe / <i>How the student's work occurs in the classroom;</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Provides the necessary resources to carry out the Tasks - Creates an environment where students can discuss - Students worked in small groups, having been given them time and autonomy. Gives students more time to try to address the problem issues -Guides students 	<ul style="list-style-type: none"> B21- Fournit les ressources nécessaires pour la réalisation de la tâche. B22- Donne du temps aux élèves pour la réalisation de la tâche. B23- Fait travailler les élèves en petits groupes B24- Fait l'autorité / maintient l'ordre

B – Interaction avec autres (suite)/ <i>interaction with others (continue)</i>	B3 – Engagement disciplinaire productif / Productive disciplinary engagement.	Rechercher l'engagement de l'élève sur des sujets de la discipline (et les résultats obtenus) et comment l'enseignant peut-il les améliorer. / <i>Look for student engagement of disciplinary topics (and learning outcomes achieved) and how teacher can improve that;</i>	- <i>Paid attention to the involvement of students</i>	<i>B31- Incite, encourage les élèves à participer B32- Attise l'attention des élèves</i>
	B4 – Evaluation et feedback: / <i>Assessment and feedback:</i>	Chaque fois qu'un type de tâche est réalisée (consignes, questions de classes, tests d'autoévaluation, etc.), il est très important que les élèves aient un feedback séance tenante sur leurs résultats d'apprentissage. / <i>Whatever the kind of task performed (assignments, classroom questions, self-evaluation tests, etc.), it is very important that students get proper and timely feedback on their learning outcomes;</i>	- <i>Evaluates and gives feedback to students</i> - <i>Made several syntheses</i>	<i>B41- Répond aux questions des élèves B42- Apprécie les réponses élèves B43- Félicite, récompense les élèves B44- Fait des synthèses pendant le cours</i>
	B5 – Poursuite de l'apprentissage	Comment l'apprentissage est-il étendu en dehors de la classe / <i>In terms of how students' learning can be extended outside the classroom.</i>	- <i>Proposed the resolution of manual exercises on weight and mass concepts</i>	<i>B51- Donne un travail à faire à la maison</i>

NOTA BENE :

A12 – Question de connaissance (ex : *quelle est la définition de fréquence ?*)

A18 – Fait de la régulation : (ex : *qu'avons-nous vu aujourd'hui ?*)

A19 – Autres sollicitations : (ex : *prenez vos cahiers, vous pouvez recopier, etc.*)

A31- r : question de rappel (ex : *en quelle unité légale cette grandeur est-elle mesurée ?*)

A311 – P : question de prédiction (ex : *que se passe-t-il si cette variable diminue ?*)

A312 – O : question d'observation (ex : .. *que voyez-vous maintenant sur l'écran en ce qui concerne le nombre de motifs ?*)

A313 – E : question d'explication (ex : *Maintenant comment expliquez-vous ce résultat ?*)

B24 – Fait l'autorité/maintient l'ordre [dans la classe] (ex : « *Silence !* », « *taisez-vous* », « *Je vous mettrai dehors* », etc.)

B31 – Incite, encourage les élèves à participer (ex : « *Allez, essayez !* », « *Ce n'est pas difficile, qui veut tenter ?* », « *plus vite !* », etc.)

B32 – Attise l'attention des élèves (ex : « *Suivez !* », etc.)

Annexe A10. Grille d'observation de l'élève

VARIABLE EN ŒUVRE	DIMENSION	ACTIONS	Code
Comportement de l'élève	Attention/discipline	<i>Climat social</i>	
		Rappel à l'ordre par l'enseignant/le groupe-classe	RAO
	Participation [générale]	<i>Engagement dans l'apprentissage</i>	
		Veut répondre à une question ou à une sollicitation	VR
		Répond à une question ou à une sollicitation	RQ
		Pose une question à l'enseignant	PQ
		Exécute une tâche demandée	ET
		Prend note ou la trace écrite	PNT
		Répète le propos / Termine le propos	RP
		Donne explications, explicitations, information	EEI
		Demande de l'aide	DA
	Implication dans la démarche d'investigation : SRR (<i>Student Response Rate</i>)	<i>Construction du savoir physique</i>	
		Répond à une question de prédiction	P
		Répond à une question d'observation	O
		Explique le résultat de son observation	E
		Répond à une question de rappel	R

