جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH DE FES



كلية العلوم ظهر المهراز فاس
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MAHRAZ FES

Formation Doctorale : Didactique des Sciences et Ingénierie Pédagogique

Discipline : Physique

Spécialité : Didactique des Sciences Physiques

Laboratoire : Laboratoire d'Informatique, Signaux, Automatique et Cognitivisme

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

HAMAMOUS Adil

Impacts de l'utilisation de l'expérimentation assistée par ordinateur et de la simulation informatique dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique au secondaire marocain

Soutenue le 09 /03/2024 devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Pr ZAKI Moncef	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès	Président
Pr GUENNOUN Btissam	PH	CRMEF - Fès	Rapporteur & examinateur
Pr EL KHATTABI Khalid	PH	Ecole Normale Supérieure- Fès	Rapporteur & examinateur
Pr DROUI Mohamed	PES	Ecole Supérieure de l'Education et de la Formation- Oujda	Rapporteur & examinateur
Pr ALAMI Anouar	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès	Examinateur
Pr TAIRI Hamid	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès	Examinateur
Pr BENJELLOUN Nadia	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès	Directeur de thèse

Année universitaire : 2023-2024

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je souhaite exprimer ma gratitude envers Dieu le Tout-Puissant et Miséricordieux pour m'avoir accordé le courage, la force, et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail de recherche, ainsi que l'audace indispensable pour surmonter toutes les difficultés.

Je tiens également à adresser mes remerciements sincères à ma directrice de thèse, Pr. Nadia BENJELLOUN, pour son intérêt constant, son soutien indéfectible, sa disponibilité généreuse, et ses nombreux conseils éclairés qui ont contribué de manière significative à la réussite de ce travail doctoral. Sa qualité d'écoute et de compréhension humaine m'a particulièrement touché tout au long de cette aventure académique.

Je remercie aussi l'ensemble des membres du jury, qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir étudier avec attention ce travail de recherche : Pr. Btissam GUENNOUN, Pr. Khalid EL KHATTABI et Pr. Mohamed DROUI pour avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse ; Pr. Anouar ALAMI et Pr. Hamid TAIRI Hamid pour avoir accepté d'examiner cette thèse ; et enfin Pr. Moncef ZAKI pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers tous les membres du laboratoire d'informatique, signaux, automatique et cognitivisme (LISAC) pour leur bonne humeur, leur disponibilité, et leur précieuse assistance qui ont contribué non seulement à la réalisation de mon travail de recherche, mais aussi à une ambiance de travail agréable.

Un merci spécial aux enseignants du secondaire et aux élèves qui ont participé activement à cette recherche. Leur implication a été essentielle, et sans eux, cette contribution n'aurait pas été possible.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers mes parents et ma femme pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements tout au long de ces années passées. Leur présence a été une source inestimable de motivation et de réconfort.

RÉSUMÉ

L'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans l'éducation n'est plus considérée comme un simple "luxe pédagogique", mais plutôt comme une nécessité pour adapter l'apprentissage aux environnements actuels des élèves. Les simulations informatiques et l'Expérimentation Assistée par Ordinateur (ExAO) sont les outils technologiques les plus couramment utilisés à des fins pédagogiques.

Le travail de cette thèse examine dans sa première partie, les perceptions des enseignants relatives à l'utilisation de l'ExAO dans l'enseignement de la physique au secondaire qualifiant ainsi qu'une recherche évaluant l'introduction de l'ExAO pour l'apprentissage du circuit RLC. Une enquête anonyme a été menée auprès de 122 enseignants de sciences physiques. Les déclarations de ces enseignants ont révélé que malgré la reconnaissance des avantages pédagogiques de l'ExAO, son utilisation est limitée en raison du manque d'équipement approprié, de logiciels spécialisés, du sureffectif des élèves dans une classe, d'une formation insuffisante des enseignants dans le domaine des TIC et d'un manque de maintenance régulière des équipements. Notre expérimentation sur l'utilisation de l'ExAO dans l'étude des oscillations libres d'un circuit RLC a été menée en adoptant une méthodologie de pré-test et post-test avec 20 élèves pour le groupe expérimental et 20 élèves pour le groupe de contrôle de niveau deuxième année du baccalauréat scientifique option Sciences de la Vie et de la Terre (SVT). Des entretiens non directifs et directifs ont également été menés auprès des élèves du groupe expérimental. L'intégration de l'ExAO a montré un impact positif sur les performances d'apprentissage des élèves.

Dans la deuxième partie de cette thèse, nous avons évalué l'impact de l'utilisation de simulateurs éducatifs, notamment Electronics Workbench (EWB), Crocodile Physics et la simulation interactive eduMedia sur l'apprentissage de la démodulation d'amplitude, d'un circuit RC et des ondes lumineuses. La méthodologie comprenait des pré-tests et des posttests avec un groupe expérimental et un groupe de contrôle de 25 élèves chacun de la deuxième année de baccalauréat scientifique, option Sciences Physiques, ainsi que des entretiens directifs et non directifs avec les élèves et les enseignants. Les résultats ont montré que les simulations ont un effet remarquable sur l'appropriation des connaissances, avec des avantages significatifs sur la motivation des élèves et l'interaction entre les pairs par rapport à la méthode traditionnelle.

Les résultats de ces recherches sont encourageants et soulèvent des conclusions pertinentes. Tout d'abord, pour une utilisation efficace de l'ExAO et des simulations dans l'enseignement, il faut une formation appropriée des enseignants pour chaque type d'interface et de logiciels, pour cela il est nécessaire de réserver une partie de leur charge horaire soit pour une autoformation soit pour une formation continue. Il ressort ensuite que l'utilisation des simulations est bénéfique pour l'accroissement de la motivation et des performances des élèves pour apprendre. Cependant, les expériences réelles en laboratoire ne peuvent pas être remplacées totalement par les simulations.

Mots-clés : Apprentissage, ExAO, physique, pré-test et post-test, simulateur (EWB), simulateur crocodile Physics, simulation interactive eduMedia, formation des enseignants, motivation, interaction, engagement.

ABSTRACT

The integration of Information and Communication Technologies (ICT) into education is no longer seen as a mere 'pedagogical luxury', but rather as a necessity for adapting learning to today's student environments. Computer simulations and Computer Assisted Experimentation (CAEx) are the most commonly used technological tools for educational purposes.

The first part of this thesis examines teachers' perceptions of the use of CAEx in the teaching of physics in qualifying secondary schools, as well as research evaluating the introduction of CAE in the learning of the RLC circuit. An anonymous survey of 122 physics teachers was carried out. The teachers' statements revealed that despite recognition of the pedagogical advantages of CAEx, its use is limited due to a lack of appropriate equipment, specialised software, overcrowding in the classroom, insufficient ICT training for teachers and a lack of regular equipment maintenance. Our experiment on the use of CAEx in the study of free oscillations of an RLC circuit was conducted using a pre-test-post-test methodology with 20 students in the experimental group and 20 students in the control group in the second year of the scientific baccalaureate (option Life and Earth Sciences). Non-directive and directive interviews were also conducted with students in the experimental group. The integration of computer-assisted experimentation had a positive impact on the learning performance of the students.

In the second part of this thesis, we evaluated the impact of using educational simulators, including Electronics Workbench (EWB), Crocodile Physics and the eduMedia interactive simulation on learning amplitude demodulation, an RC circuit and light waves. The methodology included pre-tests and post-tests with an experimental group and a control group of 25 students each from the second year of the scientific baccalaureate, option Physical Sciences, as well as directive and non-directive interviews with students and teachers. The results showed that the simulations had a remarkable effect on the appropriation of knowledge, with significant benefits for student motivation and peer interaction compared with the traditional method.

The results of this research are encouraging and raise some pertinent conclusions. Firstly, if CAEx and simulations are to be used effectively in teaching, teachers need to be appropriately trained for each type of interface and software, and part of their timetable needs to be set aside for either self-training or in-service training. It then emerged that the use of simulations is beneficial for increasing pupils' motivation and performance in learning. However, real laboratory experiments cannot be totally replaced by simulations.

Keywords: Learning, CAEx, physics, pre-test and post-test, EWB simulator, Physics crocodile simulator, eduMedia interactive simulation, teacher training, motivation, interaction, engagement.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE 14

CHAPITRE 1. ETAT DE L'ART ET QUESTIONS DE RECHERCHE 19

1.1 Intégration des TIC dans le système éducatif marocain 20

1.1.1 Utilisation des TIC 20

1.1.2 Apports des TIC dans l'enseignement des sciences. 21

1.1.3 Intégration des TICE au Maroc : Attentes et obstacles 23

1.2 La simulation dans l'enseignement des sciences 26

1.3 L'ExAO dans l'enseignement des sciences 26

1.4 Questions de la recherche 27

CHAPITRE 2. CADRE THEORIQUE 32

2.1 L'évolution des théories de l'apprentissage à l'ère du numérique 33

2.1.1 Le béhaviorisme 33

2.1.2 Le cognitivisme 34

2.1.3 Le constructivisme 35

2.1.4 Socioconstructivisme 36

2.1.5 Le connectivisme 38

2.2 Approche par compétence dans le curricula marocain 40

2.2.1 Chronologies des approches pédagogiques adoptées par le système éducatif marocain 40

2.2.2 Pourquoi l'approche par les compétences 42

2.2.3 Fondements de l'approche par les compétences 44

2.2.3.1 Notion de la compétence 45

2.2.3.2 Compétence spécifique et compétence transversale 46

2.2.3.3 Caractéristiques d'une compétence 46

2.3 Apprentissage par problème 47

2.3.1 Définition de L'APP 47

2.3.2 Caractéristiques de l'APP 49

2.3.3 Ingénierie didactique pour construire une situation-problème 51

2.3.4 Mise en place d'une séance d'enseignement basé sur la pédagogie par situation-problème 52

2.4 Théories de la motivation et la motivation en contexte scolaire 54

2.4.1 Qu'est-ce que la motivation ? 55

2.4.2 Théories de la motivation 55
2.4.2.1 Théorie de l'autodétermination 55
2.4.2.2 Théorie cognitive de la motivation 56
2.4.2.3 Théorie de l'auto-efficacité 56
2.4.3 La motivation en contexte scolaire ; modèle de Viau 56
2.4.4 La motivation et l'apprentissage à l'aide des TIC 58
2.5 L'intégration des TIC dans l'enseignement des SP 60
2.5.1 La notion des TIC 60
2.5.2 Avantages à utiliser des TIC dans l'apprentissage 60
2.5.3 Importance des TIC dans l'éducation 61
2.5.4 Types d'usage des TIC en enseignement des sciences 61
2.5.4.1 Simulations informatiques 61
2.5.4.1.1 Définition 61
2.5.4.1.2 Types de simulations 62
2.5.4.1.3 Intérêts et limites des simulations en enseignement des sciences 64
2.5.4.1.4 Le rôle de l'enseignant durant la simulation 66
2.5.4.1.5 Les expériences et leurs simulations : mettre en évidence les différences 66
2.5.4.2 Expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) 67
CHAPITRE 3. METHODOLOGIE 69
3.1 Type de recherche 70
3.2 Echantillon 70
3.3 Outils d'analyse des données 71
3.4 Analyse des données 71
CHAPITRE 4. EXPERIMENTATION DE L'UTILISATION DE L'ExAO DANS L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE DE LA PHYSIQUE AU SECONDAIRE QUALIFIANT 73
4.1 Perceptions des enseignants sur l'utilisation de l'ExAO dans l'enseignement de la physique au secondaire qualifiant 74
4.1.1 Participants 74
4.1.2 Instrument 74
4.1.3 Analyse des données 75
4.1.4 Résultats et discussion 75
4.1.4.1 Informations générales 75
4.1.4.2 Direction provinciale de l'éducation 76
4.1.4.3 Les équipements en matériel 77

4.1.4.4 Utilisation de l'ExAO 79
4.1.4.5 Représentation des professeurs sur l'utilité de l'ExAO 81
4.1.4.6 Les inconvénients de l'utilisation de l'ExAO 81
4.1.4.7 La formation sur l'utilisation de l'ExAO 81
4.1.4.8 La maîtrise de l'ExAO 82
4.1.4.9 Les obstacles de l'utilisation de l'ExAO en classe 82
4.1.4.10 Les conditions d'usage de l'ExAO 83
4.1.4.11 Discussion 84
4.2 Impacts de l'utilisation de l'ExAO dans l'apprentissage de la physique, cas des oscillations libres dans un circuit RLC au secondaire 85
4.2.1 Pré-test et post-test 85
4.2.1.1 Echantillon 85
4.2.1.2 Analyse des données du pré-test et post-test 86
4.2.2 Entretien 87
4.2.2.1 Protocole 87
4.2.2.2 Analyse des données de l'entretien 88
4.2.3 Resultats et discussion 88
4.2.3.1 Résultats du pré-test 88
4.2.3.1.1 Statistiques descriptives et tests de normalité 88
4.2.3.1.2 Test t d'échantillons indépendants 89
4.2.3.2 Résultats du post-test 89
4.2.3.2.1 Statistiques descriptives et tests de normalité 89
4.2.3.2.2 Test t d'échantillons indépendants 90
4.2.3.2.3 Analyse des réponses des élèves aux questions du post-test 91
4.2.3.3 Entretien 91
4.2.3.3.1 Analyse de l'entretien 91
4.2.3.4 Discussion 93
CHAPITRE 5. IMPACTS DE L'INTEGRATION DE LA SIMULATION INFORMATIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA PHYSIQUE AU SECONDAIRE QUALIFIANT 94
5.1 Etude de l'intégration du simulateur Electronics Workbench (EWB) dans l'apprentissage des concepts électriques chez les lycéens 95
5.1.1 Pré-test et post-test 95
5.1.1.1 Echantillon 95
5.1.1.2 Analyse des données du pré-test et post-test 96

5.1.2 Entretien 96
5.1.2.1 Protocole 96
5.1.2.2 Analyse des données de l'entretien 97
5.1.3 Resultats et discussion 97
5.1.3.1 Résultats du pré-test 97
5.1.3.1.1 Statistiques descriptives et tests de normalité 97
5.1.3.1.2 Test t d'échantillons indépendants 98
5.1.3.2 Résultats du post-test 98
5.1.3.2.1 Statistiques descriptives et tests de normalité 98
5.1.3.2.2 Test t d'échantillons indépendants 99
5.1.3.3 Entretien 100
5.1.3.3.1 Analyse de l'entretien 100
5.1.3.3.1.1 Pour les élèves 100
5.1.3.3.1.2 Pour les enseignants 101
5.2 Impacts de l'utilisation du simulateur crocodile Physics dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité au lycée 101
5.2.1 Pré-test et post-test 102
5.2.1.1 Pré-test 102
5.2.1.2 Post-test 102
5.2.1.3 Echantillon 103
5.2.1.4 Analyse des données du pré-test et post-test 103
5.2.2 Entretien 103
5.2.2.1 Évaluation de la motivation 104
5.2.2.2 Évaluation de l'engagement 104
5.2.2.3 Évaluation de l'interaction 104
5.2.2.4 Analyse des données de l'entretien 104
5.2.3 1.11.4 Résultats et discussion 104
5.2.3.1 Résultats du pré-test 104
5.2.3.1.1 Statistiques descriptives et tests de normalité 104
5.2.3.1.2 Test U de Mann-Whitney d'échantillons indépendants 105
5.2.3.2 Résultats du post-test 106
5.2.3.2.1 Statistiques descriptives et tests de normalité 106
5.2.3.2.2 Test U de Mann-Whitney d'échantillons indépendants 106
5.2.3.2.3 Analyse des réponses des élèves aux questions du post-test 107

5.2.3.3 Entretien 108
5.2.3.3.1 Analyse de l'entretien 108
5.2.3.3.1.1 Évaluation de la motivation 108
5.2.3.3.1.2 Évaluation de l'engagement 109
5.2.3.3.1.3 Évaluation de l'interaction 111
5.2.3.3.1.4 Opinion des professeurs 112
5.3 Etude de l'utilisation de la Simulation Interactive eduMedia dans l'apprentissage des Ondes Lumineuses au Secondaire 113
5.3.1 Pré-test et post-test 113
5.3.1.1 Pré-test 113
5.3.1.2 Post-test 114
5.3.1.3 Echantillon 114
5.3.1.4 Analyse des données du pré-test et post-test 115
5.3.2 Entretien 115
5.3.2.1 La motivation des élèves 115
5.3.2.2 L'interaction élève- élève et professeur- élève 115
5.3.2.3 Analyse des données de l'entretien 116
5.3.3 Résultats et discussion 116
5.3.3.1 Résultats du pré-test 116
5.3.3.1.1 Statistiques descriptives et tests de normalité 116
5.3.3.1.2 Test U de Mann-Whitney d'échantillons indépendants 116
5.3.3.2 Résultats du post-test 117
5.3.3.2.1 Statistiques descriptives et tests de normalité 117
5.3.3.2.2 Analyse des réponses des élèves aux questions du post-test 118
5.3.3.3 Entretien 120
5.3.3.3.1 Analyse de l'entretien 120
5.3.3.3.1.1 La motivation des élèves 120
5.3.3.3.1.2 L'interaction élève- élève et professeur- élève 121
5.3.3.3.1.3 Opinion des professeurs 122
5.3.3.4 DISCUSSION 123
CONCLUSION GÉNÉRALE 125
BIBLIOGRAPHIE 132

Annexe 1: Questionnaire administré aux enseignants de SP du secondaire qualifiant sur leurs perceptions de l'utilisation de l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) 154

Annexe 2: Fiche technique de l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC par l'ExAO 161
Annexe 3: Pré-test de l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC 167
Annexe 4: Post-test de l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC à l'aide de l'ExAO .. 170
Annexe 5: Fiche technique de l'étude la modulation d'amplitude et de la démodulation d'amplitude via le simulateur Electronics WorkBench 174
Annexe 6: Pré-test de l'étude de la modulation d'amplitude et de la démodulation d'amplitude 180
Annexe 7: Post-test de l'étude de la modulation d'amplitude et de la démodulation d'amplitude via le simulateur Electronics WorkBench 185
Annexe 8: Pré-test de l'étude du circuit RC 189
Annexe 9: Post-test de l'utilisation du simulateur crocodile Physics pour l'étude du circuit RC 194
Annexe 10: Pré-test de l'étude de la propagation d'une onde lumineuse 200
Annexe 11: Post-test de l'utilisation de la simulation interactive eduMedia pour de l'étude de la propagation d'une onde lumineuse 205

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Représentation schématique des courants théoriques les plus importants (Kozanitis,2005)38
Tableau 2. Statistiques de fiabilité 75
Tableau 3. Relation entre l'utilisation de l'ExAO par répondants et le genre..... 80
Tableau 4. Indépendance entre l'utilisation de l'ExAO par répondants et la spécialité des diplômes.. 80
Tableau 5. Déclarations des enseignants sur les avantages de l'utilisation de l'ExAO 81
Tableau 6. Les conditions d'usage de l'ExAO 84
Tableau 7. Statistiques descriptives (pré-test)..... 88
Tableau 8. Test de normalité 89
Tableau 9. Test d'échantillons indépendants 89
Tableau 10. Statistiques descriptives (post-test) 89
Tableau 11. Tests de normalité..... 90
Tableau 12. Test d'échantillons indépendants 90
Tableau 13. Réponses correctes des deux groupes : contrôle et expérimental 91
Tableau 14. Statistiques descriptives (pré-test)..... 97
Tableau 15. Tests de normalité..... 97
Tableau 16. Test d'échantillons indépendants 98
Tableau 17. Statistiques descriptives (post-test) 98
Tableau 18. Tests de normalité..... 99
Tableau 19. Test d'échantillons indépendants 99
Tableau 20. Statistiques descriptives (pré-test)..... 105
Tableau 21. Tests de normalité..... 105
Tableau 22. Test U de Mann-Whitney 106
Tableau 23. Statistiques descriptives (post-test) 106
Tableau 24. Tests de normalité..... 106
Tableau 25. Test U de Mann-Whitney 107
Tableau 26. Réponses correctes des deux groupes : expérience et simulation..... 107
Tableau 27. Statistiques descriptives (pré-test)..... 116
Tableau 28. Tests de normalité..... 116
Tableau 29. Test U de Mann-Whitney 117
Tableau 30. Statistiques descriptives (post-test) 117
Tableau 31. Tests de normalité..... 117
Tableau 32. Test U de Mann-Whitney 118
Tableau 33. Test U de Mann-Whitney 118
Tableau 34. Réponses correctes des deux groupes : expérience et simulation..... 119