NB

VR – Veut répondre à une question ou une sollicitation (ex : « *Moi monsieur !* », lève la main)

RAO – Rappel à l'ordre par l'enseignant (= occurrence en lien la variable-effet *Climat social*)

Annexe A11. Grille d'observation de l'utilisation du simulateur

PHASES	Actions	Code	Réponse 1/2/3
Phase 1 Introduction (But de la manipulation et définition des concepts)	Explique le but ou l'objectif de la manipulation qu'il s'apprête à faire	P1.1	
	Donne la définition d'une tension alternative sinusoïdale	P1.2	
	Donne oralement la définition du concept de fréquence d'une tension alternative sinusoïdale	P1.3	
	Donne oralement la définition du concept de période d'une tension alternative sinusoïdale	P1.4	
Phase 2 Manipulation	Présente/décrit le simulateur d'oscilloscope	P2.1	
	Vérifie le réglage, l'ajuste si nécessaire, avant de commencer la manipulation	P2.2	
	Affiche le graphe de la tension alternative sinusoïdale (simulée)	P2.3	
	Explique la modélisation représentant la tension alternative sinusoïdale	P2.4	
	Montre ou fait montrer un motif élémentaire de la tension sur le graphe	P2.5	
	Montre ou fait montrer le segment correspondant à la période de la tension alternative sinusoïdale	P2.6	
Phase 3 Détermination des grandeurs physiques des concepts	Fait montrer le nombre de motifs élémentaires sur une durée donnée	P3.1	
	Fait calculer le nombre de motifs pour 1 seconde	P3.2	
	Fait noter la valeur de fréquence avec son unité de mesure (Hz)	P3.3	
	Fait déterminer la valeur de la période sur un motif élémentaire en seconde	P3.4	
	Fait noter la valeur de la période avec son unité légale (en seconde)	P3.5	
Phase 4 Relation entre fréquence et période	Fait prédire le sens de variation de fréquence et de la période au cas l'on fait varier la fréquence du Générateur Basses Fréquences (GBF)	P4.1	
	Fait varier la fréquence du GBF	P4.2	
	Fait observer au groupe-classe les modifications produites sur le graphe (le nb de motifs élémentaires et la longueur de la période)	P4.3	
	Fait confronter les idées de départ du groupe à la réalité des faits	P4.4	
	Faire conclure sur la relation entre la fréquence et la période	P4.5	
	Faire noter l'expression mathématique qui traduit la relation entre la période et la fréquence	P4.6	
	Faire faire une application	P4.7	
Phase 5 Consolidation	Annonce le recommencement de l'expérience	P5.1	
	Modifie le réglage du dispositif	P5.2	
	Vérifie les acquis (évaluation formative)	P5.3	
Ordre d'exécution des phases	Exécute les actions dans l'ordre pendant la manipulation	OE	
Durée d'utilisation pour la construction du sens des concepts	Passe moins de 5 min à manipuler le simulateur d'oscilloscope	DU1	
	Passe entre 5 et 10 min à manipuler le simulateur d'oscilloscope	DU2	
	Passe entre 10 et 15 min à manipuler le simulateur d'oscilloscope	DU3	
	Passe plus de 15 min à manipuler le simulateur d'oscilloscope	DU4	
Moment d'utilisation	Fait tout le cours avec trace écrite au tableau avant d'utiliser le simulateur d'oscilloscope	MU1	
	Fait toute l'expérience avec le simulateur d'oscilloscope, avant de mettre la trace écrite du cours au tableau et la faire noter à la classe.	MU2	
	Utilise en alternance avec la notation de la trace écrite du cours au tableau (en mode matériel réel).	MU3	

Réponse : 1 : Oui ; 2= Non ; 3= indécis

Annexe A12. Grille d'observation des conditions d'utilisation du simulateur d'oscilloscope