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Le simulateur crocodile Physics 605 30
Figure 2. La fenêtre de la simulation interactive eduMedia 31
Figure 3. Le connectivisme (SIEMENS, 2005) 39
Figure 4. Les grandes étapes de la résolution d'une situation problème (G. Brousseau) 52
Figure 5. Le modèle de motivation scolaire proposé par Viau, R. (1994) en milieu scolaire 57
Figure 6. Le système ExAO est composé d'un capteur qui détecte le phénomène à étudier et envoie les données à un logiciel via une interface. (http://perso.orange.fr/tangentiel/images/EXAO.gif) 68
Figure 7. Description schématique de la démarche expérimentale adoptée 70
Figure 8. Capture d'écran d'une partie du questionnaire mis en ligne via Google Forms 75
Figure 9. Le taux des enseignants de SP en fonction de leurs parcours universitaire 76
Figure 10. La répartition des enseignants en SP en fonction de leur spécialité de diplôme 76
Figure 11. Répartition des répondants en fonction de leur ancienneté dans l'enseignement 76
Figure 12. Répartition des interrogés en fonction des directions provinciales de l'éducation 77
Figure 13. Distribution des professeurs en fonction du niveau d'enseignement 77
Figure 14. Les équipements en matériels des établissements enquêtés 78
Figure 15. Les types d'interfaces utilisées par l'AEEF de Fès-Meknès et les directions provinciales de Casablanca et de Guercif 78
Figure 16. Les types des logiciels utilisées par l'AEEF de Fès-Meknès et les directions provinciales de Casablanca et de Guercif 78
Figure 17. Taux d'usage de l'ExAO dans l'enseignement en classe par les professeurs 79
Figure 18. Pourcentage des TP réalisés á l'aide l'ExAO par les professeurs de SP 81
Figure 19. La formation à l'ExAO par les enseignants interrogés 82
Figure 20. La maîtrise de l'ExAO par les enseignants interrogés 82
Figure 21. Les obstacles de l'utilisation de l'ExAO en classe par les enseignants de SP 83
Figure 22. Montage des oscillations libres dans un circuit RLC avec l'ExAO 86
Figure 23. Le degré de satisfaction des élèves utilisant le simulateur Electronics Workbench (EWB) 100
Figure 24. Valorisation des enseignants de SP de la simulation 101
Figure 25. L'évaluation de la motivation à utiliser le simulateur crocodile Physics 109
Figure 26. Statistiques relatives à l'engagement des élèves dans leur apprentissage 110
Figure 27. Évaluation des interactions élève- élève et professeur- élève 112
Figure 28. L'examen de la motivation à utiliser la simulation interactive eduMedia 121
Figure 29. L'examen des interactions élève- élève et professeur- élève 122

LISTE DES ABREVIATIONS

APC : Approche par les Compétences
APP : Apprentissage Par Problème
AREF : Académie Régionale de l'Education et de la Formation
CSEFRS : Conseil Supérieur de l'Education, de la Formation et de la Recherche Scientifique
EAO : Enseignement Assisté par Ordinateur
EWB : Electronics Workbench
ExAO : Expérimentation assistée par ordinateur
ICT : Integrating Information and Communication Technologies
GENIE : Généralisation des Technologies d'Information et de Communication dans l'Enseignement au maroc
MOOC : Massive Open Online Course
MEN : Ministère de l'Education Nationale
PhET : Physics Education Technology
QCM : Questions à choix multiples
RC : Association en série d'un conducteur ohmique de résistance R et d'un condensateur de capacité C
RLC : Circuit Linéaire Contenant une Résistance Electrique, une Bobine et un Condensateur
SP : Sciences physiques
SVT : Sciences de la Vie et de la Terre
TIC : Technologie de l'Information et de la Communication
TICE : Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement
TP : Travaux pratiques
UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

LISTE DES PUBLICATIONS

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2023). Impact of using computer-assisted experimentation on learning physical sciences in secondary schools in Morocco. *Knowledge Management & E-Learning*, 15(4), 554–574. https://doi.org/10.34105/j.kmel.2023.15.032. **(Q1)**
(Scopus et Web of Science)

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2023). Influences of the effective use of a computer simulation on learning in physical science. *Int J Eval & Res Educ*, *12*(3), 1591-1598. DOI:10.11591/ijere.v12i3.24170. **(Q3)** **(**Scopus et Web of Science)

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2023). The positive meaning of the use of Interactive Simulation eduMedia in the subject of Light Waves in Secondary School in Morocco. *International Journal of Instruction*, *16*(1). DOI:10.29333/iji.2023.16147a. **(Q1)**
(Scopus et Web of Science)

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2022). The Added Value of Integrating the Electronics Workbench Simulator in the Teaching of Electrical Concepts to Moroccan High School Students. *International Journal of Online & Biomedical Engineering*, *18*(12). DOI:10.3991/ijoe.v18i12.30743 . **(Q3)** **(**Scopus et Web of Science)

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2022). Impact of the Use of the Physics Crocodile Simulator in the Teaching and Learning of Electricity in High School (Morocco). *International Journal of Information and Education Technology*, *12*(10). DOI:10.18178/ijiet.2022.12.10.1711. **(Q3)** **(**Scopus)

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2024). Computer-Assisted Experimentation in Physical Science Education for Moroccan Students. *Journal of Learning for Development*. **(Q3)**
(Scopus)

INTRODUCTION GENERALE

Depuis les années 1990, le Ministère de l'Education Nationale (MEN) du Maroc travaille activement sur l'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans son système éducatif. Cette initiative vise à exploiter les avantages innovants offerts par ces technologies. En effet, ces outils sont utilisés pour faciliter la transmission des connaissances, mais aussi pour explorer des stratégies pédagogiques qui encouragent le développement des compétences (Perreault, 2015). En outre, l'introduction des outils TIC dans la présentation des cours aide les enseignants à adopter des approches pédagogiques créatives tout en augmentant la curiosité et la compréhension des apprenants, ce qui se traduit par une capacité d'apprentissage accrue et un épanouissement personnel (Guennoun & Benjelloun, 2016 ; Al Shuaili et al., 2020). De nombreux chercheurs, Nurliani et al. (2021) ont noté que les TIC sont capables d'élargir les connaissances des élèves en physique. En effet, Alj et Benjelloun (2013) ont confirmé que la majorité des enseignants de sciences physiques présentent un intérêt remarquable concernant les TIC. Les instruments TIC avancés tels que la gamification et la simulation deviennent vitaux et efficaces pour aider les cours magistraux (Erdmann & Torres Marín, 2019). Les TIC ont un impact significatif dans la diminution de la frustration ressentie par les élèves en situation de difficultés d'apprentissage lorsqu'ils prennent part à des activités expérientielles et peuvent même améliorer leur auto-efficacité dans une certaine mesure (Ma et al., 2021). Cependant, Les résultats obtenus par Mamane et Benjelloun (2018) ont révélé le manque d'harmonisation de l'action pédagogique par rapport aux ressources TIC. Beaucoup de recherches ont montré que grâce aux TIC, les apprenants peuvent être plus motivés et obtenir de meilleurs résultats (Guennoun et al., 2015 ; Belkebir & Darhmaoui, 2018 ; Zakaria et al., 2014 ; Droui et al., 2013 ; Ouardaoui et al., 2012). Par ailleurs, ces outils offrent à l'apprenant la possibilité de mener des expériences à travers l'utilisation de l'Expérimentation Assistée par Ordinateur (ExAO) (Sabri et al., 2018).

Le levier 10 de la Charte Nationale de l'Education et de la Formation au Maroc (1999) a pour but de garantir l'égalité des chances en matière d'accès à l'information et à la communication, afin de surmonter les obstacles rencontrés dans le domaine de l'enseignement et de la formation. L'ExAO et la simulation informatique sont des approches particulièrement prometteuses pour l'enseignement des sciences expérimentales.

L’ExAO est une expérience réelle à travers une interface équipée de capteurs et connectée à un ordinateur pour collecter des données et représenter des resultats sous forme de graphe (Caron, 2007). L’ExAO fait référence à l'utilisation d'un système informatique

comprenant un ordinateur, une interface, des capteurs et des logiciels, à des fins éducatives, qui fonctionne comme un robot (Pellerin, 2016). L'étude d'El Ouargui et al. (2019) montre que près de 60% des établissements au Maroc sont équipés de l'ExAO, mais le nombre et la disponibilité de cet outil restent insuffisants. L'apprenant bénéficie d'un environnement de laboratoire lui permettant de concevoir, planifier et réaliser des expériences. Les études menées depuis les années 1970 ont montré que l'utilisation des ExAO est plus efficace que les méthodes d'enseignement traditionnelles pour l'acquisition des concepts scientifiques. En effet, les ExAO permettent aux apprenants de visualiser et de manipuler des phénomènes scientifiques complexes, de poser des hypothèses et de les tester, et de collecter des données de manière plus rapide et plus précise (Atibi, 2017).

Depuis les années 1970, les chercheurs se sont intéressés à comparer les méthodes d'enseignement traditionnel en laboratoire avec les méthodes qui utilisent des simulations informatiques pour l'acquisition de connaissances scientifiques. La majorité de ces études ont conclu que l'approche pédagogique la plus efficace pour enseigner les matières scientifiques est une combinaison de l'enseignement traditionnel et des simulations informatiques (Alj & Benjelloun, 2015 ; Zacharia, 2005), selon ces études, il est souligné que cette approche est cruciale car elle permet à l'élève de s'habituer à la technologie et d'avoir accès, de manière virtuelle, aux équipements du laboratoire (Ouazzani Touhami et al., 2014 ; Zacharia, 2008).

La littérature propose différentes définitions de la simulation informatique, également connue sous le nom de simulation numérique. Ces définitions reflètent parfois des perspectives complémentaires, mais souvent différentes (Lehaney et al., 1998). Effectivement, les simulations reposent sur l'utilisation de programmes qui utilisent un modèle simplifié d'un système particulier (Ouazzani Touhami et al., 2014 ; Droui & El Hajjami, 2014). Brans et Lemaire (2002) ont déclaré que la simulation peut être définie de diverses façons. Elle peut être considérée comme un outil explicatif qui permet de décrire un système, comme un moyen d'analyse pour obtenir des résultats significatifs et évaluer des solutions proposées.

Les simulations en physique :

- Avant d'aller au laboratoire, il est recommandé d'effectuer des exercices de simultions pré-laboratoire (classe inversée) (El Idrissi et al., 2022). Cette pratique est justifiée lorsqu'il y a un risque de dégradation du matériel en raison de la complexité de l'appareillage que l'élève va trouver dans le laboratoire ;
- Après avoir réalisé l'expérience, il peut être bénéfique d'utiliser la simulation sur ordinateur pour choisir d'autres conditions d'expérimentation qui n'étaient pas

possibles lors de l'expérience réelle. Cela peut inclure l'utilisation de grandeurs physiques telles que la pression, la pesanteur ou la température, qui n'ont pas pu être contrôlées en raison de limitations de matériels (Poirier, 2022);

- Pendant une manipulation, l'une des particularités des calculs est leur répétitivité : étant donné que le nombre de mesures est souvent très élevé, le temps passé à effectuer des calculs itératifs peut devenir considérable. Dans ce contexte, il est souvent aisé de créer un programme informatique pour faciliter les calculs et la représentation graphique des courbes…

Ouazzani Touhami et al. (2016) ont renforcé l'impact pédagogique de la simulation dans l'enseignement de l'optique géométrique en soulignant que leur efficacité augmente considérablement lorsqu'elles sont utilisées pour des activités appropriées. Par ailleurs, ces simulations peuvent améliorer positivement la satisfaction des élèves, leur niveau de participation ainsi que leur capacité d'initiative (Duran et al., 2007). Selon d'autres chercheurs, les apprenants sont conscients de la difficulté inhérente à l'acquisition des concepts en physique, et certains pensent que l'utilisation de simulations peut constituer un obstacle à leur apprentissage (Ahaji et al., 2013). La carence d'expériences pratiques en laboratoire et la faible adoption des technologies éducatives, en particulier des simulations, sont des facteurs qui ont un impact négatif sur la compréhension des concepts électriques chez les élèves marocains (Chekour et al.,2016). A titre d'exemple, Ouazzani Touhami et al. (2016) ont montré que l'utilisation du logiciel Java d'optique géométrique, a une influence significative sur la réussite de la construction géométrique d'une image virtuelle. Par ailleurs, l'utilisation de simulations augmente la motivation des élèves et rend l'apprentissage de l'électricité plus interactif (Ramasundaram et al., 2005).

Dans notre travail de thèse, nous avons mené cinq recherches dans le but d'étudier et d'évaluer :

- Les perceptions des enseignants sur l'utilisation de l'ExAO dans l'enseignement de la physique au secondaire qualifiant (Hamamous & Benjelloun, 2023) ;
- Les impacts de l'utilisation de l'ExAO dans l'apprentissage de la physique, cas des oscillations libres dans un circuit RLC au secondaire (Hamamous & Benjelloun, 2023) ;
- Les effets de l'intégration du simulateur Electronics Workbench (EWB) dans l'enseignement des concepts électriques pour les élèves du lycée (Hamamous & Benjelloun, 2022) ;

- Les impacts de l'utilisation du simulateur Crocodile Physics sur l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité au niveau lycée (Hamamous & Benjelloun, 2022) ;
- L'utilisation de la Simulation Interactive eduMedia dans l'apprentissage des ondes lumineuses au niveau secondaire (Hamamous & Benjelloun, 2023).

Le travail de cette thèse est divisé en cinq chapitres. Le premier chapitre présente le contexte général de la recherche et expose la question principale et les questions spécifiques de recherche. Le deuxième chapitre se concentre sur le cadre théorique et de référence de l'étude, en présentant les notions clés liées à notre sujet. Dans le troisième chapitre, nous détaillons notre méthodologie, en abordant la population cible, les tailles des échantillons, les méthodes, les outils et les techniques de collecte et d'analyse de données. Le quatrième chapitre est consacré à l'utilisation de l'ExAO dans l'enseignement de la physique au secondaire qualifiant. Dans le cinquième chapitre, nous tentons d'explorer les impacts de l'intégration de la simulation informatique dans l'enseignement de la physique au secondaire qualifiant.

Enfin, la conclusion de cette thèse consiste en un résumé des travaux de recherche menés et des résultats obtenus. Ensuite, nous discutons des limites, des pistes de recherche future et des recommandations de ces recherches.

CHAPITRE 1. ETAT DE L'ART ET QUESTIONS DE RECHERCHE

1.1 Intégration des TIC dans le système éducatif marocain

1.1.1 Utilisation des TIC

Les TIC englobent diverses ressources indispensables pour traiter l'information, notamment les programmes informatiques, les ordinateurs et les réseaux permettant de la convertir, la stocker, la gérer, la transmettre et la récupérer. Le secteur des TIC englobe toutes les branches liées aux technologies, aux contenus et aux services numériques, à savoir :

- L'industrie électronique et les éléments constitutifs ;
- Les appareils, tels que les dispositifs audiovisuels destinés au grand public ;
- Le matériel informatique inclut les serveurs, les ordinateurs personnels ainsi que les périphériques et les équipements de transmission de données ;
- Les équipements de télécommunication comprennent les équipements de réseau, les logiciels ainsi que les services associés ;
- Les logiciels et les services informatiques intégrés, qu'ils soient liés à l'infrastructure ou aux applications, destinés aussi bien aux professionnels qu'au grand public ;
- Les services Internet basés sur des logiciels tels que les moteurs de recherche ou les réseaux sociaux ;
- Les services de télécommunication englobent la téléphonie fixe et mobile ainsi que la transmission de données ;
- Les services et contenus multimédias comprennent la télévision, la vidéo, le cinéma, la musique numérique, la radio, les jeux vidéo, etc.
- La simulation, la modélisation et le calcul à haute performance.

En peu de temps, les TIC se sont imposées comme un élément essentiel de la société moderne. Actuellement, de nombreux pays estiment que l'utilisation de ces technologies ainsi que la maîtrise des concepts et compétences essentiels qui y sont associés sont aussi primordiales que la capacité de lire, d'écrire ou de calculer dans l'éducation de base. Les responsables des systèmes éducatifs cherchent activement à fournir une éducation de qualité supérieure à leurs élèves, tout en respectant leurs budgets. Avec l'importance croissante des TIC dans la vie moderne, l'intégration de celles-ci dans l'enseignement secondaire est devenue une priorité majeure dans les programmes politiques (Unesco, 2004).

Les TIC ont été incorporées dans divers domaines, comme en témoignent les exemples suivants :

La santé : les actions engagées pour améliorer la qualité des services de santé incluent la formation, le soutien et la supervision des professionnels de santé, la mise en place de consultations à distance, la facilitation de l'accès aux services de santé de base ainsi que le suivi des patients. Il est également important de gérer efficacement les urgences et les références, notamment en assurant la pose des indications, en organisant le transport des patients et en assurant la communication du dossier médical.

L'économie : la mise en œuvre de systèmes de transmission à distance et de messagerie électronique encourage une collaboration interactive entre les unités de production et les centres de prise de décision, ce qui permet une meilleure gestion économique de l'entreprise. En équipant les fonctionnaires d'ordinateurs, les informations peuvent être saisies directement à la source, en intégrant les données successives en temps réel et en réduisant la charge de travail, cela entraîne une augmentation de la productivité.

La culture : dans ce cadre, les TIC peuvent apporter leur contribution à la résolution des enjeux majeurs auxquels notre monde est confronté, en encourageant la liberté d'expression et la diversité culturelle. Les TIC ont un impact significatif sur la création, la production et la diffusion des expressions culturelles, ainsi que sur leur accessibilité. De plus, elles jouent aujourd'hui un rôle important dans la préservation et la transmission du patrimoine culturel.

La politique : les TIC contribuent à l'avancement de la démocratie et à l'autonomisation des individus.

L'enseignement : il existe de nombreuses utilisations et bénéfices associés aux TIC.

1.1.2 Apports des TIC dans l'enseignement des sciences.

L'intégration des TICE offre de nombreux bénéfices, notamment une plus grande accessibilité, flexibilité, ainsi qu'un accroissement des interactions et des échanges entre les différents intervenants dans le domaine de l'enseignement (Karsenti, 2015 ; Nafidi et al., 2018).

Les TIC permettent une reconfiguration et une distribution des échanges entre les enseignants et les élèves à travers le temps et l'espace. Cela ouvre la voie à de nouvelles perspectives pour les activités de formation et d'apprentissage (Depover et al., 2007).

Selon l'UNESCO (2004), les TICE ont la capacité de compléter, enrichir et avoir un effet positif transformateur sur l'enseignement. Elles permettent non seulement de diffuser efficacement une grande quantité de connaissances, mais aussi d'explorer de nouvelles pratiques pédagogiques novatrices.

Les TIC peuvent être utilisées de manière appropriée pour soutenir les pédagogies actives dans l'enseignement et l'apprentissage. Elles offrent des possibilités pour un apprentissage actif et peuvent favoriser le développement de compétences transversales telles que la production, l'exploitation, le traitement, l'organisation et le partage de l'information chez les apprenants (Biaz et al., 2009). Par conséquent, l'utilisation des TIC peut contribuer à améliorer la pédagogie et la manière dont les apprenants interagissent avec le savoir (Heer et al., 2006 ; Peraya, 2002 ; Perrenoud, 1998).

L'intégration des TICE dans l'enseignement de la physique a commencé à se développer dans les années 80. Dans ce domaine, il est important de faire la distinction entre ce qui est réel et ce qui est virtuel : l'utilisation d'un écran doit conduire l'enseignant à fournir des explications supplémentaires, tout en offrant la possibilité d'obtenir davantage de résultats expérimentaux, d'outils paramétrables et de guides d'information.

Généralement, on identifie deux contributions principales de l'utilisation des ordinateurs dans l'enseignement de la physique :

- L'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) ;
- La simulation informatique des expériences de de la physique.

Les logiciels éducatifs font partie des outils de TICE et sont souvent employés pour faciliter l'acquisition des connaissances ainsi que la manipulation de données. Ils peuvent être utilisés, par exemple, pour l'observation, la collecte de données et la construction de graphiques dans le cadre de l'ExAO.

L'utilisation de logiciels éducatifs offre une opportunité aux élèves d'expérimenter concrètement, de prendre plus de responsabilités, de développer leur autonomie, leur esprit d'initiative, ainsi que de mettre en avant leurs compétences et leurs capacités.

Des recherches supplémentaires ont confirmé que les TICE ont la capacité d'améliorer l'efficacité de l'apprentissage en augmentant la motivation, en offrant des représentations visuelles plus claires et en responsabilisant les apprenants. Il a été suggéré que l'utilisation des TICE dans l'enseignement des sciences pourraient être une solution efficace pour stimuler la motivation des élèves (Borges & Martínez-Hernández, 2022), et dans le but de proposer une représentation simplifiée des systèmes réels analysés (Droui & Hajjami, 2014). Toutefois, pour intégrer efficacement les TICE dans le processus d'enseignement-apprentissage, il est essentiel que les enseignants soient dotés des compétences et des méthodologies nécessaires pour tirer pleinement parti de ces technologies (Alj & Benjelloun, 2013).

1.1.3 Intégration des TICE au Maroc : Attentes et obstacles

Le Maroc est engagé dans plusieurs initiatives visant à généraliser et intégrer les technologies dans le domaine de l'éducation. Le but est d'améliorer la qualité de l'enseignement et de la formation, de les aligner sur les normes internationales en vigueur et de faire des TIC un moyen de développement économique et social. Les décideurs ont mis en place plusieurs actions ambitieuses et projets pour intégrer les TIC dans l'enseignement et la formation (Nejjari & Bakkali, 2017 ; Nafidi et al., 2018 ; El Bouffy, 2022) :

La Charte Nationale de l'éducation et de la Formation (1999) : le 10ème levier de la charte se concentre sur l'intégration des nouvelles TIC dans l'enseignement, avec un objectif clair d'optimiser l'utilisation des ressources éducatives et de tirer pleinement parti des avancées technologiques actuelles.

Le Campus Virtuel Marocain (2004) : les universités marocaines ont créé des Centres de Ressources Universitaires (CRU) qui ont pour rôle principal :

- La promotion de l'utilisation des TIC dans l'enseignement supérieur afin de rendre la connaissance accessible à tous ;
- L'accessibilité des formations non disponibles localement ;
- La libération des limites spatiales et temporelles ;
- L'élaboration de médiathèques numériques de cours comprenant différents supports multimédias et langues.

Le Concours des Enseignants Innovants (2004) : ce concours a été créé grâce à la collaboration entre le MEN et Microsoft, dans le cadre de l'initiative "Partenaires du Savoir". Il est ouvert aux enseignants et au personnel éducatif en poste, et vise à atteindre plusieurs objectifs. Il s'agit notamment de favoriser la diffusion et la reconnaissance de l'innovation pédagogique, de stimuler la compétitivité et l'énergie entre les différents acteurs de l'éducation, de promouvoir un accès actif à la technologie et de faciliter son utilisation dans le processus d'enseignement et d'apprentissage.

Le Programme GENIE (2005) : le programme GENIE a été adopté par le Maroc pour mettre en place la stratégie nationale qui vise à généraliser l'utilisation des TIC dans l'éducation. Ce programme se focalise sur trois aspects essentiels : l'infrastructure, la formation et l'élaboration de contenus numériques. Il s'agit d'un objectif commun à de nombreux pays dans le monde qui vise :

- La contribution active des enseignants à l'incorporation des TICE dans leur enseignement ;

- L'exploitation pédagogique des TICE afin d'améliorer la qualité de l'enseignement et de l'apprentissage ;
- L'acquisition par les enseignants des compétences nécessaires pour une utilisation efficace des outils multimédias en classe.

En janvier 2009, la nouvelle stratégie du Programme GENIE repose sur les principes suivants :

- L'accompagnement des enseignants et des établissements scolaires par des experts en TICE ;
- La mise à disposition de ressources pédagogiques et technologiques adaptées aux besoins des enseignants et des élèves ;
- Le développement de partenariats avec les acteurs de l'éducation, notamment les éditeurs de logiciels et les fournisseurs d'équipements.

Le programme GENIE Sup (2008) : le programme vise à généraliser l'utilisation des TIC dans les établissements d'enseignement supérieur. Son objectif est de favoriser le développement d'une culture numérique pour tous les acteurs de l'université (personnel administratif, enseignants-chercheurs et étudiants), ainsi que de promouvoir l'intégration des TIC dans l'enseignement supérieur.

Le Projet Nafida (2008) : le MEN a établi un partenariat avec la Fondation Mohammed VI pour la promotion des œuvres sociales de l'éducation-formation pour lancer un projet qui vise à fournir des avantages aux adhérents de la Fondation. Ce projet vise à réduire les coûts de la connexion internet et de l'achat d'ordinateurs. L'objectif principal du projet est de :

- Rendre plus accessible aux familles l'utilisation des TIC dans l'enseignement ;
- Autoriser les enseignants à intégrer ces dispositifs dans le système éducatif national en leur donnant accès à des ressources pédagogiques numériques et à des contenus multimédias.

Le Programme Injaz : dans le cadre du plan Maroc numérique 2013, cette initiative permet aux étudiants d'acquérir des équipements informatiques à des tarifs accessibles.

Le Portail National Taalimtice (2011) : l'objectif de la création d'un site web est de faciliter la communication d'informations entre les différents intervenants du système éducatif en ce qui concerne les TICE, tout en contribuant à leur développement et leur diffusion.

Le Plan Maroc Numérique (2013) : en 2009, sa Majesté le Roi Mohammed VI a lancé ce plan ambitieux avec une vision claire pour le Maroc, ayant pour but de placer le pays parmi les nations émergentes dynamiques dans le domaine des TIC.

Le Programme "Lawhati" (2015) : un programme a été mis en place et dirigé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres afin d'encourager la collaboration et la communication en réseau, de faciliter l'accès des étudiants aux services numériques, de généraliser l'utilisation des TIC dans les universités marocaines, d'intégrer ces technologies dans les méthodes d'enseignement universitaire, de moderniser les pratiques pédagogiques et les dispositifs de formation, ainsi que de promouvoir les échanges entre enseignants et étudiants.

Le Plan numérique (2020) : ce projet s'inscrit dans la continuité du plan numérique de 2013 et poursuit deux objectifs importants : positionner le Maroc parmi les trois pays les plus compétitifs de la région du Moyen-Orient et de l'Afrique en termes d'infrastructures et de climat favorable aux affaires dans le domaine de l'informatique et doubler le nombre de professionnels du numérique formés chaque année dans le pays pour atteindre 30 000 en 2020.

La Vision Stratégique (2015/2030) : L'intégration des TIC au sein du système éducatif faisait partie des projets évoqués dans la réforme éducative de la vision stratégique. L'objectif de cette initiative est d'améliorer la qualité de l'apprentissage et de faire passer la société d'une société consommatrice de savoir à une société productrice et diffuseuse de connaissances, comme mentionné dans le rapport du CSEFRS en 2015.

Une étude menée auprès de 832 enseignants par Mastafi (2013) montre que la mise en œuvre de plusieurs initiatives et programmes d'intégration des TIC dans l'éducation au Maroc a été très lente. En conséquence, l'utilisation des TIC dans les écoles marocaines est encore très limitée, voire inexistante. Mastafi (2014) a identifié cinq types d'obstacles qui entravent l'intégration des TIC dans le système éducatif marocain. Ces obstacles incluent les problèmes liés à l'infrastructure des TIC, à l'encadrement et au perfectionnement professionnel des enseignants, à la politique et à la stratégie de mise en œuvre des TIC en éducation, aux obstacles culturels et linguistiques, ainsi qu'aux problèmes structurels du système éducatif marocain en général. En termes d'évaluation de l'intégration des TIC, il est important de noter que 74% des enseignants qui ne les utilisent pas en classe considèrent que le manque de compétences techniques chez les eux est l'un des principaux obstacles à leur intégration dans l'éducation, tandis que 69% des enseignants qui les utilisent partagent cet avis. Alj et

Benjelloun (2013) ont constaté qu'un faible pourcentage d'enseignants, soit 8 % de ceux interrogés, intègrent régulièrement les TIC dans leur enseignement en classe.

En dépit des années d'efforts et d'investissements, le discours sur l'intégration des TIC en classe au Maroc semble ne pas avoir évolué, selon l'auteur. Il est essentiel de souligner que l'intégration réussie des technologies dans l'enseignement nécessite davantage d'efforts pédagogiques. En effet, les TIC ne peuvent être bénéfiques pour l'apprentissage que lorsqu'elles sont utilisées de manière appropriée et intégrées dans une approche pédagogique cohérente, en fonction des activités d'apprentissage et du choix judicieux de l'outil technologique adapté, comme le soulignent Nejjari et Bakkali (2017).

1.2 La simulation dans l'enseignement des sciences

De nombreuses études ont exploré les bénéfices de l'utilisation de simulations dans l'enseignement des sciences pour améliorer la compréhension des phénomènes physiques. Les simulations sont des modèles simplifiés du monde réel qui offrent de nombreux avantages, tels qu'une motivation accrue chez les apprenants (Le Maréchal et al., 2007) et le développement de diverses compétences chez les élèves (Droui & El Hajjami, 2014). Les apprenants peuvent également progresser à leur propre rythme grâce à l'utilisation de simulations.

Des scientifiques ont mené une étude sur l'utilisation des simulations informatiques pour faciliter l'enseignement et l'apprentissage des sciences, et les résultats ont révélé que les simulations étaient plus efficaces que les méthodes d'enseignement conventionnelles (Klahr et al., 2007). Cependant, d'autres études (Chen & Tsai, 2022 ; Liu & Tsai, 2022) ont suggéré que la méthode la plus efficace pour enseigner des sujets scientifiques peut être une combinaison d'enseignement traditionnel et de simulation informatique. Cette approche permet aux apprenants de s'habituer aux simulations et d'utiliser les ressources du laboratoire de manière efficace.

1.3 L'ExAO dans l'enseignement des sciences

L'ExAO consiste à utiliser un ordinateur avec un logiciel et un équipement spécifique pour effectuer des expériences. En utilisant cette technique pour enseigner la physique, l'ordinateur munie des logiciels nécessaires est capable d'enregistrer et de traiter rapidement les données expérimentales (El Yaakoubi et al., 2006). L'ExAO offre de nombreuses possibilités pour diversifier les types de mesures, améliorer la précision des résultats, reproduire les expériences et appliquer divers traitements aux données acquises, y compris des traitements statistiques. Ces propriétés sont intrinsèques à une démarche scientifique

authentique. En combinant diverses méthodes de collecte de données avec une variété de capteurs et des techniques de mesure variées, il devient possible de formuler des questions plus complexes et d'élaborer des réponses, même si celles-ci sont probablement toujours incomplètes.

1.4 Questions de la recherche

Dans le modèle classique d'enseignement, l'enseignant garde le savoir, explique, parle et démontre pendant la majeure partie du temps, tout en régulant l'apprentissage. Il est en avance de phase par rapport à ses élèves car il est le seul à connaître le déroulement de la séance. Selon ce modèle, les connaissances à enseigner passent toutes par l'enseignant, et sont transformées selon une typologie de transposition didactique personnelle. Avec cette méthodologie, l'élève ne contribue pas à la construction de la connaissance, ce qui influence négativement sur sa compréhension et son apprentissage. Depuis l'année 2000, le système éducatif marocain a adopté une approche basée sur les compétences, le processus d'enseignement-apprentissage met désormais l'élève au centre, un nouveau paradigme s'est immergé pour changer complètement les relations entre les éléments du triangle didactique, pour répondre à cette difficulté.

Nous sommes motivés par deux principales raisons dans le cadre de ce projet de recherche. Tout d'abord, nous sommes préoccupés par les résultats concernant l'intégration des (TIC) dans l'éducation au Maroc (Mamane & Benjelloun, 2018). Ensuite, nous sommes conscients de l'importance capitale d'évaluer les pratiques liées à l'utilisation pédagogique de la simulation informatique et de l'ExAO. Notre objectif est d'explorer comment les TIC, telles que la simulation informatique et l'ExAO, peuvent favoriser l'apprentissage de la physique.

Notre question principale de recherche est la suivante :

Est-ce que l'utilisation pédagogique de l'ExAO et de la simulation dans l'enseignement de la physique a un impact positif sur le rendement des élèves au secondaire ?

Nous avons effectué cinq recherches scientifiques afin de répondre à cette question. Premièrement, nous nous intéressons aux perceptions des enseignants sur l'utilisation de l'ExAO dans l'enseignement de la physique au secondaire qualifiant. Les questions spécifiques de cette recherche sont :

- Quelle est la situation actuelle de l'utilisation pédagogique de l'ExAO dans les lycées ?
- Les matériels expérimentaux sont-ils concordants avec le nombre d'enseignants ou des classes concernées par la physique ?

- De quelle manière peut-on encourager les enseignants de SP à se former et à utiliser efficacement l'ExAO en salle de classe ?
- Y a-t-il une corrélation entre le genre des enseignants en SP et leur utilisation de l'ExAO en classe ?
- Quels sont les défis à surmonter pour intégrer l'ExAO de manière efficace et efficiente dans le processus d'enseignement-apprentissage ?
- Quelles sont les conditions pour une utilisation réussie de l'ExAO au niveau du lycée ?

Ensuite, nous avons évalué l'effet de l'intégration de l'ExAO sur la compréhension et l'apprentissage des oscillations libres dans un circuit RLC chez les élèves, nous avons examiné les éléments suivants :

- Y a-t-il une différence significative entre la note de réussite au post-test du groupe expérimental et celle du groupe de contrôle ?
- Est-ce que l'usage pédagogique de l'ExAO a un effet positif sur le rendement des élèves au secondaire ?
- Est-ce que l'utilisation pédagogique de l'ExAO peut contribuer à résoudre les problèmes rencontrés par les élèves ?

Pour l'utilisation pédagogique de la simulation, nous avons étudié dans un premier temps l'utilisation du simulateur Electronics Workbench (EWB) dans l'enseignement des concepts liés à l'électricité chez lycéens. Le programme actuel de deuxième année du baccalauréat SP du lycée marocain comporte un domaine d'électricité. Un des objectifs fondamentaux de l'enseignement est que l'apprenant doit être en mesure de comprendre les différentes étapes, de la modulation et la démodulation d'amplitude. Parmi la multitude de simulateurs disponibles pour l'éducation, nous avons opté pour le simulateur Electronics Workbench (EWB) car il répond à nos objectifs, et facile à utiliser et sa version est gratuite. Electronics Workbench (EWB) est un logiciel de simulation électronique largement utilisé dans l'éducation et la conception électronique. Il fournit une plateforme virtuelle permettant aux élèves de simuler et tester des circuits électroniques sans matériel physique. EWB est un environnement intégré permettant la conception, le test et le débogage de circuits électroniques virtuels avec une représentation graphique des composants. Parmi ses fonctionnalités clés, on trouve une interface graphique intuitive avec des outils de dessin et une bibliothèque étendue de composants électroniques. Le logiciel permet la simulation en temps réel, facilitant la visualisation instantanée du comportement des circuits. Il offre également des outils d'analyse de circuit,

des instruments virtuels tels que des oscilloscopes. Nous allons tenter au travers de cette recherche à répondre aux questions suivantes :

- Y a-t-il des écarts significatifs entre l'utilisation du simulateur Electronics Workbench (EWB) et l'approche pédagogique traditionnelle ?
- Est-ce que l'intégration pédagogique du simulateur Electronics Workbench (EWB) a un impact positif sur le rendement des apprenants au lycée ?
- Le simulateur Electronics Workbench (EWB) permet-il de surmonter les obstacles rencontrés par les lycéens dans l'apprentissage des principes électriques liés à la modulation et la démodulation d'amplitude ?

Nous avons ensuite comparé l'impact du simulateur crocodile Physics 605 sur la compréhension des élèves avec la méthode expérimentale, ainsi que son effet sur la motivation des élèves, sur les relations inter- élèves, les interactions entre l'élève et le professeur et l'engagement de l'élève dans la méthode traditionnelle. Dans cette étude, nous avons élaboré une séquence pédagogique en utilisant le simulateur Crocodile Physics 605. (https://chtoukaphysique.com/telecharger-logiciel-crocodile-physics-605-gratuitement/) qui offre aux élèves la possibilité de mener des expériences virtuelles, adaptées à leurs propres conceptions, sur les thèmes de l'électricité (Figure 1). L'utilisation du simulateur crocodile Physics 605 est simple. Les élèves peuvent manipuler les activités par eux-mêmes. Le simulateur Crocodile Physics 605 est un logiciel de simulation conçu pour faciliter l'apprentissage des concepts d'électricité en permettant aux utilisateurs de créer, simuler et analyser des expériences virtuelles. Doté d'une interface conviviale, il offre des fonctionnalités interactives pour aider les élèves à assimiler les principes fondamentaux de l'électricité. Parmi ses caractéristiques clés, on trouve une interface graphique intuitive permettant la construction de circuits électriques. En haut de l'écran, il y a des touches de raccourci qui permettent aux utilisateurs d'apporter des modifications sur le mécanisme de l'expérience.

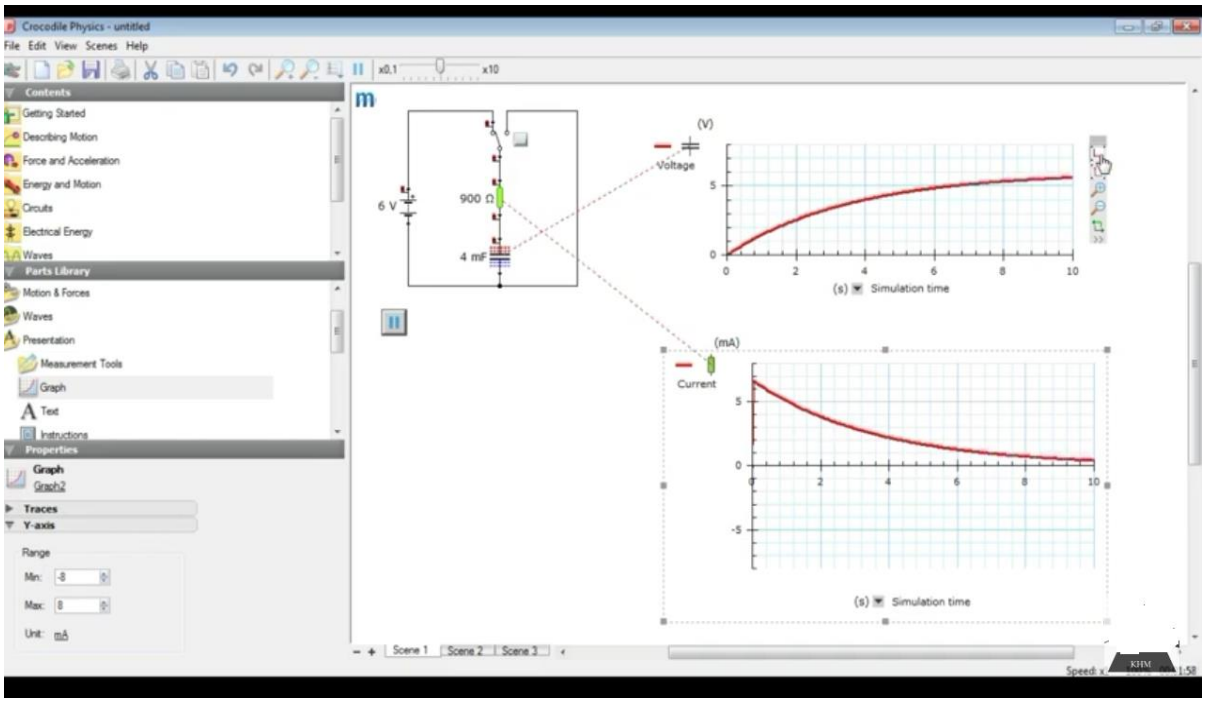


Figure 1. Le simulateur crocodile Physics 605

Nous répondrons à travers cette étude aux questions suivantes :

- Quels sont les points de vue des élèves quant à l'effet de l'utilisation du simulateur Crocodile Physics sur leur apprentissage et leur attitude ?
- Quelles sont les perceptions des élèves sur le rôle du simulateur crocodile Physics dans le développement de la compréhension ?
- Est-ce que l'utilisation pédagogique du simulateur crocodile Physics a un impact positif sur la motivation, l'engagement et l'interaction des élèves ?