Composantes de la variable	Indicateurs	Indice	Réponse Oui = 1 Non = 2
<i>Gestion de l'espace</i>	Place des élèves	Plus d'élèves que de places assises	
	Place de l'enseignant	Face à l'écran	
	Position du vidéoprojecteur	Très rapproché du tableau	
<i>Gestion des supports</i>	Tableau à craie	Utilisation du tableau	
	Vidéoprojecteur	Utilisation du vidéoprojecteur	
	Manuel scolaire	Utilisation du manuel scolaire par la classe	
	Photocopies	Utilisation de photocopie	
	Matériel concret	Présentation du matériel concret	
	Logiciel de simulation	Ordinateur, image projetée	
<i>Conditions d'exécution (état général de la salle de classe)</i>	Superficie de la salle occupée par les élèves	Espace occupé par les élèves par rapport à l'espace total	
	Lumière	Forte intensité	
	Bruit	Bruits gênants	
	Chaleur/Aération	Circulation d'air	
	Temps d'utilisation du simulateur	Plus de 15 min	
	Moment d'utilisation du simulateur	Utilisation alternée avec le tableau	
		Utilisation avant le tableau	
<i>Qualité du simulateur</i>	Visibilité de l'image projetée	Bien visible	
	Qualité de l'image projetée	Signification et rôle des objets virtuels faciles à comprendre	
	Utilité du simulateur	Permet de montrer plusieurs motifs élémentaires et la période	
	Utilisabilité du simulateur	Manipulation facile	

Annexe A13. Analyse des correspondances multiples entre variables de contrôle et autres variables de l'étude

Analyse des correspondances multiples (ACM). Corrélations des variables d'origine

	<u>CODE</u>	<u>Gen</u>	<u>ClAg</u>	<u>Red</u>	<u>Lhabit</u>	<u>CSPP</u>	<u>CSPM</u>	<u>FHUO</u>	<u>PI</u>	<u>PC</u>	<u>PL</u>	<u>ATTD</u>	<u>TypGp</u>	<u>GC</u>	<u>NivD</u>	<u>Perf</u>	<u>SE</u>	<u>Tetab</u>
Genre	<u>Gen</u>	1	0,039	0,027	-0,115	-0,080	-0,068	-0,173	-0,136	-0,180	-0,006	0,033	-0,032	-0,346	-0,109	-0,036	0,032	0,173
Classe d'âges	<u>ClAg</u>	0,039	1	-0,189	0,060	0,057	-0,037	-0,058	0,040	0,099	0,038	-0,045	-0,049	-0,057	-0,017	0,007	0,049	0,039
Redoublant	<u>Red</u>	0,027	-0,189	1	0,030	-0,033	-0,040	-0,015	0,016	0,023	0,007	0,015	-0,065	-0,055	-0,070	0,010	0,065	0,041
Lieu d'habitation	<u>Lhabit</u>	-0,115	0,060	0,030	1	0,068	0,088	-0,049	0,014	0,004	-0,047	-0,006	0,035	0,108	0,079	0,000	-0,035	0,063
CSP.P	<u>CSPP</u>	-0,080	0,057	-0,033	0,068	1	0,077	-0,052	0,003	0,068	0,062	-0,022	0,072	0,048	0,041	-0,048	-0,072	0,093
CSP.M	<u>CSPM</u>	-0,068	-0,037	-0,040	0,088	0,077	1	-0,082	-0,046	0,019	-0,060	0,047	0,051	0,091	0,083	-0,048	-0,051	-0,010
Fréq.Heb.Util.Ordi	<u>FHUO</u>	-0,173	-0,058	-0,015	-0,049	-0,052	-0,082	1	0,004	0,026	0,005	-0,022	-0,082	0,034	0,121	-0,092	0,082	-0,094
Pratique d'Internet	<u>PI</u>	-0,136	0,040	0,016	0,014	0,003	-0,046	0,004	1	0,288	0,423	-0,061	0,043	0,066	0,005	0,108	-0,043	-0,047
Pratique de communication	<u>PC</u>	-0,180	0,099	0,023	0,004	0,068	0,019	0,026	0,288	1	0,372	-0,063	-0,098	0,223	0,143	-0,042	0,098	-0,036
Pratique de loisirs	<u>PL</u>	-0,006	0,038	0,007	-0,047	0,062	-0,060	0,005	0,423	0,372	1	-0,077	0,032	-0,026	0,022	0,052	-0,032	-0,010
Attitude dominante envers la physique AVANT	<u>ATTD</u>	0,033	-0,045	0,015	-0,006	-0,022	0,047	-0,022	-0,061	-0,063	-0,077	1	0,042	-0,037	-0,066	0,084	-0,042	0,053
Type de Groupe	<u>TypGp</u>	-0,032	-0,049	-0,065	0,035	0,072	0,051	-0,082	0,043	-0,098	0,032	0,042	1	-0,172	-0,028	-0,075	-1,000	0,031
Groupe classe	<u>GC</u>	-0,346	-0,057	-0,055	0,108	0,048	0,091	0,034	0,066	0,223	-0,026	-0,037	-0,172	1	0,106	0,029	0,172	-0,031
Niveau élève au départ	<u>NivD</u>	-0,109	-0,017	-0,070	0,079	0,041	0,083	0,121	0,005	0,143	0,022	-0,066	-0,028	0,106	1	-0,494	0,028	-0,081
Performance	<u>Perf</u>	-0,036	0,007	0,010	0,000	-0,048	-0,048	-0,092	0,108	-0,042	0,052	0,084	-0,075	0,029	-0,494	1	0,075	0,032
Situation d'enseign.	<u>SE</u>	0,032	0,049	0,065	-0,035	-0,072	-0,051	0,082	-0,043	0,098	-0,032	-0,042	-1,000	0,172	0,028	0,075	1	-0,031
Type établissement	<u>Tetab</u>	0,173	0,039	0,041	0,063	0,093	-0,010	-0,094	-0,047	-0,036	-0,010	0,053	0,031	-0,031	-0,081	0,032	-0,031	1