Dans notre dernière étude, nous avons examiné l'impact de la simulation interactive eduMedia sur la compréhension des élèves avec la méthode qualitative, ainsi que son effet sur la motivation des élèves, sur les relations inter- élèves, les interactions entre l'élève et le professeur au cours de l'apprentissage avec la méthode qualitative. Dans le cadre de cette étude, une séquence d'apprentissage et d'enseignement a été mise en place en utilisant la simulation interactive eduMedia, qui permet aux élèves d'effectuer des expériences virtuelles, adaptées à leurs propres conceptions, sur les thèmes des ondes lumineuses (Figure 2). La simulation interactive eduMedia se présente comme un outil éducatif interactif visant à faciliter l'apprentissage de concepts spécifiques à travers des simulations virtuelles. Cette ressource pédagogique offre aux apprenants une expérience pratique et visuelle pour renforcer leur compréhension de sujets complexes, couvrant potentiellement divers domaines d'études tels que les sciences, les mathématiques, et d'autres disciplines éducatives. Parmi ses

fonctionnalités, eduMedia propose une interface interactive permettant aux utilisateurs de manipuler des paramètres, d'observer des phénomènes en temps réel et d'explorer différentes situations. L'outil intègre également des représentations visuelles détaillées, telles que des animations, des graphiques et des modèles 3D, favorisant ainsi la compréhension de concepts abstraits. EduMedia est accessible en ligne.

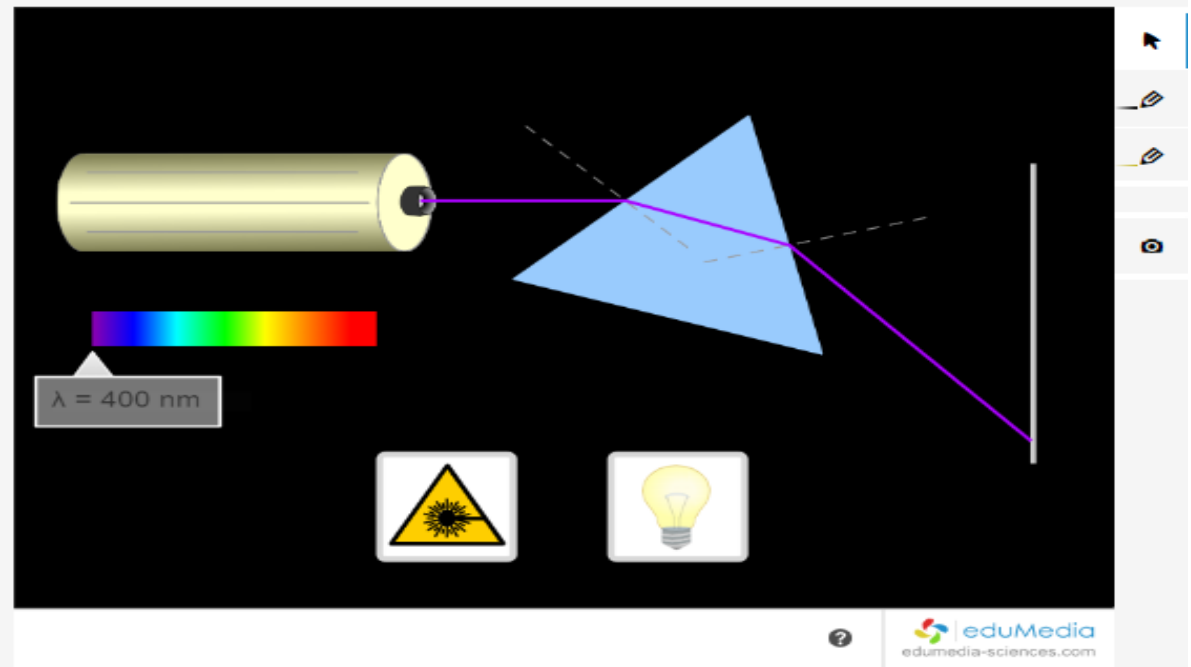


Figure 2. La fenêtre de la simulation interactive eduMedia

Nous avons posé les questions suivantes :

- Est-ce qu'il y a des différences significatives entre l'utilisation de la simulation interactive eduMedia et de l'enseignement traditionnel ?
- Est-ce que l'intégration pédagogique de la simulation interactive eduMedia a-t-elle un impact positif sur le rendement des élèves au lycée ?
- Quelles sont les perceptions des élèves sur le rôle de la simulation interactive eduMedia dans le développement de la compréhension ?
- Est-ce que l'utilisation de la simulation interactive eduMedia aide à surmonter les difficultés rencontrées par les lycéens dans l'apprentissage des concepts physiques liés aux ondes lumineuses ?
- Est-ce que l'utilisation pédagogique de la simulation interactive eduMedia a un effet positif sur la motivation et l'interaction des élèves ?

CHAPITRE 2. CADRE THEORIQUE

2.1 L’évolution des théories de l’apprentissage à l’ère du numérique

Actuellement, les experts en éducation classent les modèles d'enseignement et d'apprentissage en cinq courants majeurs, à savoir le béhaviorisme, le cognitivisme, le constructivisme, le socio-constructivisme et le connectivisme. En examinant l'historique de ces courants, il est possible d'identifier les auteurs les plus influents dans chaque domaine.

2.1.1 Le béhaviorisme

Le courant béhavioriste, également appelé comportementalisme, se concentre sur l'analyse des comportements observables sans recourir aux processus cognitifs impliquant le traitement de l'information (Jonassen, 2023). Le concept de béhaviorisme a vu le jour au début du 20ème siècle, en même temps que les recherches menées par le psychologue américain John Watson. Ce dernier s'est inspiré des travaux du physiologiste russe Ivan Pavlov sur le conditionnement des animaux, ce qui l'a conduit à développer le paradigme stimulus-réponse (ou conditionnement classique).

Skinner a joué un rôle majeur dans l'évolution du courant néo-behavioriste en promouvant l'utilisation du conditionnement opérant comme mécanisme clé de l'apprentissage. Selon cette théorie, l'acquisition de connaissances repose sur l'établissement d'une connexion stable entre les stimuli présentés et la réponse souhaitée, à travers le renforcement (Kozanitis, 2005). Dans le même sens, le behaviorisme considère que l'activité mentale est inaccessible (ou une "boîte noire"), mais que certains comportements peuvent être prédits en proposant des stimuli spécifiques, car des résultats similaires sont inévitablement obtenus en sortie. (Demaizière & Saujat, 2020).

En ce qui concerne l'enseignement, le béhaviorisme affirme que l'apprentissage est une modification persistante du comportement qui découle d'un entraînement spécifique (Kozanitis, 2005). Le behaviorisme repose sur l'idée que l'apprentissage implique l'acquisition progressive de connaissances par étapes successives. Les transitions d'un niveau de connaissances à un autre est favorisée par des renforcements positifs des comportements et des réponses attendues. Par conséquent, il incombe à l'enseignant de créer des exercices progressifs, d'orienter les élèves dans leurs réalisations et de leur fournir les commentaires nécessaires pour la prochaine étape (Kozanitis, 2005). Selon la perspective behavioriste, l'enseignement implique la fourniture de stimulations appropriées, un entraînement systématique, l'utilisation de renforcements pour encourager les réponses positives, la stimulation de la motivation et la pratique répétée pour améliorer la performance.

Alors que le behaviorisme est considéré comme largement dépassé sur le plan conceptuel, il est intéressant de noter que cette approche demeure opérationnelle et efficace d'un point de vue pratique (Frayssinhes, 2011). Le behaviorisme a montré son efficacité dans les apprentissages techniques ou professionnels, notamment dans les formations courtes où l'objectif est de modifier un comportement ou d'acquérir un nouvel automatisme (Barnier, 2009). La conception behavioriste demeure largement dominante dans de nombreuses pratiques d'enseignement ainsi que dans de nombreux systèmes et outils multimédias

Le behaviorisme a joué un rôle clé dans le développement de l'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) ainsi que dans le modèle de l'enseignement programmé (Frayssinhes, 2011). De plus, les avancées les plus récentes du courant behavioriste ont permis une mise à jour et une amélioration des modèles, en incorporant notamment des concepts issus du paradigme cognitiviste afin de les adapter aux TIC (Diaz & Pérez, 2021 ; Legros et al., 2000).

2.1.2 Le cognitivisme

Le champ d'étude du paradigme cognitiviste se concentre sur des sujets tels que la cognition, la mémoire, la perception, le raisonnement, et rassemble divers modèles d'enseignement et d'apprentissage (Kozanitis, 2005). Le mot "cognitif" dérive du latin "cognitio", qui signifie "connaissance". En opposition au behaviorisme, l'approche cognitive revendique l'exploration des processus cognitifs internes et s'intéresse ainsi au contenu et au fonctionnement de la "boîte noire" (Legros et al., 2002). Le paradigme cognitiviste a émergé en rompant avec les conceptions behavioristes et se divise en deux versions de la psychologie cognitive. La première version du modèle d'enseignement et d'apprentissage s'appuie sur le fonctionnement d'un ordinateur pour expliquer le processus d'apprentissage de l'esprit humain en tant que le système de traitement de l'information. En revanche, la seconde version met davantage l'accent sur l'acquisition progressive et efficace de stratégies mentales (appelées stratégies cognitives), qui sont considérées comme indispensables pour un apprentissage structuré (Kozanitis, 2005).

De ce fait, les modèles liés au courant de pensée du cognitivisme se distinguent par leur emphase sur le rôle essentiel de la mémoire, de l'organisation des connaissances en mémoire, ainsi que de l'influence de ces connaissances sur le traitement des informations utilisées dans diverses activités (Legros et al., 2002). Grâce à ces éléments clés, qui reflètent les mécanismes fondamentaux du fonctionnement cognitif de l'apprenant, il a été possible de créer des modèles visant à mieux comprendre la lecture de textes (Matney et al., 2022), de

rédaction (Fayol, 1997), de construction des connaissances (Quesada et al., 2005) ou de résolution de problèmes (Anderson, 2000).

D'après les approches pédagogiques basées sur le paradigme cognitiviste, l'apprentissage est considéré comme un processus de création de connaissances plutôt que comme un processus d'assimilation de connaissances. De plus, les activités d'enseignement sont vues comme des moyens d'aider les apprenants à construire leur propre compréhension plutôt que comme des méthodes de transmission passive de connaissances (Cunningham et al., 1996). O'Donnell et Hmelo-Silver (2023). suggèrent que les enseignants qui adhèrent à ces modèles devraient mettre moins l'accent sur la transmission de connaissances et se concentrer plutôt sur leur organisation, leur structuration, leur cohérence et leur intégration pour les apprenants.

Grâce à ces modèles, des outils ont été développés pour faciliter le traitement de l'information. Selon Legros et al. (2002), de nombreux logiciels dotés de systèmes de guidage et de régulation, ainsi que des tutoriels et des progiciels qualifiés d'intelligents ou programmables pour les connaissances générales ou spécifiques, ont été développés dans ce contexte. Toujours selon ses auteurs, de tels systèmes visent, comme l'enseignement assisté par ordinateur, proposer des méthodes pour offrir un enseignement personnalisé qui favorise une interaction accrue et qui se concentre sur des activités plus avancées. De plus, les recherches sur les modèles mentaux ont conduit à la création du concept de multimédia interactif (Morales-Ortiz & Serrano-Sánchez, 2022).

Néanmoins, les recherches menées par Reusser (1996) ont souligné les limites de ces systèmes, principalement en raison de la difficulté de modéliser de manière adéquate les interactions entre l'apprenant et le matériel verbal. C'est pourquoi les études actuelles en psychologie cognitive sur la mémoire et le traitement des informations verbales sont considérées comme très importantes (Rouet et al., 1996 ; Van Oostendorp et al., 1996).

2.1.3 Le constructivisme

Les constructivistes pensent différemment des comportementalistes, car ils affirment que chaque apprenant crée sa propre compréhension de la réalité en fonction de son interprétation des expériences passées. Selon eux, les individus construisent plusieurs réalités qui leur sont propres, plutôt que de simplement reproduire la réalité extérieure. Ainsi, l'esprit humain ne se contente pas de copier la réalité, mais la construit de manière autonome (Bell & Trundle, 2023). Pour les constructivistes, l’apprentissage ne consiste pas seulement à développer des connaissances ni à les accepter passivement, mais à les développer activement

par soi-même (Fosnot & Perry, 1996). Dans cette théorie, l'acte d'apprentissage place l'apprenant au centre et implique sa participation active dans la construction de ses connaissances en cherchant des solutions aux problèmes qu'il croise (Ertmer & Newby, 2013).

Selon Boutin (2000), cette théorie encourage les apprenants à acquérir de l'autonomie et de l'initiative. Par conséquent, les enseignants devraient donner aux apprenants la possibilité de formuler leurs propres questions, de générer leurs propres hypothèses et de leur accorder la liberté nécessaire pour tester et défendre les modèles qu'ils ont élaborés (Fosnot & Perry, 1996).

2.1.4 Socioconstructivisme

Le socioconstructivisme est une théorie qui met en avant le contexte socioculturel de la cognition et considère que les connaissances sont construites conjointement. Bien que cette approche soit liée au constructivisme, sa particularité réside dans la prise en considération des éléments culturels ainsi que des échanges sociaux lors de la construction des savoirs. (Da Costa, 2014).

Grâce à cette approche, diverses théories ont émergé, partageant la conception de l'apprentissage comme une activité enracinée dans la réalité quotidienne (Lave & Wenger, 2021) et située socialement (Rogoff, 2019). En effet, bien que la construction des connaissances soit une activité personnelle, elle se passe dans un contexte social, les informations sont liées à l'environnement social et proviennent à la fois de notre propre réflexion et des interactions avec les autres.

De nombreuses études ont démontré que l'apprentissage en collaboration est plus efficace (Dillenbourg et al., 1995 ; Teasley et al., 1993), le socioconstructivisme a favorisé l'utilisation de la pédagogie de projet en mettant l'accent sur une approche collaborative. Selon Da Costa (2014), la maîtrise d'une connaissance est plus qu'une simple accumulation de savoirs, elle représente une ressource qui permet de progresser dans un projet collectif. L'approche pédagogique basée sur le projet place l'apprenant au centre du processus en lui confiant un rôle actif et responsable dans la réalisation du projet (Proulx, 2004). Pour renforcer davantage ces propositions, Vygotsky postule l'existence d'une zone sensible appelée la "zone proximale de développement". Cette zone se réfère à l'écart entre les capacités intellectuelles qu'un individu peut atteindre à un moment donné et celles qu'il pourrait atteindre avec l'aide de quelqu'un d'autre (Kozulin et al., 2003 ; Frayssinhes, 2011). Vygotsky a examiné l'apprentissage du point de vue de l'impact structurant des interactions multiples que l'individu expérimente dans son environnement social. Ces interactions guident

effectivement l'apprenant vers une réorganisation de ses conceptions antérieures et vers l'intégration de nouveaux éléments introduits par la situation (Frayssinhes, 2011), le socioconstructivisme implique que l'enseignant joue le rôle de guide plutôt que de dépositaire exclusif du savoir. Pour remplir cette fonction, il est nécessaire pour l'enseignant de se préparer davantage en planifiant et en scénarisant ses cours, de sorte à proposer aux apprenants des situations d'apprentissage où ils doivent relever des défis en collaboration. En effet, les principes de co-construction, d'échange et de co-élaboration sont fondamentaux en socioconstructivisme (Ferhani, 2013).

D'autre part, avec l'évolution des technologies éducatives, l'apprentissage par projet va rapidement être soutenu par les TIC. Da Costa (2014) soutient que ces dernières permettent de concevoir des projets, de produire en collaboration et de communiquer de manière propice à cette approche. Selon Cissé (2008), le monde de l'éducation tend de plus en plus à concrétiser les possibilités réelles de l'apprentissage socioconstructiviste. Les plateformes d'échange et de partage sur internet offrent aux apprenants la possibilité de communiquer entre eux et avec l'enseignant par écrit et de manière interactive. En outre, ces plateformes leur permettent d'accéder à des bases de données très diversifiées provenant de cultures, langues et traditions différentes. De plus, dans un environnement d'apprentissage socio-constructiviste, les TIC sont utilisées également comme un outil de résolution de problèmes pour résoudre une tâche d'apprentissage (Clarebout et al., 2001). Dans cette situation, l'apprenant est incité à résoudre les problèmes de manière autonome.

Kozanitis (2005) a résumé les différents aspects liés aux quatre courants : le behaviorisme, le cognitivisme, constructivisme et le socioconstructivisme (Tableau 1).

Tableau 1. Représentation schématique des courants théoriques les plus importants (Kozanitis,2005)

Socioconstructiviste	**Constructiviste**	**Cognitiviste**	**Béhavioriste**
Enseigner c'est…			
Organiser des situations d'apprentissage propices au dialogue en vue de provoquer et de résoudre des conflits socio-cognitifs.	Offrir des situations obstacles qui permettent l'élaboration de représentations adéquates du monde.	Présenter l'information de façon structurée, hiérarchique, déductive.	Stimuler, créer et renforcer des comportements observables appropriés.
Apprendre c'est…			
Co-construire ses connaissances en confrontant ses représentations à celles d'autrui.	Construire et organiser ses connaissances par son action propre.	Traiter et emmagasiner de nouvelles informations de façon organisée.	Associer, par conditionnement, une récompense à une réponse spécifique.
Méthodes pédagogiques appropriées			
Apprentissage par projets, discussions, exercices, travaux.	Apprentissage par problèmes ouverts, étude de cas.	Exposé magistral, résolution de problèmes fermés.	Programme d'autoformation assistée par ordinateur.

2.1.5 Le connectivisme

La théorie de l'apprentissage appelée connectivisme, qui a été élaborée par George Siemens et Stephen Downes, remet en question les limites des approches behavioristes, cognitivistes et constructivistes pour l'apprentissage à l'ère numérique. D'après ces chercheurs, une transformation des théories d'apprentissage est indispensable pour permettre une

intégration innovante des TIC et des technologies éducatives dans le domaine de l'éducation (Siemens, 2005).

De manière simplifiée, le connectivisme est une théorie de l'apprentissage qui se concentre sur l'apprentissage en réseau social, composé de nœuds et de connexions (Duplàa & Talaat, 2012). Cette théorie considère que les nœuds peuvent prendre différentes formes, telles que des informations, des images, des animations, des simulations ou des données. L'apprentissage est perçu comme un processus de connexion qui implique la formation de connexions neuronales, des interactions entre les individus et les ordinateurs, ainsi que l'interconnexion entre différents domaines de connaissances (Siemens, 2005) (Figure 3).

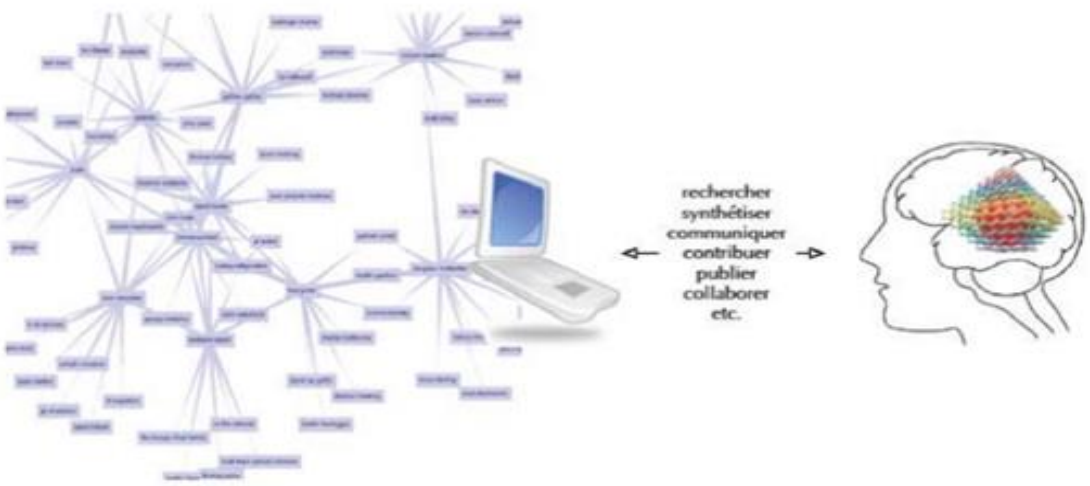


Figure 3. Le connectivisme (SIEMENS, 2005)

Downes et Siemens (2009) ont créé le premier Massive Open Online Course (MOOC) à l'université de Manitoba pour illustrer et formaliser cette théorie. Selon Siemens (2005), les compétences clés du connectivisme comprennent la capacité d'un individu à améliorer ses connaissances, à impliquer l'identification des nœuds les plus pertinents dans le réseau et le maintien de connexions entre les concepts. Cette théorie repose sur huit principes fondamentaux, qui sont :

- La diversité des opinions est un élément clé dans l'apprentissage et l'acquisition de connaissances ;
- L'apprentissage est un processus qui implique la connexion de nœuds spécialisés ou de sources d'informations diverses ;
- Les appareils non-humains, tels que les plateformes d'apprentissage en ligne avec des tuteurs artificiels, peuvent également jouer un rôle dans le processus d'apprentissage ;

- Il est plus important d'avoir la capacité d'améliorer nos connaissances que de se limiter à ce que nous savons actuellement ;
- Pour soutenir un apprentissage continu, il est essentiel d'entretenir les connexions existantes ;
- La théorie stipule que la capacité à identifier les liens entre les domaines et les concepts est une compétence fondamentale ;
- La théorie vise principalement à permettre l'acquisition de connaissances précises et la capacité de les mettre à jour ;
- La décision-making représente un processus d'apprentissage important.

Bien que le concept de connectivisme soit cohérent avec l'évolution techno pédagogique, il a été critiqué par certains pédagogues (Verhagen, 2006 ; Duplàa & Talaat, 2012 ; Kop & Hill, 2008)). Ces critiques s'expliquent en partie par le fait que la théorie ne précise pas clairement le rôle de l'enseignant, qui est souvent limité à fournir un environnement initial propice à l'apprentissage et à préparer le contexte pour que les apprenants puissent se connecter à des réseaux de manière efficace, avec l'hypothèse que l'apprentissage se produira automatiquement (Duke et al., 2013). Le connectivisme ne peut être considéré que comme un courant pédagogique car il ne fournit pas d'explication précise sur la façon dont l'élève apprend (Verhagen, 2006).

2.2 Approche par compétence dans le curricula marocain

2.2.1 Chronologies des approches pédagogiques adoptées par le système éducatif marocain

Depuis l'obtention de son indépendance, le Maroc a apporté de profondes transformations à son système éducatif, en mettant en place plusieurs réformes visant à améliorer son efficacité et sa capacité à suivre le rythme du développement mondial. Ces réformes ont expérimenté trois approches différentes.

L'approche par les contenus : (De 1956 jusqu'au début des années 80)

Dans les années 60 et 70 au Maroc, le courant behavioriste semblait prédominant, aussi bien dans la pratique pédagogique que dans les instructions officielles qui accompagnaient les programmes (Idrissi, 2006). L'approche basée sur les contenus repose sur l'idée d'enseigner un large éventail de connaissances dans divers domaines. Cette méthode d'apprentissage se concentre sur la capacité à retenir ces connaissances plutôt que sur la capacité à les appliquer efficacement dans des situations professionnelles complexes. Par

conséquent, le but principal de l'école est de transmettre des connaissances et de favoriser le développement intellectuel (Sambe, 2006).

Cette méthode d'enseignement ne prend pas en compte les connaissances préalables de l'apprenant, quelle que soit la matière enseignée. Elle suppose que l'apprenant ne possède aucune connaissance de base et adopte une approche centrée sur l'enseignant, où l'apprenant reste passif dans un schéma de communication unidirectionnelle, où l'enseignant est responsable de transmettre le savoir (Albero & Brassac, 2013).

L'approche par les objectifs (des années 80 jusqu'au 1999)

Dans les années quatre-vingt, le Maroc a adopté une nouvelle méthode d'enseignement appelée "approche par objectifs" dans le but d'améliorer la qualité de l'enseignement. Cette méthode pédagogique repose sur le courant behavioriste, où les objectifs sont formulés sous forme de comportements observables qui permettent d'évaluer la réussite de l'apprentissage de l'apprenant (Nguyen & Blais, 2007). Pour faciliter la mémorisation des connaissances et compétences, les contenus complexes sont subdivisés en unités d'enseignement plus simples et logiques dans la pédagogie par objectifs. Cette méthode pédagogique spécifie de manière précise les attentes envers les élèves. Elle repose sur une approche similaire à la conception taylorienne du monde du travail (Carrette & Kahn, 2010).

Il y a eu plusieurs critiques à l'encontre de l'enseignement par objectifs :

- L'approche par objectif met l'accent sur le conditionnement et la formation de réflexes plutôt que sur la construction de connaissances par l'apprenant. Cette approche peut réduire le rôle de l'enseignant à celui d'un exécutant automatisé et transformer l'apprenant en un robot mécanisé, similaire au système de Taylor. D’après Lenoir (2023), l'opérationalisme comportemental éloigne considérablement l'acte pédagogique et le réduit à une série de réflexes conditionnés, qui empêchent tout développement de la pensée créative chez l'apprenant ;
- L'approche par objectifs est souvent centrée sur les objectifs fixés par l'enseignant, ce qui peut reléguer l'apprenant à un rôle secondaire dans le processus d'apprentissage. Cette approche met souvent davantage l'accent sur la transmission de savoirs, ce qui a conduit certains pédagogues à la qualifier de pédagogie traditionnelle ;
- Une critique fréquente à l'encontre de l'approche par objectifs est qu'elle risque de diviser les connaissances à acquérir en petites parties tellement isolées que l'apprenant peut perdre de vue la vision d'ensemble des apprentissages, et se retrouver dans

l'incapacité d'appliquer ses connaissances pour résoudre des problèmes concrets (Deronne. 2012).

Une approche éducative complète devrait inclure des situations-problèmes inspirées de la vie réelle, dans lesquelles l'apprenant est encouragé à utiliser les connaissances acquises pour résoudre des problèmes concrets.

L'approche par les compétences (depuis 2002)

Le Maroc, comme d'autres pays en développement, est confronté à des changements rapides et profonds, et doit faire face aux défis de la mondialisation tout en accélérant son développement politique, économique et social. Dans ce contexte, l'éducation et la formation jouent un rôle central dans la gestion de ces transformations. En 2000, l'adoption de la Charte nationale de l'éducation et de la formation a ouvert la voie à plusieurs initiatives visant à réformer le système éducatif marocain. Parmi ces initiatives, on compte le renouvellement des manuels scolaires sur la base du Livre Blanc de 2002 (un document officiel du gouvernement marocain qui définit les orientations stratégiques de l'éducation et de la formation) et l'adoption de l'approche par compétences en 2010 par l'UNESCO.

L'introduction de l'enseignement basé sur les compétences à la place de l'enseignement axé sur les objectifs dans le système éducatif marocain a connu des périodes de progression et de stagnation qui ont été influencées par les perspectives des responsables du MEN à chaque période. On peut identifier quatre phases distinctes. (Abdesselam et al., 2013) :

- Phase d'adoption (2001-2003) : lors de la révision des programmes d'études, l'approche basée sur les compétences a été incluse dans le livre blanc ;
- Phase de régulation (2003-2008) : le MEN a adopté cette approche en l'intégrant dans les orientations pédagogiques et les manuels scolaires ;
- Phase d'opérationnalisation (2008-2011) : le MEN a adopté la pédagogie de l'intégration comme méthode pour mettre en œuvre l'approche basée sur les compétences (Zerrouqi, 2015) ;
- Phase de plantage (2011-2013) : pendant cette période, le MEN a officiellement mis fin à l'utilisation de la pédagogie de l'intégration (Zerrouqi, 2015).

2.2.2 Pourquoi l'approche par les compétences

L'enseignement est un domaine dynamique qui évolue en permanence, et l'approche axée sur les compétences est devenue une option presque universelle. Cette approche est largement adoptée dans de nombreux systèmes éducatifs internationaux, car elle est devenue

un élément essentiel de la conception des programmes d'études. Le Maroc suit également cette tendance mondiale en adoptant cette approche.

L'approche par compétences adopte une perspective d'enseignement et d'apprentissage constructiviste, visant à établir des connexions entre les connaissances acquises à l'école et leur application dans le monde réel. Cela diffère de l'approche par objectifs, qui ne met pas autant l'accent sur cette relation avec la réalité sociale (Meziane, 2014). L'élève doit être capable d'appliquer les connaissances acquises en classe dans des contextes complexes. L'objectif est de fournir à chaque apprenant les compétences nécessaires pour faire face aux situations rencontrées dans la vie quotidienne, à l'école et dans le monde professionnel. (Abdesselam et al., 2013).

L'adoption de l'approche par les compétences dans le système éducatif marocain est justifiée par de nombreux facteurs internes et externes :

- En raison des changements survenus dans les systèmes économiques, sociaux et culturels, ainsi que dans l'organisation du travail et les profils professionnels, le Maroc a dû adopter une approche novatrice visant à former un nouveau type de personne capable de résoudre les nombreux problèmes entravant le développement du pays ;
- Il est nécessaire de revoir notre système éducatif afin de mettre davantage l'accent sur le processus d'apprentissage. Cela implique de porter une attention particulière à l'apprenant, que ce soit en termes de contenu des programmes scolaires ou de l'approche pédagogique adoptée par l'enseignant. Il convient ainsi de prendre en compte les attentes, l'environnement, l'imaginaire, le rythme d'apprentissage, les besoins et les motivations de chaque apprenant ;
- La révision complète des programmes scolaires de tous les niveaux d'enseignement a donné lieu à des résultats significatifs ;
- Lors de la révision des programmes scolaires pour les niveaux primaire, secondaire collégial et secondaire qualifiant, certaines insuffisances ont été identifiées, notamment sur le plan pédagogique et didactique. On peut citer en particulier l'utilisation de méthodes d'enseignement et d'apprentissage axées sur la mémorisation et la simple transmission de contenu (Bou-serdane, 2015) ;
- L'objectif est de combattre la connaissance fragmentée et l'illettrisme fonctionnel. La nouvelle approche centrée sur les compétences vise à donner du sens aux connaissances transmises et à assurer une cohérence à toute démarche éducative en réduisant l'écart entre la théorie et la pratique ;

- La difficulté pour les apprenants réside dans le fait que les connaissances sont souvent présentées de manière décontextualisée. Heureusement, l'approche basée sur les compétences offre une solution en réintégrant ces connaissances dans des situations concrètes, tirées de la vie quotidienne de l'apprenant. Cela permet de rendre les connaissances plus accessibles et pertinentes pour eux.

2.2.3 Fondements de l'approche par les compétences

L'Approche par les Compétences (APC) est une approche d'enseignement qui privilégie l'acquisition de compétences pratiques, actives et durables. Elle met en avant la capacité de l'apprenant à mettre en pratique les connaissances acquises en classe, dans des contextes complexes et nouveaux, aussi bien dans un cadre scolaire que dans la vie de tous les jours.

L'approche basée sur les compétences implique l'identification des compétences requises pour progresser d'un niveau scolaire à un autre et pour obtenir une certification, tout en préparant l'apprenant à un apprentissage continu tout au long de sa vie. Cette méthode de formation vise à cultiver des compétences qui sont adaptables aux changements de l'environnement, en mettant l'accent sur l'application pratique des connaissances acquises en classe dans la vie quotidienne de l'apprenant. Ainsi, cela contribue à l'intégration sociale et professionnelle de l'apprenant.

En optant pour une approche centrée sur les compétences, l'enseignement et l'apprentissage seraient basés sur des situations concrètes, qui s'appuient sur l'expérience quotidienne des apprenants. Ces situations seraient ouvertes, permettant aux apprenants de résoudre le problème de différentes manières, et intégratives, en mobilisant plusieurs ressources pédagogiques complémentaires. En optant pour une approche centrée sur les compétences, il serait préconisé de favoriser des situations qui favorisent une interaction mutuelle entre les ressources utilisées dans les méthodes d'enseignement et d'apprentissage employées (Becerril et al., 2022).

Selon l'approche centrée sur les compétences en matière d'apprentissage, il est important de créer des situations où l'apprenant peut interagir activement avec son environnement. Bah (2012) suggère que l'utilisation d'une méthode pédagogique qui combine les approches de résolution de problèmes, d'enquête et de discussion sur des phénomènes pertinents pour la vie de l'apprenant peut favoriser l'acquisition de connaissances significatives, le développement de compétences transférables et de compétences en général.

2.2.3.1 Notion de la compétence

Le mot "compétence" a une signification polysémique, ce qui signifie qu'il peut avoir des significations différentes en fonction des disciplines. Faisant référence aux travaux d'un ensemble de chercheurs dans le domaine de la didactique (Perrenoud, 1998 ; Roegiers,2007 ; Le Boterf, 2011), la compétence peut être clarifiée comme suit :

- Une compétence implique l'aptitude à identifier et à utiliser une ou plusieurs capacités spécifiques dans un domaine de connaissance ou disciplinaire particulier. Plus spécifiquement, on peut définir une compétence comme la capacité à associer une catégorie de problèmes spécifiques à un programme de traitement précisément défini ;
- La compétence implique la capacité à utiliser efficacement ses connaissances ;
- Une compétence permet de faire face à des situations complexes en élaborant des solutions adaptées sans avoir à s'appuyer sur des réponses préalablement programmées ;
- Une compétence correspond à un savoir-faire complexe qui nécessite la combinaison efficace de ressources internes et externes pour répondre à diverses situations similaires ;
- Une compétence est un ensemble de connaissances, de compétences pratiques, d'attitudes et de perspectives qui fonctionnent de manière intégrée pour aider à s'adapter, résoudre les problèmes et atteindre les objectifs face à une catégorie de situations données.

En examinant ces propositions, il est possible de mettre en évidence certaines forces clés :

- Pour acquérir une compétence, l'apprenant doit être capable de mobiliser un large éventail de ressources, internes (telles que des connaissances, des capacités et des compétences) et externes (telles que des documents, des outils et des personnes), pour répondre à la complexité de la tâche et à la nature globale et transversale de la compétence ;
- Les compétences sont mises en pratique dans des situations diverses et contextualisées qui nécessitent un processus d'adaptation (plutôt que de simple reproduction de mécanismes) et de transfert d'une situation à une autre ;
- Une compétence est appliquée dans un cadre curriculaire spécifique, comprenant une structure, un horaire, un programme, des pratiques pédagogiques et didactiques ainsi que des matériels. Par conséquent, la situation d'apprentissage dans chacune des disciplines concernées revêt une importance primordiale.

Paquay (2001) a formulé une définition de la compétence qui a été largement adoptée par de nombreux pays pour leur système éducatif. Selon cette définition, la compétence représente un ensemble de ressources cognitives, affectives, motrices et conatives. Il peut s'agir d'un ensemble de savoirs, de savoir-faire, d'attitudes, de schémas d'actions et de routines qui sont mobilisés de manière intégrée et dynamique pour faire face à une variété de situations problématiques. Ces situations peuvent comprendre la réalisation de tâches complexes, significatives et fonctionnelles, la résolution de problèmes authentiques ou la réalisation de projets.

2.2.3.2 Compétence spécifique et compétence transversale

L'une des caractéristiques importantes de la compétence est qu'elle peut être soit disciplinaire, soit transversale (Roegiers, 2004). Les définitions précédentes ne mentionnent pas la distinction entre la compétence spécifique et la compétence transversale. Afin de clarifier cette notion, voici les définitions que nous proposons :

Les compétences transversales sont des compétences qui vont au-delà des limites disciplinaires et qui sont visées pour être développées chez les apprenants**.** (Roegiers, 2003). En effet, les compétences transversales sont des compétences générales qui peuvent être appliquées dans plusieurs domaines, et elles fournissent des points de référence pour les activités d'apprentissage qui sont situées dans des situations réelles et significatives, en lien avec l'expérience vécue des apprenants.

Les compétences spécifiques font référence à des compétences qui sont pertinentes pour un nombre limité de situations spécifiques et qui nécessitent des connaissances particulières dans un domaine professionnel particulier (Brahimi, 2011).

2.2.3.3 Caractéristiques d'une compétence

D'après Tardif (2006), la compétence comporte cinq attributs fondamentaux qui lui sont intrinsèques :

- Le caractère intégrateur : pour chaque compétence, il est nécessaire de mobiliser une variété de ressources provenant de différents domaines et présentant des natures variées.
- Le caractère combinatoire : la mise en œuvre de chaque compétence repose sur une combinaison unique de ressources mobilisées de manière coordonnée.
- Le caractère développemental : la compétence est un processus continu de développement tout au long de la vie. Elle n'est jamais complètement acquise, de sorte que

l'apprentissage pour maîtriser une compétence donnée peut se dérouler sur une période prolongée avec une complexité croissante ;

- Le caractère contextuel : la mise en pratique de chaque compétence est influencée par le contexte dans lequel elle est appliquée. La nature contextuelle de la compétence souligne l'importance des situations auxquelles elle est confrontée, qu'il s'agisse d'un environnement professionnel ou personnel ;
- Le caractère évolutif : chaque compétence est conçue pour être adaptable à l'intégration de nouvelles ressources et à de nouvelles situations, sans altérer sa nature fondamentale.

2.3 Apprentissage par problème

2.3.1 Définition de L'APP

La notion de l'apprentissage par problème (APP) s'avère polysémique ; sa définition n'a pas fait l'unanimité. La définition proposée par Roberts (2010) stipule que l'apprentissage se produit lorsqu'une personne s'engage dans un processus de travail visant à comprendre ou résoudre un problème. Azevedo et Hadwin (2023) ont envisagé l'approche de l'apprentissage par problèmes (APP) comme un moyen de structurer le programme d'études, en exposant les élèves à des problèmes pratiques qui stimulent leur apprentissage. Dans une conception voisine, Selon Schmidt (1993), l'approche de l'APP est une méthode d'enseignement et d'apprentissage dans laquelle les apprenants travaillent en petits groupes sous la supervision d'un tuteur et font face à un problème à résoudre.