Annexe A15. Protocole d'entretien semi-directif avec l'enseignant

Avant tout, permettez-nous de vous remercier très sincèrement pour avoir accepté de participer à cette étude. Nous allons vous poser, juste quelques questions concernant l'utilisation de ce simulateur informatique d'oscilloscope et de GBF.

- 1- Selon vous, pour la réalisation de cette leçon, ce simulateur d'oscilloscope et de GBF est-il utile pour les élèves, et pour vous ?
- 2- Si oui, dans quel sens est-il utile pour les élèves ? et dans quel sens est-il utile pour vous ?
- 3- Ce simulateur permet-il de faire apprendre aux élèves effectivement ce que le programme éducatif national a prescrit pour cette leçon sur la tension alternative sinusoïdale, et les concepts de période et de fréquence de cette tension ?
- 4- Avez-vous été confronté à des difficultés pendant l'utilisation de ce simulateur ? Si oui, lesquelles ?
- 5- Le rôle et le fonctionnement des boutons et autres objets représentés sur ce simulateur d'oscilloscope et de GBF sont-ils directement et facilement compréhensibles par l'utilisateur ?
- 6- Ce simulateur convient-il à n'importe quel utilisateur, quel que soit son sexe, sa nationalité, son appartenance ethnique, culturelle et religieuse ? Pourquoi ?
- 7- En vous basant sur l'intensité de la lumière du jour à l'intérieur de la classe, que pensez-vous de la qualité de la visibilité de ce simulateur sur l'écran de projection ?
- 8- A votre avis, les élèves au fond de la classe ont-ils vu clairement tout ce qui s'est déroulé sur l'écran de l'oscilloscope et sur le GBF ?
- 9- Que pensez-vous, des conditions d'utilisation de ce simulateur d'oscilloscope et de GBF ? Quelles sont les conditions idéales d'utilisation selon vous ?
- 10- Que considérez-vous comme étant les trois choses les plus importantes que les élèves devaient comprendre pendant l'utilisation de ce simulateur d'oscilloscope ?

MERCI ENCORE POUR VOTRE PARTICIPATION

Annexe A16. Protocole d'entretien collectif semi-directif avec les élèves

Avant tout, je vous remercie d'avoir accepté de participer à cette étude. Je vais vous poser, juste quelques questions concernant l'utilisation du simulateur d'oscilloscope et de GBF auquel le professeur a eu recours pour faire la leçon.