Gagnon et Legault (2008) soulignent que la complexité et les multiples variantes de l'APP rendent difficile la formulation d'une définition précise. Ils exposent plusieurs définitions de l'APP provenant de différents auteurs pour mettre en évidence la difficulté de parvenir à un consensus sur cette approche pédagogique. Ils proposent d'adopter trois principes de base pour identifier une approche pédagogique comme relevant de l'APP :

- L'utilisation du problème comme point de départ de l'apprentissage ;
- Considérer l'APP comme une approche éducative à part entière plutôt qu'une simple technique pédagogique occasionnelle ;
- Adopter une approche centrée sur l'apprenant plutôt que sur l'enseignant dans la pratique éducative.

Enfin, plus récemment, selon Savery (2015), l'APP est une méthode d'enseignement et de planification de programme qui met l'accent sur l'élève et le responsabilise pour diriger sa

propre recherche, combiner la théorie et la pratique, et utiliser ses connaissances et compétences pour élaborer une solution efficace à un problème donné.

L'APP est considérée tantôt comme une approche pédagogique (Roberts, 2010), tantôt comme une méthode d'enseignement. Selon Meirieu (1998), "L'approche pédagogique" se réfère à toute méthode qui se concentre sur les aspects pratiques tels que "comment faire", l'encadrement, l'observation, le soutien et l'intervention pour aider un apprenant ou un groupe d'apprenants. En revanche, l'expression "méthode pédagogique" peut prendre trois significations distinctes : premièrement, elle peut désigner un "courant pédagogique" caractérisé par les buts qu'il cherche à atteindre et les pratiques qu'il recommande ; deuxièmement, elle peut faire référence à un type d'activités qui sont identifiées par les outils qu'elles utilisent ; enfin, elle peut se référer à une activité spécifique, un outil ou un "moyen très précis pour faciliter l'apprentissage d'un contenu de savoir déterminé".

Le terme APP résulte de la combinaison de deux idées, l'apprentissage et le problème. Selon la théorie socioconstructiviste de Vygotsky, l'apprentissage est considéré comme une activité sociale où les apprenants participent à la création collective de sens à travers des échanges et des négociations avec leurs pairs et les enseignants. Quant au deuxième concept, "problème", son origine étymologique vient du mot latin « problema », qui signifie une question qui nécessite une solution (Legendre, 2002). Généralement, en enseignement des sciences, Le concept de "problème" est englobé dans celui de "situation-problème", qui fait référence à une situation où une tâche est proposée à l'élève sans qu'il ait tout ce dont il a besoin pour la réaliser (Demaizière & Saujat, 2023). Nous aborderons plus en détail ultérieurement le concept de situation-problème. D'après Legendre (2002), la méthode de l'approche par problèmes implique de présenter aux élèves des problèmes pertinents et captivants, qu'ils soient réels ou fictifs, afin de les encourager à développer leur autonomie et leur engagement dans la résolution de problèmes, qu'ils soient personnels, sociaux ou éducatifs.

Notre approche se base sur la définition proposée par Savery (2006), selon laquelle l'APP est un processus qui cherche à résoudre des problèmes complexes, impliquant la collaboration d'équipes de participants pour rechercher des informations et résoudre un problème réel ou réaliste. L'objectif est de développer les compétences de résolution de problèmes tout en acquérant des connaissances spécifiques.

Somnez et Lee (2003) ont souligné que l'objectif principal de l'APP est le développement des compétences plutôt que l'acquisition de connaissances. Cette méthode

donne aux apprenants la possibilité de prendre en charge leur propre apprentissage tout en développant leur pensée critique et leurs compétences d'évaluation de problèmes du quotidien. Cowdroy et Mauffette (1999) indiquent que l'APP inhibe la curiosité intellectuelle et la recherche critique qui sont des attributs attendus chez les scientifiques. Elle élucide une approche constructiviste qui est particulièrement appropriée à l'apprentissage des sciences.

D'après Cantin et al. (2015), l'APP a pour but de rendre les connaissances acquises opérationnelles, en poursuivant divers objectifs de formation fondamentale :

- Inciter l'apprenant à développer son autonomie dans l'acquisition de connaissances ;
- Encourager la mise en place de stratégies de recherche documentaire performantes ;
- Développer les compétences pour résoudre des problèmes complexes rencontrés dans la vie réelle ;
- Acquérir des compétences pour travailler efficacement en équipe ;
- Favoriser le développement des capacités de communication ;
- Encourager le transfert et l'intégration des connaissances.

2.3.2 Caractéristiques de l'APP

Savery (2006) énumère les principales caractéristiques de l'apprentissage par problèmes :

- L'attention est portée sur l'acquisition de connaissances par les élèves plutôt que sur la transmission de connaissances par le professeur ;
- L'objectif de l'apprentissage est de développer la maîtrise des connaissances ainsi que des compétences telles que l'analyse, la synthèse, la pensée critique et le travail en équipe ;
- Le problème est utilisé comme opportunité pour l'apprentissage d'une nouvelle matière ;
- La méthode utilisée s'inspire de la réalité de la pratique dans un domaine professionnel spécifique ;
- L'objectif de l'apprentissage par problèmes est de favoriser une progression graduelle vers l'autonomie ;
- L'apprenant est impliqué activement dans son processus d'apprentissage.

L'acquisition de connaissances est progressive, ce qui implique une augmentation graduelle de la profondeur de compréhension. Elle est également intégrée, c'est-à-dire qu'elle

est interdisciplinaire et interconnectée. De plus, cette progression se fait de manière cohérente, dans le sens où chaque nouvelle notion s'ajoute et s'intègre aux concepts précédemment acquis, conduisant ainsi à une complexification graduelle. Selon St- Jean et Thi (1994), un curriculum entier basé sur l'APP est caractérisé par l'organisation par problèmes plutôt que par disciplines. On parlerait alors d'interdisciplinarité et de multidisciplinarité. Une importance est également accordée à l'acquisition des connaissances et à l'apprentissage des aptitudes intellectuelles et sociales nécessaires à la pratique professionnelle. Enfin, l'élève est actif dans son apprentissage.

> « *Dans un curriculum APP, ce ne sont ni les disciplines, ni les matières qui servent d'armature aux connaissances à acquérir, mais bien des problèmes réels et complexes, semblables à ceux auxquels l'élève aura à faire face dans sa vie professionnelle* » (St-Jean & Thi, 1994).

Cette dernière idée pourrait très bien être adaptée à un curriculum du secondaire orienté non pas vers la vie professionnelle mais surtout vers le développement intégral de l'élève. Elle nous permet aussi d'envisager des façons intéressantes et cohérentes d'aligner, dans une même année scolaire, plusieurs activités basées sur l'APP, même si cela doit s'inscrire dans les limites d'une seule discipline.

Dans un programme basé sur l'APP, il devient « *important d'apprendre à penser de façon critique et réfléchie, à raisonner, à questionner, à évaluer et à trouver des solutions au lieu d'acquérir des connaissances théoriques. L'élève apprend ainsi à apprendre, à devenir autonome dans son apprentissage* » (St-Jean & Thi, 1994). Il est envisageable de créer des adaptations relatives aux buts de l'apprentissage par résolution de problèmes pour simplifier l'évaluation du processus à chaque phase de recherche d'informations. Les participants sont incités à examiner les sources d'information qu'ils ont utilisées, leur progression de connaissances, l'adéquation de leurs stratégies et la réalisation de leurs objectifs (Guibert & Ouellet, 1997). Dans ce cas nous parlerions d'APP réflexif. Lorsque l'activité est réalisée à petite échelle durant une seule période de cours de 50 à 180 minutes au lieu de plusieurs sessions, cela est appelé APP micro. Dans cette situation, la collecte d'informations se fait localement : à partir des ressources disponibles sur place, par le biais d'expérimentation, de l'apprentissage entre pairs, des expériences passées ou de la réflexion logique (Savery, 2006).

L'Approche Pédagogique (APP) met l'accent sur l'apprenant en tant qu'individu et sur les échanges entre les apprenants eux-mêmes. Ceci se cadre bien dans l'approche socioconstructiviste dans laquelle nous nous situons.

2.3.3 Ingénierie didactique pour construire une situation-problème

Schmidt et al. (2011) ont remarqué que la création d'une situation-problème n'est pas une tâche simple, car cela repose grandement sur la créativité de l'enseignant et nécessite une recherche approfondie. De plus, plusieurs conditions doivent être remplies pour qu'une situation-problème soit efficace. Selon MEIRIEU (1998), avant de concevoir une situation-problème, il est important de se poser quatre questions :

- Quel est mon objectif et quelles compétences ou connaissances importantes je souhaite que l'apprenant acquière à travers cette situation-problème ?
- Comment puis-je formuler une tâche qui nécessite l'entrée à un objectif spécifique (reconstitution, réparation, communication, énigme, réparation, résolution, etc.) pour pouvoir la réaliser avec succès ?
- Comment puis-je organiser l'activité mentale de manière que la réalisation de la tâche permette d'accéder au but ? Quels matériaux, documents et outils devrais-je rassembler ? Quelle consigne ou objectif devrais-je donner aux apprenants pour qu'ils traitent les matériaux de manière à accomplir la tâche ? Quels obstacles devrais-je introduire pour éviter que les sujets contournent l'apprentissage ?
- De quelle manière pourrais-je concevoir des activités qui favorisent la négociation du dispositif en utilisant diverses stratégies ? Comment puis-je diversifier les instruments, les méthodes, le degré d'orientation et les modes de rassemblement ?

Dans la même idée, d'après Dalongeville et Huber (2000), il y a plusieurs étapes importantes à suivre pour la construction d'une situation-problème efficace pour enseigner la physique :

- Etape 1 : cerner l'objectif cognitif ;
- Etape 2 : analyser les conceptions les plus répandues que le public ciblé a à propos du contenu en question ;
- Etape 3 : exprimer la situation problématique en s'opposant aux représentations courantes pour susciter des contradictions mentales qui stimulent la motivation ;
- Etape 4 : identifier les documents pertinents pour enrichir la situation problématique et faciliter la création de représentations plus appropriées ;
- Etape 5 : personnaliser la sélection des documents en fonction du type de gestion pédagogique choisie.

2.3.4 Mise en place d'une séance d'enseignement basé sur la pédagogie par situation-problème

Il est impossible d'appliquer cette méthode d'enseignement ou d'apprentissage à un grand nombre d'élève. Par conséquent, il est recommandé de diviser les élèves d'une classe en petits groupes composés de seulement 3 ou 4 élèves, auxquels sera présentée une situation-problème. Chaque groupe d'élèves doit résoudre la situation-problème de manière autonome, en suivant les quatre étapes de G. Brousseau (1986) selon l'organigramme correspondant (Figure 4).

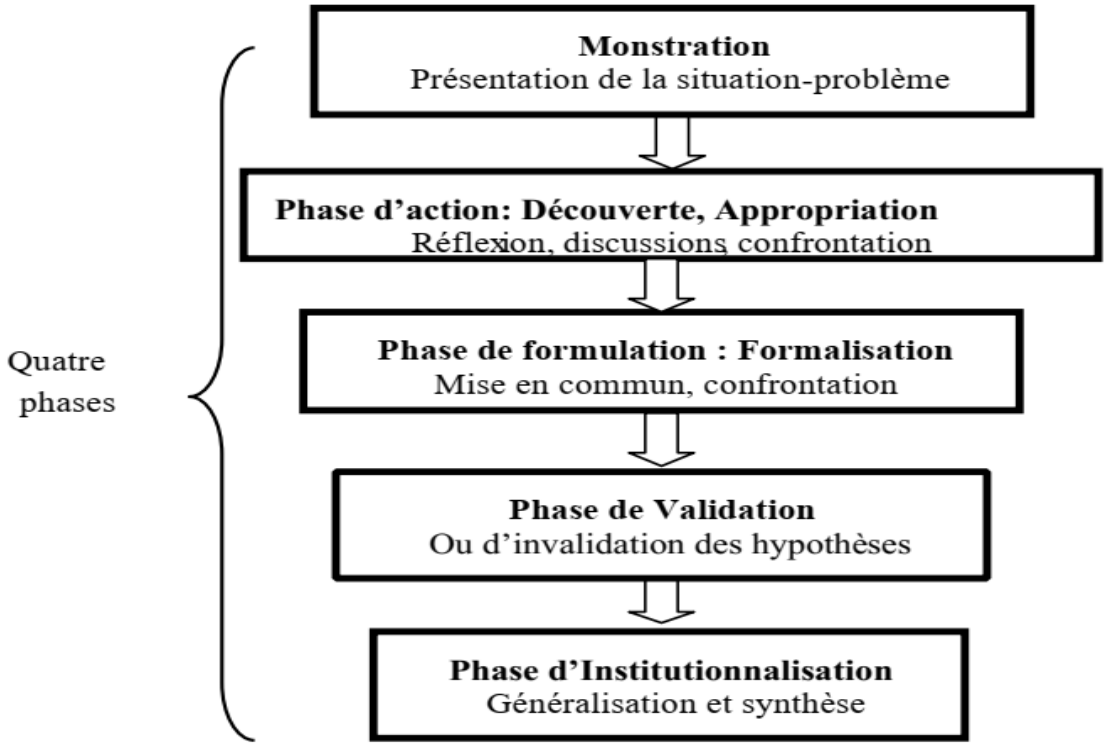


Figure 4. Les grandes étapes de la résolution d'une situation problème (G. Brousseau)

Ainsi, résoudre une situation-problème oblige l'élève à entreprendre un ensemble d'activités d'analyse, de réflexion, de confrontation et de découverte. Dans ce contexte, Robardet et Guillaud (1997) répartissent ces activités en trois tâches :

La tâche de la découverte et de l'appropriation du problème par chaque groupe d'élèves : lorsque les groupes d'élèves sont confrontés à la situation-problème pour la première fois, cela doit susciter leur curiosité et générer des interrogations, les incitant à chercher une réponse à ces questions. Les élèves doivent donc se mettre en quête de la solution à cette énigme qui leur est posée. Ces activités intellectuelles initiales peuvent être résumées en un premier ensemble d'étapes :

- Une analyse cherchant à dévoiler les mystères de la problématique ;

- L'utilisation de toutes les connaissances préalablement acquises par les élèves.

Ceci sera réalisé au moyen de :

- Des questions soulevées par les élèves ;
- La formulation d'hypothèses telles que : L'émission d'hypothèses du type : si c'est ainsi, c'est peut-être parce que ;
- La confirmation des hypothèses à travers des tests expérimentaux au sein de chaque groupe.

Ces activités impliquent de la réflexion, des échanges et des confrontations, et les résultats obtenus sont propres à chaque groupe d'élèves.

À la fin de la période allouée à cette première tâche, les élèves de chaque groupe doivent être en mesure de synthétiser les hypothèses les plus prometteuses. Cette synthèse doit être écrite sur des affichettes, des transparents ou simplement sur des feuilles. Dans cette phase, le rôle de l'enseignant est de :

- Assister chaque groupe d'élèves ;
- S'assurer du respect des consignes ;
- Assurer la gestion du temps ;
- Encourager l'activité ;
- S'abstenir de donner son avis sur la réponse à la question soulevée par la situation-problème ;
- Ne pas fournir d'aide pour la résolution.

Tâche de la formalisation : les hypothèses sont ensuite discutées avec l'ensemble de la classe, et celles qui ne sont pas viables sont écartées. Les hypothèses restantes seront ensuite soumises à une épreuve expérimentale. Les élèves doivent ainsi élaborer un protocole d'expérience qu'ils devront suivre. Il est donc nécessaire de :

- Procéder à une analyse de la situation ;
- Mobiliser des connaissances et compétences spécifiques (différentes de celles sollicitées précédemment) et un savoir-faire (intuition, habileté).

De plus, cela se fera également par :

- Poser des questions sur le protocole ;
- Formuler des hypothèses telles que : si nous réalisons telle action, cela entraînera...
- Une évaluation du protocole.

La réflexion, les discussions et la confrontation sont également utilisées pour mener ces activités, dont les résultats concernent toute la classe.

À la fin de cette deuxième étape, les élèves de la classe travaillent en groupes sur une hypothèse commune et doivent parvenir à un résultat identique. Les hypothèses qui ne mènent à aucune conclusion sont écartées, et l'hypothèse concluante est choisie après une discussion de groupe.

La fonction de l'enseignant consiste à :

- Guider les discussions ;
- Contribuer à identifier les désaccords et les contradictions ;
- Faciliter la mise en avant des résultats concluants.

Tâche d'institutionnalisation de la loi : pendant cette phase finale, la solution à la situation-problème est exposée. La méthode utilisée pour mobiliser les connaissances afin de créer un nouveau savoir qui s'applique spécifiquement à la situation-problème en question est présentée. Par conséquent, il est nécessaire de :

- Étendre la portée des résultats obtenus de manière à les rendre applicables à d'autres situations similaires ;
- Identifier d'autres situations-problèmes dans lesquelles ces résultats sont pertinents et peuvent être appliqués ;
- Illustrer ces résultats par quelques exemples concrets et en détaillant leur mise en application.

Maintenant que la loi a été établie et que le savoir a été construit, les élèves n'ont plus qu'à consigner ces résultats.

2.4 Théories de la motivation et la motivation en contexte scolaire

La motivation de l'apprenant est une préoccupation majeure pour les chercheurs intéressés par la didactique en générale, et par l'apprentissage à travers l'usage des TIC en particulier. Le concept de motivation est une des prémisses de ce mouvement, étant donné la forte corrélation entre cette activité et l'apprentissage (Westera, 2015). Dans le même esprit, le développement des compétences de l'apprenant est fortement influencé par son niveau de motivation (Audet, 2009 ; Forget, 2015 ; Rivard, 2015). En effet, en l'absence d'intérêt, il devient difficile d'assimiler de nouvelles notions, de les connecter à des connaissances antérieures et de persévérer dans l'acquisition de nouveaux concepts. Dans ce contexte, les chercheurs intéressés par la motivation en général et la motivation en milieu scolaire en

particulier ont développé un ensemble de théories et de règles pour expliquer et comprendre le comportement d'un individu face à une tâche.

2.4.1 Qu'est-ce que la motivation ?

Le concept de motivation a été défini par Pintrich et Schunk (2002) comme un processus qui mène l'individu à s'engager dans une action et à persister en fonction d'un but à atteindre. Dans le même ordre d'idée, selon Ryan et Deci (2000), la motivation se caractérise par l'énergie, l'orientation et la persévérance que les individus manifestent dans leurs actions et intentions. Plusieurs modèles théoriques ont été proposés pour expliquer comment un individu décide de s'investir dans une formation (Wlodkowski & Ginsberg, 2017 ; Viau, 2004). En effet, l'intention de participer à la formation est déterminée par un résumé qui évalue, d'une part, la valeur perçue de la formation et les bénéfices qu'elle peut offrir, et d'autre part, les chances de succès dans les tâches de la formation sont considérées comme interdépendants. Si l'un de ces deux facteurs fait défaut, la décision de s'engager dans la formation sera probablement négative (Bosmans & Neuville, 2023). Dans le même sens, Ryan et Deci (2000) soutiennent que la motivation implique d'être stimulé à agir. Une personne qui ne ressent aucune impulsion ou inspiration pour agir est donc considérée comme non motivée, tandis qu'une personne qui est dynamisée ou orientée vers un but est considérée comme motivée. Par conséquent, nous pouvons définir la motivation comme l'ensemble des forces et des facteurs qui régissent la participation d'un individu à une tâche.

2.4.2 Théories de la motivation

2.4.2.1 Théorie de l'autodétermination

La théorie de l'autodétermination, élaborée par Deci et Ryan (1991), vise à expliquer les motivations des individus en se basant sur deux types de motivations autodéterminées ayant un impact significatif sur leur développement personnel. Cette théorie suggère que la motivation de chaque individu est influencée par trois facteurs : le besoin d'autonomie, le besoin de compétence et le besoin d'appartenance sociale. Le degré de satisfaction de ces trois facteurs influe sur l'état émotionnel de l'individu. En outre, Deci et Ryan (1985) ont proposé l'existence de deux sources de motivation dans le cadre de cette théorie :

- Intrinsèque : on peut dire qu'un individu est intrinsèquement motivé pour une activité s'il la fait pour le plaisir qu'elle lui procure. Les apprenants qui ont une motivation intrinsèque sont souvent plus engagés, persévérants et apprennent de manière plus approfondie ;

- Extrinsèque : si l'individu est motivé de manière extrinsèque pour une activité, il la réalisera en réponse à des stimuli externes ou en vue d'obtenir une récompense.

2.4.2.2 Théorie cognitive de la motivation

Selon la théorie cognitive, la motivation peut également être régulière avec le développement de la cognition. Selon cette théorie, la motivation est expliquée par la relation entre la confiance et la satisfaction d'une part (Pintrich & Schunk, 2002), et la nécessité d'une clôture d'autre part (Kruglanski & Webster, 1996). La satisfaction est définie comme la situation de sentiment que vit l'apprenant au terme d'un moment privilégié d'apprentissage, lorsque le fruit de ses efforts est conforme à son attente. Le besoin de clôture est caractérisé par le désir d'une réponse claire et sans équivoque à une question, afin de mettre fin à l'incertitude et de se libérer de l'anxiété liée à l'absence de réponse (El Bilani et al, 2007).

2.4.2.3 Théorie de l'auto-efficacité

La théorie de l'auto-efficacité de Bandura (2021) reposé dans son explication de l'état de motivation d'un individu devant une activité sur les perceptions qu'il possède de sa capacité à effectuer le travail requis de manière professionnelle et avec succès. Dans ce cadre, Selon Bandura (2021), la perception de l'efficacité personnelle d'un individu dépend de quatre facteurs :

- Leur historique de performances passées ;
- Leur satisfaction à acquérir de nouvelles connaissances ;
- Les paroles de soutien exprimées par autrui ;
- Les transformations physiques qui se produisent dans le corps d'une personne.

2.4.3 La motivation en contexte scolaire ; modèle de Viau

En éducation, la motivation regroupe les facteurs qui incitent l'élève à s'impliquer activement dans son apprentissage, à adopter des comportements et des attitudes favorables à l'atteinte de ses objectifs éducatifs et à persévérer face aux obstacles (Viau, 1994 ; Zimmerman & Martinez-Pons, 1992). Auparavant, la motivation était considérée comme la capacité de l'élève à concrétiser ses intentions en agissant. Un élève motivé sera davantage impliqué dans les activités propices à ses apprentissages. La motivation est un concept dynamique qui découle de la perception de soi et de l'environnement d'un élève, et qui le pousse à choisir une activité, à s'investir dedans et à persévérer pour atteindre un objectif (Viau, 1994).

Viau (1994) a développé un modèle de motivation en contexte scolaire qui illustre la notion de dynamique motivationnelle, découlant de sa conception de la motivation scolaire. Ce modèle est présenté dans la Figure 5 ci-dessous.

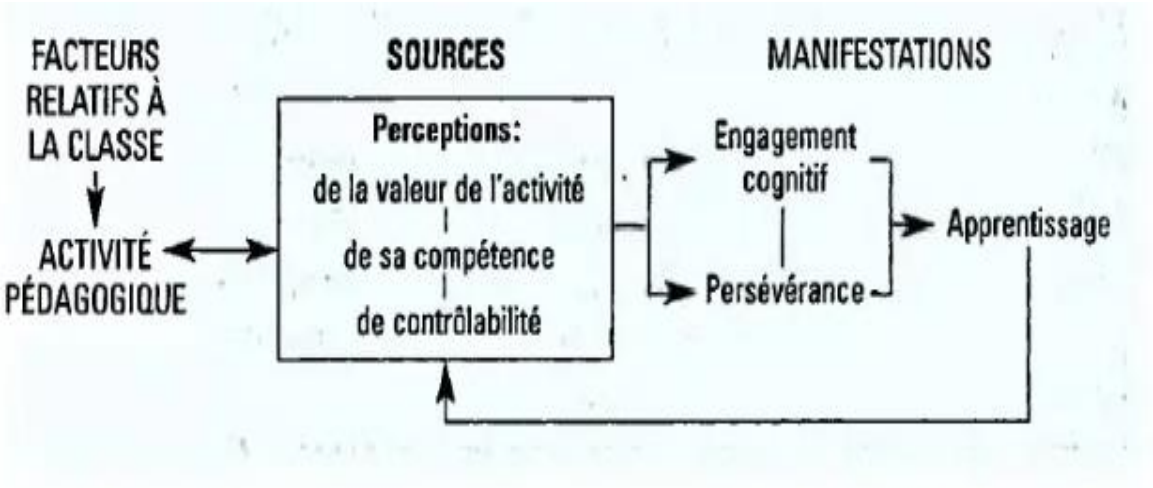


Figure 5. Le modèle de motivation scolaire proposé par Viau, R. (1994) en milieu scolaire

D'après la figure 3, la motivation scolaire de l'apprenant est fortement influencée par ses perceptions de lui-même. Selon Viau (1994), ces perceptions peuvent être divisées en trois facteurs de la motivation scolaire :

- La valorisation d'une activité se réfère à l'appréciation que l'apprenant porte sur son utilité et son intérêt. Cela implique une évaluation personnelle de la pertinence de l'activité proposée ;
- Le deuxième facteur de la motivation scolaire est la perception de sa compétence à accomplir une activité, c'est-à-dire la conviction de l'élève quant à sa capacité à réussir un cours donné ;
- Le troisième facteur qui influence la motivation scolaire est la perception de la maîtrise d'une activité, qui se réfère à la quantité de contrôle que l'apprenant croit avoir sur sa capacité à accomplir une tâche.

En outre, la figure 3 met en évidence les principaux indicateurs de la motivation scolaire tels que définis par Viau : le choix, la persévérance, l'engagement et la performance. Ces indicateurs sont utilisés pour évaluer le niveau de motivation d'un apprenant, et représentent les résultats qui découlent de la motivation scolaire :

Le choix : les élèves qui sont motivés dans une matière ou une activité donnée ont tendance à utiliser différentes stratégies d'apprentissage, tandis que ceux qui manquent de motivation peuvent adopter des comportements d'évitement vis-à-vis de cette activité (Lacroix & Potvin, 2009).

L'engagement cognitive : les élèves motivés montrent un engagement envers leur apprentissage en utilisant deux types de stratégies : les stratégies d'apprentissage et les stratégies d'autorégulation (Martin & Anderson, 2022). Les stratégies d'apprentissage se réfèrent aux méthodes utilisées par un élève pour "acquérir, intégrer et se rappeler" les informations présentées en classe (Viau, 1994). Les stratégies de mémorisation, telles que la répétition des contenus, l'organisation et la structuration des informations en créant des tableaux ou des schémas pour mieux les comprendre, ainsi que les stratégies d'élaboration, telles que la création de liens entre les concepts étudiés, l'explication des concepts en ses propres mots, la réalisation de comparaisons, etc. sont des exemples de stratégies d'apprentissage que les élèves peuvent utiliser.

La persévérance : un élève persévérant est celui qui passe plus de temps à la maison à faire ses devoirs et à comprendre les points mystérieux de la leçon.

La performance : la performance est considérée comme une source de motivation (Cantara, 2008). Mais en ce qui concerne la corrélation entre la motivation et la performance, les chercheurs hésitent à souligner qu'un élève motivé peut bien performer ou vice versa. Il est important de noter que certains élèves peuvent réussir même s'ils ne sont pas motivés et qu'ils fournissent le minimum d'efforts. Par conséquent, la performance ne doit pas être le seul critère utilisé pour mesurer le niveau de motivation des élèves.

2.4.4 La motivation et l'apprentissage à l'aide des TIC

En effet, deux autres éléments ont été ajoutés aux déterminants et aux facteurs qui influencent la motivation de l'apprenant, à savoir les outils pédagogiques utilisés dans le processus d'enseignement et d'apprentissage, ainsi que les méthodes d'enseignement suivies par l'enseignant. Dans cette optique, Mignon & Closset (2004) ont mené une analyse de la motivation scolaire lors de l'apprentissage avec les TIC, et ont énuméré une liste de facteurs qui encouragent la motivation dans ce contexte. Dans notre cas, nous nous concentrerons sur les facteurs liés à l'utilisation de la technologie en classe, qui peuvent être résumés comme suit :

- La compétence des apprenants à utiliser les outils technologiques : dans certaines situations, l'enseignant peut organiser des sessions afin de s'assurer que les apprenants maîtrisent les diverses ressources utilisées dans le cadre du cours. Cette dimension est liée à la perception que les apprenants ont de leur propre compétence ;

- La disponibilité des services d'aide : il est plus qu'indispensable de proposer un service d'assistance rapide et efficace afin de prévenir toute interruption du processus d'apprentissage de l'apprenant ;
- La pertinence du contenu des cours et des activités d'apprentissage : l'engagement actif des apprenants dans les activités d'apprentissage et la pertinence de l'objectif final sont des éléments clés qui influencent leur persévérance. Si le contenu et/ou les objectifs sont attrayants, cela suscite l'intérêt de l'apprenant à persévérer dans son apprentissage à l'aide des TIC ;
- L'utilisation de l'hypermédia doit être modérée : l'enseignant doit restreindre les liens hypertextes pour réduire le risque de s'éloigner des compétences liées au cours. Cette dimension est en partie liée à la perception de contrôlabilité de l'activité.

Dans son étude, Long (2005) ajoute les dix facteurs suivants :

- L'attitude adoptée envers l'outil : l'attitude de l'apprenant sera influencée par ses expériences antérieures avec les TIC ;
- Le facteur lié aux objectifs de l'apprenant en matière d'apprentissage en général est appelé besoin cognitif. Cela implique la volonté de collaborer avec d'autres apprenants, de prendre des décisions et de se sentir compétent pour accomplir les activités d'apprentissage ;
- La stimulation est liée au changement de mode de prestation des cours et implique de rendre l'apprenant actif dans son apprentissage grâce aux TIC. Cela implique l'utilisation de divers moyens pour encourager la participation active de l'apprenant ;
- La dimension émotionnelle fait référence à la vie émotionnelle de l'apprenant et peut avoir un impact sur son apprentissage de manière générale ;
- La compétence de l'apprenant en informatique ainsi que sa perception de cette compétence joueront un rôle important dans sa motivation scolaire ;
- Les renforcements concernent à la fois les récompenses fournies par l'enseignant et l'appréciation personnelle que l'apprenant accorde à son propre travail bien réalisé dans le cadre de l'apprentissage assisté par les TIC ;
- La coopération se rapporte à la promotion de la collaboration plutôt que de la compétition entre les apprenants en classe. Elle encourage les interactions et la responsabilisation des apprenants ;

- L'apprentissage par tâches est une stratégie qui encourage la collaboration et incite l'apprenant à relever des défis, plutôt que de se concentrer uniquement sur l'apprentissage de contenus ;
- L'évaluation subjective de ses propres capacités est un facteur important de motivation scolaire. Lorsque l'apprenant croit en sa capacité à réussir la tâche demandée, cela favorise sa motivation. Cela peut développer un sentiment d'auto-efficacité, qui est lié à la réussite du cours ;
- La motivation à réussir est un facteur clé pour l'apprenant, car si celui-ci souhaite réussir la tâche demandée, il sera alors motivé pour s'engager dans cette tâche et la réussir.

2.5 L'intégration des TIC dans l'enseignement des SP

2.5.1 La notion des TIC

Les TIC regroupent l'ensemble des technologies électroniques liées à l'informatique, ainsi que les réseaux de communication, qu'ils soient fixes ou mobiles, avec ou sans fil. En ce qui concerne leur utilisation dans l'éducation, les TIC font référence aux techniques informatiques et à Internet qui permettent le traitement et la transmission de l'information, le domaine d'application des TIC comprend notamment les outils de technologie éducative tels que les logiciels d'assistance à l'apprentissage ou à l'enseignement, ainsi que les environnements de travail à distance, comme les plateformes d'apprentissage en ligne et les outils de communication multimédia (Boro, 2011).

2.5.2 Avantages à utiliser des TIC dans l'apprentissage

En effet, de nombreuses études montrent que l'usage des moyennes technologiques dans l'apprentissage en classe a plusieurs bénéfices pour l'apprenant. Dans ce cadre, selon Lebrun (2004), les TIC offrent des possibilités novatrices pour la diffusion des connaissances et la mise en place de stratégies d'apprentissage qui favorisent le développement de compétences. Parmi les méthodes d'enseignement innovantes se trouvent l'accès facile à l'information, la communication en temps réel ou différé avec des groupes virtuels ou des communautés d'apprentissage, l'interactivité et l'utilisation de supports multimédias. Ces nouvelles approches pédagogiques permettent des activités novatrices, telles que l'illustration de concepts en 3D et des projets collaboratifs qui n'étaient pas réalisables avant faute de moyens didactiques (Gélinas, 2002). De même, selon Jefferson et Edwards (2000), l'utilisation judicieuse des TIC peut favoriser le développement des compétences transversales chez les élèves. En plus d'acquérir des connaissances disciplinaires, les élèves peuvent

améliorer leurs compétences intellectuelles, sociales et méthodologiques grâce à un apprentissage adapté aux TIC. Les TIC peuvent aider les apprenants à construire des représentations correctes des concepts (Bouchaib & Benjelloun, 2011).

2.5.3 Importance des TIC dans l'éducation

Les TIC peuvent être incorporées dans les méthodes de travail des enseignants. En tant que composante des technologies éducatives, elles renferment un potentiel considérable pour l'apprentissage et l'enseignement (Attenoukon, 2011). En effet, Les TIC peuvent être avantageuses pour les enseignants et les élèves dans le processus d'enseignement et d'apprentissage. Des études telles que (Karsenti et al., 2005 ; Forget, 2004) ont démontré que les TIC offrent des possibilités d'améliorer la qualité de l'enseignement et de l'apprentissage. En utilisant ces technologies de manière stratégique dans un contexte éducatif spécifique, il est possible d'assurer une qualité d'enseignement supérieure (Plante & Beattie, 2004). Selon Benabdellah & Bouzidi (2023), les TIC encouragent le travail autonome des apprenants et facilitent les échanges entre pairs, aident les enseignants à améliorer les contenus enseignés et préparent les élèves pour le marché du travail. Cependant, pour réussir l'intégration des TIC, il est essentiel de disposer d'un accès à Internet, de formateurs qualifiés, d'un soutien technique et d'une planification minutieuse, ce sont les conditions minimales requises. (Attenoukon, 2011).

2.5.4 Types d'usage des TIC en enseignement des sciences

2.5.4.1 Simulations informatiques

Les matières scientifiques telles que l'électricité, la mécanique et la théorie atomique ont souvent recours à des modèles dans leur enseignement. Avec l'avènement des ressources éducatives numériques, la simulation numérique ou informatique peut devenir un outil précieux pour apprendre ces matières scientifiques, en particulier pour modéliser les phénomènes ou les objets étudiés. Par conséquent, nous proposons d'abord une définition du concept de simulation informatique, ainsi que des catégories de simulations utilisées dans le contexte de l'apprentissage des sciences, et discutons des avantages et des limites des simulations dans l'enseignement des sciences. Nous abordons également le rôle de l'enseignant pendant la simulation et concluons en examinant les différences entre les expériences réelles et leurs simulations.

2.5.4.1.1 Définition

Il existe plusieurs définitions de la simulation informatique, ou simulation numérique, dans la littérature. Bien que certaines définitions puissent se chevaucher, elles

présentent souvent des différences significatives (Lehaney et al., 1998). En général, les simulations sont effectuées en utilisant des programmes informatiques qui incorporent un modèle simplifié d'un système, comme mentionné par Droui et El Hajjami (2014). Selon Law et Kelton (2007), la simulation peut être considérée sous plusieurs angles : elle peut servir à expliquer le fonctionnement d'un système, à analyser les résultats critiques, ou encore à évaluer les conceptions proposées. Plus largement, la simulation peut être définie comme une méthode de reproduction du comportement d'un système complexe qui est difficilement contrôlable et soumis à des phénomènes aléatoires. Cette méthode permet de remplacer le comportement du système réel, incluant toutes ses composantes (physiques, informationnelles, décisionnelles), par un modèle virtuel qui simule son comportement. Ce modèle est ensuite traduit en un programme informatique qui facilite la réalisation d'expériences pour comprendre le comportement du système réel, évaluer ses performances et prévoir d'éventuelles dérives (Habchi, 2001).

Les enseignants peuvent utiliser cette technologie pour aider les apprenants à réaliser leurs tâches cognitives plus facilement dans un contexte scolaire (De Jong & Van Joolingen, 1998).

2.5.4.1.2 Types de simulations

Il existe diverses classifications des simulations éducatives qui sont employées dans l'enseignement des sciences. Thomas et Hooper (1991) ont suggéré une classification en quatre catégories pour les simulations :

Les simulations d'expérimentation : la simulation d'expériences scientifiques sur ordinateur offre une approche similaire à celle de la manipulation d'expériences, avec une différence significative : l'absence de contraintes liées au matériel, telles que le gaspillage ou les blessures potentielles. Les enseignants doivent généralement fournir des instructions techniques très précises à leurs élèves pour la manipulation d'expériences. En revanche, dans une simulation d'expérience, les élèves peuvent bénéficier d'une liberté d'action totale, ce qui leur permet de commettre des erreurs et de bénéficier de l'apprentissage qui en découle (Droui & El Hajjami, 2014).

La simulation d'information : ce sont les outils utilisés pour informer les apprenants. Thomas et Hooper (1991) ont constaté que les simulations ne sont pas efficaces pour transférer des connaissances si elles sont utilisées sans l'aide de l'enseignant, mais qu'elles doivent être intégrées dans un environnement qui soutient le travail régulier des élèves en classe ou en laboratoire.

Les simulations de renforcement : les simulations peuvent servir à atteindre des objectifs éducatifs précis, tels que l'adaptation du niveau de connaissances de l'apprenant et le suivi de ses progrès. Une forme courante de simulation utilisée à cette fin est la simulation de renforcement, qui implique la présentation d'une série d'exercices stockés ou générés pour que l'apprenant les complète et améliore ses performances et sa pratique.

Les simulations d'intégration : ce sont des outils spécialement conçus pour que l'apprenant puisse appliquer ses connaissances acquises (Thomas & Hooper, 1991). La simulation d'intégration est utilisée après que les élèves ont appris des informations réelles et les principes requis, afin de relier et d'appliquer ces connaissances.

Deux catégories de simulations sont distinguées par Gredler (1996) :

Simulations symboliques : les simulations symboliques impliquent que l'apprenant ne soit pas un acteur actif de l'environnement de simulation informatique. Même s'il peut exécuter diverses tâches dans la simulation, telles que prévoir les tendances de la population dans une simulation démographique, l'apprenant reste à l'écart de l'évolution des événements.

Les simulations empiriques : les simulations empiriques permettent aux élèves d'interagir activement avec un environnement complexe et adaptable, leur offrant ainsi la possibilité de mettre en pratique des stratégies de résolution de problèmes. Contrairement aux simulations symboliques, les élèves jouent un rôle actif dans la simulation empirique, exécutant les responsabilités associées à leur position dans le scénario de tâches complexes. Selon Gredler (1996), les éléments clés d'une simulation empirique comprennent un scénario de tâches complexes qui implique des actions des élèves en tant que réponse partielle au problème, un rôle sérieux attribué aux élèves dans lequel ils exécutent les responsabilités de la position, des itinéraires multiples et plausibles à travers l'expérience, et la capacité à contrôler la prise de décision.