- 1- Selon vous, pour la réalisation de cette leçon, ce simulateur d'oscilloscope et de GBF a-t-il été utile pour vous ?
- 2- Si oui, dans quel sens a-t-il été utile pour vous ?
- 3- Ce simulateur permet-il de vous faire effectivement apprendre ce que le professeur voulait vous faire apprendre pour cette leçon sur la tension alternative sinusoïdale, notamment sur les notions de période et de fréquence de cette tension ?
- 4- Le rôle et le fonctionnement des boutons et autres objets représentés sur ce simulateur d'oscilloscope et de GBF étaient-ils directement et facilement compréhensibles ?
- 5- Ce simulateur convient-il à n'importe quel utilisateur, quel que soit son sexe, sa nationalité, son appartenance ethnique, culturelle et religieuse ?
- 6- En vous basant sur l'intensité de la lumière du jour à l'intérieur de la classe, que pensez-vous de la qualité de la visibilité de ce simulateur sur l'écran de projection ?
- 7- Ceux parmi vous qui étaient au fond de la classe ont-ils vu clairement tout ce qui s'est déroulé sur l'écran de l'oscilloscope et sur le GBF ?
- 8- Que pensez-vous, des conditions d'utilisation de ce simulateur d'oscilloscope et de GBF, c'est-à-dire, le bruit, la chaleur ou la circulation de l'air, votre confort assis ?
- 9- Citez-moi les trois choses que considérez comme étant les plus importantes que vous deviez comprendre pendant l'utilisation de ce simulateur d'oscilloscope ?

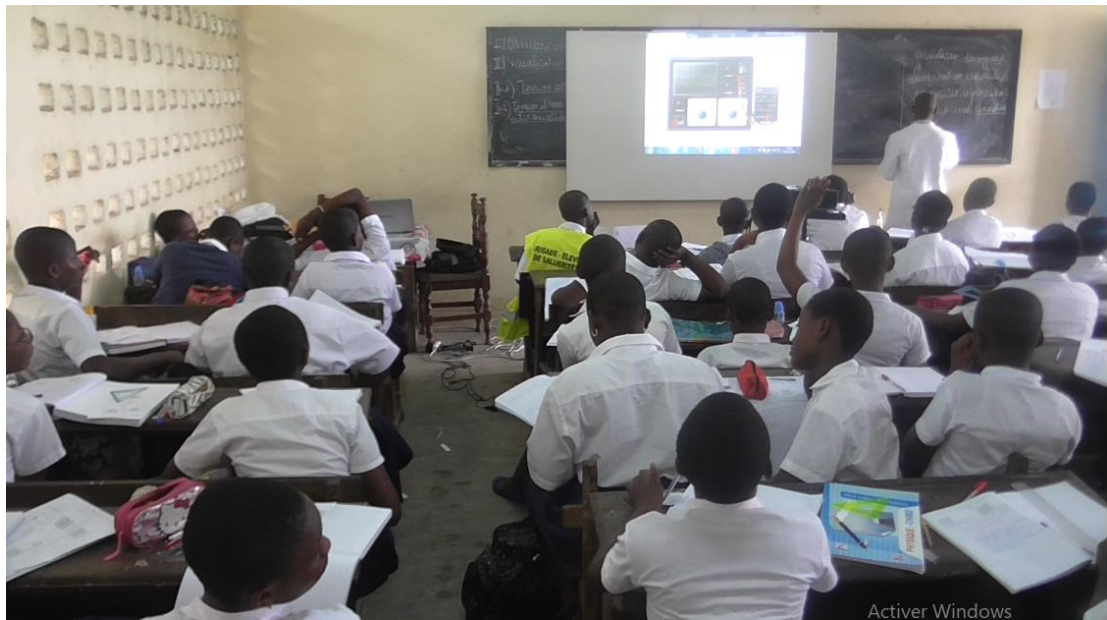
MERCI ENCORE POUR VOTRE PARTICIPATION

Annexe A17. Stratégies d'utilisation du simulateur d'oscilloscope par les enseignants

ENSEIGNANT A



ENSEIGNANT B



Enseignant C

(Utilisation du simulateur Avant le tableau à craie)



(Enseignant C : Utilisation du tableau pour la trace écrite après celle du simulateur)



ENSEIGNANT D

(Trace écrite du cours avant l'utilisation du simulateur)



(Enseignant D : Utilisation du simulateur d'oscilloscope après le cours)



ENSEIGNANT E

(Trace écrite du cours avant l'utilisation du simulateur)



(Enseignant E : Utilisation du simulateur d'oscilloscope après le cours)



Annexe A18. Résultats des tests de normalité, d'homogénéité, et d'équivalence relatifs aux scores au pré-test des groupes-classes

Résultat du Test de normalité : **Test de Shapiro-Wilk** avec SPSS 20

Score du Groupe-classe au Pré-test	statistique	Ddl	Signification	Normalité de la distribution des scores du pré-test
Ay	0,904	41	0,002	Non
Ax	0,928	46	0,007	Non
By	0,944	74	0,003	Non
Bx	0,951	69	0,008	Non
Cy	0,900	71	0,000	Non
Cx	0,941	67	0,003	Non
Dy	0,940	57	0,007	Non
Dx	0,948	52	0,024	Non
Ey	0,912	67	0,000	Non
Ex	0,914	74	0,000	Non

y : Groupe-classe Expérimental, , x : Groupe-classe Témoin

Résultat du Test d'homogénéité des variances des scores des groupes-classes : **Test de Levene** avec SPSS 20

	Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification	Homogénéité de la variance dans chaque groupe-classe
Pré-test Basé sur la moyenne	2.203	9	608	0,020	Non

Résultat du Test d'équivalence des niveaux des groupes-classes au pré-test : **Test U de Mann-Whitney** avec SPSS 20

Groupes-classes	Effectif	Rang moyen	Somme des rangs	Z	P (bilatéral)	Équivalence des niveaux des groupes-classes expérimental et témoin au départ
Ay	41	44,85	1839,00	-0,305	0,760	Oui
Ax	46	43,24	1989,00			
By	74	68,86	5096,00	-0,959	0,338	Oui
Bx	69	75,36	5200,00			
Cy	71	64,68	4592,00	-1,498	0,134	Oui
Cx	67	74,61	4999,00			
Dy	57	57,19	3260,00	-0,781	0,435	Oui
Dx	52	52,60	2735,00			
Ey	67	59,51	5607,00	-3,581	0,000	Non
Ex	74	83,69	4404,00			

Annexe A19. Résultats des tests de normalité, d'homogénéité, et d'équivalence relatifs aux scores au post-test des groupes-classes

Résultat du Test de normalité des scores du post-test : **Test de Shapiro-Wilk** avec SPSS 20

Score du Groupe-classe au Pré-test	statistique	Ddl	Signification	Normalité de la distribution des scores du post-test
Ay	0,904	41	0,007	Non
Ax	0,928	46	0,007	Non
By	0,944	74	0,000	Non
Bx	0,951	69	0,000	Non
Cy	0,900	71	0,000	Non
Cx	0,941	67	0,000	Non
Dy	0,940	57	0,001	Non
Dx	0,948	52	0,000	Non
Ey	0,912	67	0,001	Non
Ex	0,914	74	0,000	Non

y : Groupe-classe Expérimental, , x : Groupe-classe Témoin

Résultat du Test d'homogénéité des variances des scores des groupes-classes au post-test : **Test de Levene** avec SPSS 20

	Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification	Homogénéité de la variance dans chaque groupe-classe
Post-test Basé sur la moyenne	3,323	9	605	0,001	Non

Résultat du Test d'équivalence des niveaux des groupes-classes au pré-test : **Test U de Mann-Whitney** avec SPSS 20

Groupes-classes	Effectif	Rang moyen	Somme des rangs	Z	P (bilatéral)	Équivalence des niveaux des groupes-classes expérimental et témoin à la fin de l'
Ay	41	50,07	1775,00	-2,174	0,030	Non
Ax	46	38,59	2053,00			
By	74	81,05	6079,00	-2,476	0,013	Non
Bx	69	64,37	4506,00			
Cy	71	89,90	5753,50	-6,973	0,000	Non
Cx	67	44,48	3024,50			
Dy	57	53,32	3039,00	-0,602	0,547	Oui
Dx	52	56,85	2956,00			
Ey	67	61,22	4163,00	-2,923	0,003	Non
Ex	74	80,95	5990,00			

Annexe A20. Résultats des tests de normalité et d'homogénéité relatifs au gain relatif d'apprentissage des groupes-classes

Résultat du Test de normalité de la distribution du gain relatif d'apprentissage : **Test de Shapiro-Wilk** avec SPSS 20

Score du Groupe-classe au Pré-test	Statistique	ddl	Signification	Normalité de la distribution des gains relatifs
Ay	0,942	39	0,043	Non
Ax	0,962	46	0,142	Oui
By	0,965	73	0,038	Non
Bx	0,956	66	0,019	Non
Cy	0,961	64	0,039	Non
Cx	0,920	65	0,000	Non
Dy	0,942	57	0,009	Non
Dx	0,857	51	0,000	Non
Ey	0,976	67	0,218	Oui
Ex	0,925	74	0,000	Non

y : Groupe-classe Expérimental, , x : Groupe-classe Témoin

Résultats du Test d'homogénéité des variances des gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes : **Test de Levene** avec SPSS 20.

	Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification	Homogénéité de la variance dans chaque groupe-classe
Gain relatif Basé sur la moyenne	1,484	9	592	0,150	Oui

Annexe A21. Résultats des tests de normalité des distributions des scores au pré-test, au post-test, et du gain relatif d'apprentissage du groupe expérimental et du groupe témoin.

Tests de normalité

Type de Groupe		Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
		Statistique	ddl	Signification	Statistique	ddl	Signification
GainRelatif	Groupe Expérimental	0,1165	300	0,000	0,9737	300	0,000
	Groupe Témoin	0,1225	302	0,000	0,9652	302	0,000
Pré-test	Groupe Expérimental	0,1561	300	0,000	0,9441	300	0,000
	Groupe Témoin	0,1496	302	0,000	0,9457	302	0,000
Post-test	Groupe Expérimental	0,1585	300	0,000	0,9384	300	0,000
	Groupe Témoin	0,1470	302	0,000	0,9497	302	0,000

a. Correction de signification de Lilliefors

Test d'homogénéité de la variance

		Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification
GainRelatif	Basé sur la moyenne	5,825	1	600	0,016
	Basé sur la médiane	4,795	1	600	0,029
	Basé sur la médiane et avec ddl ajusté	4,795	1	579,42	0,029
	Basé sur la moyenne tronquée	5,220	1	600	0,023
Pré-test	Basé sur la moyenne	5,785	1	600	0,016
	Basé sur la médiane	5,766	1	600	0,017
	Basé sur la médiane et avec ddl ajusté	5,766	1	591,33	0,017
	Basé sur la moyenne tronquée	5,767	1	600	0,017
Post-test	Basé sur la moyenne	27,943	1	600	0,000
	Basé sur la médiane	21,841	1	600	0,000
	Basé sur la médiane et avec ddl ajusté	21,841	1	580,17	0,000
	Basé sur la moyenne tronquée	27,886	1	600	0,000

Annexe A22. Gains relatifs d'apprentissage des groupes-classes expérimentaux et témoins selon l'attitude des élèves envers la physique

Groupes-classes	Attitude Avant envers la physique	Effectif	Gain relatif	Z	P (bilatéral)
Ay	Positive	34 (87%)	0,20		
	Négative	4 (10%)	0,27		
	Neutre	1 (3%)	-		
Ax	Positive	36 (78,3%)	0,014		
	Négative	8 (17,4%)	0,15		
	Neutre	2 (4,3%)	-		
By	Positive	64 (87,6%)	0,16		
	Négative	7 (9,6%)	0,17		
	Neutre	2 (2,7%)	0,13		
Bx	Positive	58 (87,9%)	0,07		
	Négative	5 (7,6%)	- 0,12		
	Neutre	3 (4,5%)	0,02		
Cy	Positive	51 (79,7%)	0,15		
	Négative	10 (1,6%)	0,17		
	Neutre	3 (4,7%)	0,15		
Cx	Positive	62 (95,4%)	- 0,04		
	Négative	2 (3,1%)	- 0,16		
	Neutre	1 (1,5 %)	-		
Dy	Positive	38 (66,7%)	0,10		
	Négative	17 (29,8%)	0,20		
	Neutre	2 (3,5%)	0,07		
Dx	Positive	44 (86%)	0,17		
	Négative	6 (12%)	0,19		
	Neutre	1 (2%)	-		
Ey	Positive	40 (6%)	0,16		
	Négative	15 (22%)	-0,10		
	Neutre	12 (18%)	0,10		
Ex	Positive	56 (75,7%)	0,28		
	Négative	14 (18,9%)	0,13		
	Neutre	4 (5,4%)	0,37		