De Jong et Van Jooling (1998) proposent une classification des simulations en deux grandes catégories distinctes :

Des simulations contenant des modèles conceptuels : les modèles conceptuels sont constitués de principes, de concepts et de faits liés aux systèmes simulés. Ils sont principalement utilisés pour favoriser l'apprentissage par découverte.

Des simulations basées sur des modèles opérationnels : les modèles opérationnels sont constitués de suites d'opérations cognitives et non cognitives qui peuvent être mises en œuvre sur des systèmes simulés. Ils sont couramment utilisés pour l'apprentissage pratique

ou expérimental. En revanche, les modèles conceptuels renferment des principes, des concepts et des faits en rapport avec les systèmes simulés, et sont principalement utilisés dans le cadre de l'apprentissage par découverte.

2.5.4.1.3 Intérêts et limites des simulations en enseignement des sciences

La didactique des sciences a examiné plusieurs études sur l'utilisation de simulations numériques en enseignement des sciences afin de faciliter les apprentissages. Dans cette perspective, nous énumérons les principaux avantages et apports de l'intégration de ces outils dans un contexte éducatif.

Simplifier les systèmes réels étudiés : Wilensky et Stroup (2000) ont indiqué que les simulations sont extrêmement bénéfiques pour accomplir des procédures simplifiées et des tâches cognitives, et pour rapprocher l'écart entre la complexité dynamique de la réalité des phénomènes étudiés et leur enseignement statique et simplifié en classe.

Développer des compétences procédurales : les simulations ont la capacité de stimuler chez les élèves des compétences procédurales fondamentales en sciences telles que l'observation, la mesure, la communication, la classification et la prédiction (Li, & Tsai, 2022), de plus, les simulations permettent aux élèves de développer des compétences procédurales liées à la démarche scientifique, telles que la maîtrise des variables, la formulation d'hypothèses, l'interprétation des données, la pratique de l'expérimentation et la formulation de modèles (De Jong et al., 1998). En effet, d'après Lazarowitz et Huppert (1993), l'utilisation de simulations informatiques en biologie peut aider les élèves à acquérir et à améliorer leurs compétences en communication graphique, en interprétation des données et en maîtrise des variables lorsqu'ils travaillent sur des expériences simulées.

Simulation comme état intermédiaire en théorie et pratique : selon Richoux et al. (2002), on peut voir la simulation comme une liaison intermédiaire entre les modèles théoriques et les manifestations physiques des phénomènes étudiés. L'utilisation de logiciels de simulation en optique géométrique par les élèves pour comprendre la formation d'images par des lentilles démontre que les simulations peuvent servir de « pont cognitif » entre la théorie et l'expérience (Buty, 2003).

Se présenter comme outil complémentaire aux expériences réelles : la simulation peut servir d'outil supplémentaire au laboratoire, offrant des avantages tels que la réduction de la durée des séances en laboratoire en combinant l'expérimentation en laboratoire avec des simulations (Kennepohl, 2001; Boyle & O'Donoghue, 2007; Gibbons et al., 2004), de

faciliter la familiarisation avec le laboratoire et améliorer la compréhension des techniques et des concepts fondamentaux utilisés en laboratoire sont des objectifs pour lesquels la simulation peut apporter un soutien (Dalgarno at al., 2009).

Présenter une alternative aux expérimentations inaccessibles : l'usage des simulations représente la solution la plus prometteuse pour les expériences que nous ne pouvons pas réaliser en classe (Lim & Chai, 2018). En ce sens, McLeod et Adams (2018) notent que les simulations remplacent les expériences coûteuses ou dangereuses.

Effectuer des expériences virtuelles et explorer des phénomènes : la simulation peut jouer un rôle essentiel en permettant la réalisation d'expériences virtuelles. Les simulations orientées vers des problèmes donnent aux élèves la possibilité de mener leurs propres expériences, en émettant des hypothèses, en les confrontant aux observations et en donnant du sens à leur apprentissage (Droui et al., 2014).

Se présenter comme outil d'investigation scientifique : la simulation permet de créer des contextes d'exploration scientifique et de fournir les ressources cognitives essentielles pour mettre en pratique les compétences de résolution de problèmes. Elle favorise activement le développement de la métacognition chez les élèves, en leur permettant de prendre conscience de leur propre apprentissage et de réfléchir à leur processus de réflexion (Droui et al., 2014), d'améliorer la motivation et l'intérêt en classe (Martinez, et al., 2003).

Visualiser les phénomènes et multiplier les formes de représentation : comme les représentations non verbales ont un effet stimulant sur l'activité cérébrale (Clements & McMillen, 1996), la simulation offre la possibilité d'élargir les modalités de représentation en incluant des images, des animations, des graphiques et des données numériques (Cholmsky, 2003). En permettant aux apprenants de choisir les types de représentation qu'ils préfèrent, la simulation favorise l'individualisation de l'apprentissage, augmente le niveau de motivation et permet de suivre les progrès des apprenants tout au long de leur parcours (Droui et al., 2014).

Cependant, l'utilisation de la simulation informatique dans l'éducation peut comporter certains risques :

- Étant donné que les modèles informatiques ne peuvent pas saisir toute la complexité de la réalité, la simulation peut aboutir à une vision simpliste du monde réel (Hebenstreit, 1992) ;

- Il existe un risque que les apprenants confondent un phénomène réel avec sa représentation en simulation. Pour éviter cela, Richoux et al. (2002) recommandent de distinguer clairement la réalité et les théories ;
- La simulation n'aide pas à développer des compétences et des savoir-faire qui peuvent être appliqués dans des situations d'expérimentation réelle, comme ajuster la position de divers boutons, lire des appareils de mesure, mesurer des temps écoulés, etc. (Hebenstreit, 1992) ;
- La simulation néglige forcément certains facteurs par la suite, les apprenants oublient l'existence de ces facteurs annexes (Mark, 1982) ;
- La simulation néglige forcément certains facteurs par la suite, les apprenants oublient l'existence de ces facteurs annexes (Mark, 1982) ;
- La simulation peut donner une estimation fausse des difficultés rencontrées lors d'une expérimentation réelle (Hebenstreit, 1992).

2.5.4.1.4 Le rôle de l'enseignant durant la simulation

Ardac et Sezen (2002) ont démontré de manière concluante que l'enseignant joue un rôle crucial dans la fourniture de conseils et de soutien pour faciliter l'intégration de la simulation. Pour permettre aux apprenants d'utiliser la simulation sans se surcharger cognitivement, l'enseignant doit s'assurer qu'ils se concentrent sur les concepts à apprendre, plutôt que sur les aspects technologiques (Jourdan & Tardif, 2023) ou d'autres variables non liées à la tâche (De Jong & Van Joolingen, 1998). Par ailleurs, la simulation offre aux apprenants l'occasion de justifier et de valider leurs actions, mais cela nécessite du temps pour discuter et encourager, ce qui dépend de l'enseignant (Smetana & Bell, 2012).

2.5.4.1.5 Les expériences et leurs simulations : mettre en évidence les différences

Un certain nombre de chercheurs étudient les similarités et les différences entre les expériences réelles et leurs simulations. Selon Gilbert et Troitzsch (1999), la principale différence réside dans le fait que la simulation remet en question le modèle plutôt que le phénomène réel. De même, Morgan et al. (2003) soulignent l'absence d'éléments matériels importants pour la validation externe des expériences dans les simulations. Il est important de distinguer l'expérience de la simulation en se basant sur la validité interne et la validité externe. Pour proposer une hypothèse concernant un système physique, il est essentiel de vérifier d'abord la validité interne de la simulation, puis de confronter les résultats internes de la simulation avec les résultats externes des expériences afin de déterminer la validité

externe des résultats expérimentaux. Cette étape est importante pour confirmer ou réfuter l'hypothèse initiale. En fin de compte, selon Winsberg (2003), bien que différentes, les expériences virtuelles peuvent permettre de tirer des conclusions sur le monde physique.

2.5.4.2 Expérimentation assistée par ordinateur (ExAO)

Au début des années 1980, une technologie appelée ExAO a émergé afin de raccourcir le temps entre la prise de mesures et l'analyse des graphiques (Fourment et al., 2021 ; Fourcade & Pignon, 2022). Touma (2007) affirme que dans le cadre de l'ExAO, les élèves développent leur compréhension des concepts et des méthodes en mathématiques appliquées de manière simultanée à travers des représentations visuelles et graphiques, tout en effectuant des ajustements entre les fonctions symboliques et les données empiriques.

Grâce à l'ExAO, il est possible d'obtenir des données numériques à partir de différents capteurs tels que le thermomètre, le détecteur de mouvement, le dynamomètre, le voltmètre, l'ampèremètre, et autres. Ces capteurs produisent des impulsions électriques qui sont ensuite converties en données numériques via une interface connectée à un ordinateur. Ce système permet de collecter des données provenant d'un laboratoire conventionnel et de tracer en temps réel des représentations graphiques d'une variable en fonction d'une autre variable indépendante, généralement le temps.

Tous les systèmes d'ExAO se composent des mêmes éléments de base (Nonnon, 1991 ; Girouard & Nonnon, 1999) (Figure 6) :

- Le rôle d'un capteur est de détecter les variations d'une grandeur physique liée à un phénomène donné, et de produire un signal électrique analogique dont la valeur est proportionnelle à celle du paramètre mesuré ;
- Il est également essentiel d'avoir une interface d'acquisition munie d'un convertisseur analogique/numérique qui convertit les signaux analogiques du capteur en signaux numériques et les transmet à l'ordinateur ;
- Un logiciel spécifique commande l'interface et permet de traiter les mesures effectuées, généralement sous forme graphique.

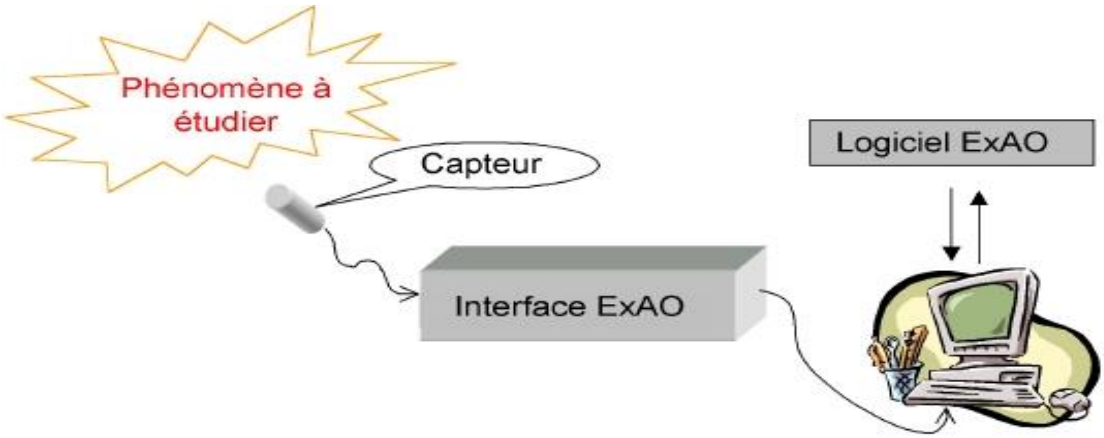


Figure 6. Le système ExAO est composé d'un capteur qui détecte le phénomène à étudier et envoie les données à un logiciel via une interface. (http://perso.orange.fr/tangentiel/images/EXAO.gif)

L'ExAO ne diffère pas de l'expérience académique, à l'exception que le processus est plus rapide grâce à l'acquisition automatique des données par des capteurs électroniques. Ces données sont ensuite traitées et affichées en temps réel sous forme de graphiques ou de tableaux. Dans le système ExAO, l'ordinateur génère des graphiques et des tableaux en temps réel pendant que l'expérience est en cours, ce qui permet à l'élève de se concentrer sur l'étude du phénomène scientifique (Khaldoun, 2015). L'apprenant est ainsi placé dans un véritable environnement de laboratoire lui permettant de concevoir, planifier et réaliser des expériences en physique, électronique, chimie, biologie, géologie et technologie (Mary, 2013).

De même, l'ExAO permet également le contrôle et l'élève est en mesure de visualiser les données de son expérience sous forme graphique et de les utiliser pour effectuer une modélisation mathématique (Lauzier et al., 2007).

L'équipement dans les lycées en ExAO a commencé en 2009, cela correspond à l'acquisition des Académie Régionale de l'Education et de la Formation (AREF), l'effort engagé s'est poursuivi entre 2010 et 2012, le matériel pédagogique d'ExAO reste une priorité au Maroc (El & Laaziz, 2012).

CHAPITRE 3. METHODOLOGIE

3.1 Type de recherche

Notre recherche adopte une approche mixte, combinant des méthodes qualitative et quantitative pour mieux comprendre la relation entre l'intégration de l'ExAO et des simulations informatiques dans l'enseignement et l'amélioration des résultats des élèves. La méthodologie est choisie en fonction de la nature et des objectifs spécifiques de la recherche, avec la démarche qualitative visant à explorer en profondeur les discours des participants (Fortin & Gagnon, 2010) et la démarche quantitative visant à quantifier les données pour permettre une généralisation des résultats. Cette combinaison d'approches permet d'obtenir une vision plus complète et équilibrée des phénomènes étudiés, en enrichissant les résultats de la recherche (Bosisio & Santiago-Delefosse, 2014). La collecte de données est faite à travers des entretiens directifs et non directifs avec les élèves et les professeurs de sciences physiques, en utilisant des pré-tests et des post-tests pour les élèves selon la démarche illustrée dans la figure 7, ainsi que par le biais de questionnaires administrés aux professeurs de sciences physiques du cycle secondaire qualifiant. Le questionnaire et les tests ont été réalisés en langue arabe.

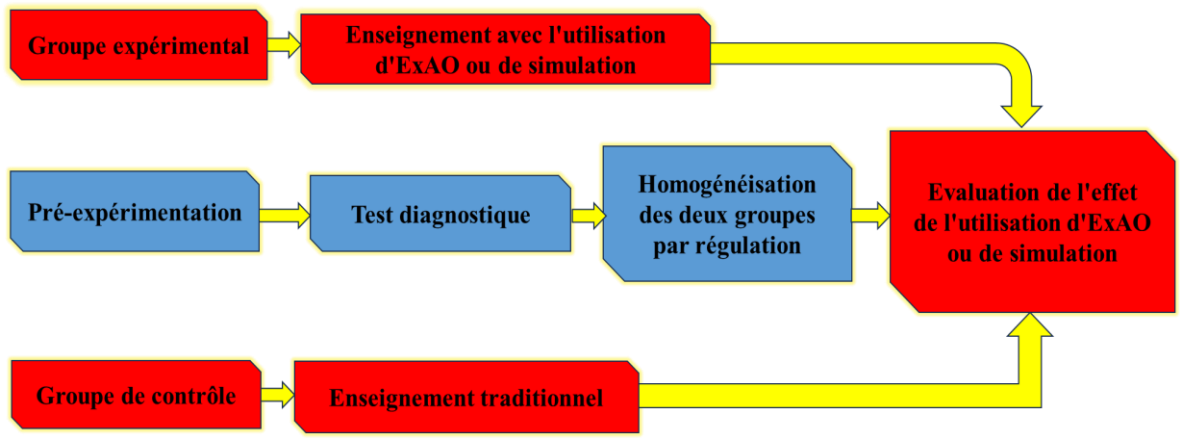


Figure 7. Description schématique de la démarche expérimentale adoptée

3.2 Echantillon

Pour une appréhension plus approfondie des éléments constitutifs des populations ciblée dans cette étude, il est important de noter qu'elles comprennent :

- 122 professeurs de sciences physiques dans l'enseignement secondaire de l'AREF de Fès-Meknès et des directions provinciales de Casablanca et Guercif, année scolaire 2021-2022.

- Deux groupes d'élèves en deuxième année du baccalauréat scientifique option SVT, âgés en moyenne de 17 ans, au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès pendant l'année scolaire 2021-2022. Le groupe expérimental et le groupe de contrôle sont chacun composés de 20 élèves.
- Deux groupes d'élèves en deuxième année du baccalauréat scientifique option SP, âgés en moyenne de 17 ans, au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès pendant l'année scolaire 2020-2021. Le groupe expérimental et le groupe de contrôle sont chacun composés de 25 élèves.
- Deux groupes d'élèves en deuxième année du baccalauréat scientifique option SP, au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès pendant l'année scolaire 2020-2021. Le groupe d'expérience réelle contient 25 élèves, et le groupe de simulation contient 25 élèves.
- Deux groupes d'élèves en deuxième année du baccalauréat scientifique option SP, au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès pendant l'année scolaire 2020-2021. Le groupe d'expérience réelle contient 24 élèves, et le groupe de simulation contient 24 élèves.

En ce qui concerne les entretiens, ils ont été réalisés avec les élèves du groupe expérimental, du groupe de simulation et des professeurs de sciences physiques du lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès.

3.3 Outils d'analyse des données

Les outils d'analyse des données utilisés dans cette étude comprennent les logiciels Sphinx v5 et SPSS 21. Sphinx v5 est un logiciel spécialisé dans la collecte et l'analyse de données, offrant des fonctionnalités avancées pour la gestion de questionnaires et l'exploitation des réponses. SPSS 21, quant à lui, est un logiciel statistique puissant qui permet d'effectuer une gamme variée d'analyses, des statistiques descriptives aux tests plus avancés, permettant ainsi une évaluation approfondie des données recueillies. L'utilisation combinée de ces deux outils offre une approche complète et robuste pour l'analyse des données de l'étude.

3.4 Analyse des données

L'analyse des données a été abordée en deux étapes principales. Dans un premier temps, une analyse descriptive des diverses questions du questionnaire a été entreprise afin d'obtenir une vision d'ensemble des réponses recueillies. Ensuite, pour évaluer les différences entre les groupes, le test t de Student a été employé avec un niveau d'alpha de 0,05. Ce test est adapté pour les données paramétriques et permet de déterminer si les moyennes de deux groupes sont significativement différentes. En parallèle, le test U non paramétrique de Mann-

Whitney a été appliqué avec le même niveau d'alpha. Ce test est utilisé lorsque les données ne suivent pas une distribution normale, permettant ainsi de comparer les distributions de deux groupes indépendants.

CHAPITRE 4. EXPERIMENTATION DE L'UTILISATION DE L'EXAO DANS L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE DE LA PHYSIQUE AU SECONDAIRE QUALIFIANT

4.1 Perceptions des enseignants sur l'utilisation de l'ExAO dans l'enseignement de la physique au secondaire qualifiant

4.1.1 Participants

Nous avons opté pour une enquête par questionnaire afin de répondre à l'objectif de cette recherche. Cette approche a été choisie car elle permet d'interroger un grand nombre d'enseignants de sciences physiques dans l'enseignement secondaire. L'échantillon est composé de 122 professeurs appartenant à l'AREF de Fès -Meknès et les deux directions provinciales de Casablanca et Guercif au Maroc, pendant l'année scolaire 2021-2022.

4.1.2 Instrument

Nous avons fait une recherche exploratoire, à l'aide d'un questionnaire anonyme, pour analyser notre problématique**,** il se compose d'un total de 30 questions (questions fermées et semi-fermés) divisées en dix parties suivantes (annexe 1) :

1. Informations générales ;
2. Direction provinciale de l'éducation ;
3. Les équipements en matériel ;
4. Utilisation de l'ExAO ;
5. Représentation des professeurs sur l'utilité de l'ExAO ;
6. Les inconvénients d'usage de l'ExAO ;
7. La formation en ExAO ;
8. La maitrise de l'ExAO ;
9. Les obstacles de l'utilisation de l'ExAO en classe ;
10. Les conditions d'usage de l'ExAO.

Le questionnaire a été publié en ligne sur Google Forms en collaboration avec l'AREF (Figure 8), la population de l'étude a été invitée à remplir le questionnaire par le biais de courriels et de réseaux sociaux, principalement Facebook, en utilisant les groupes des enseignants de SP.

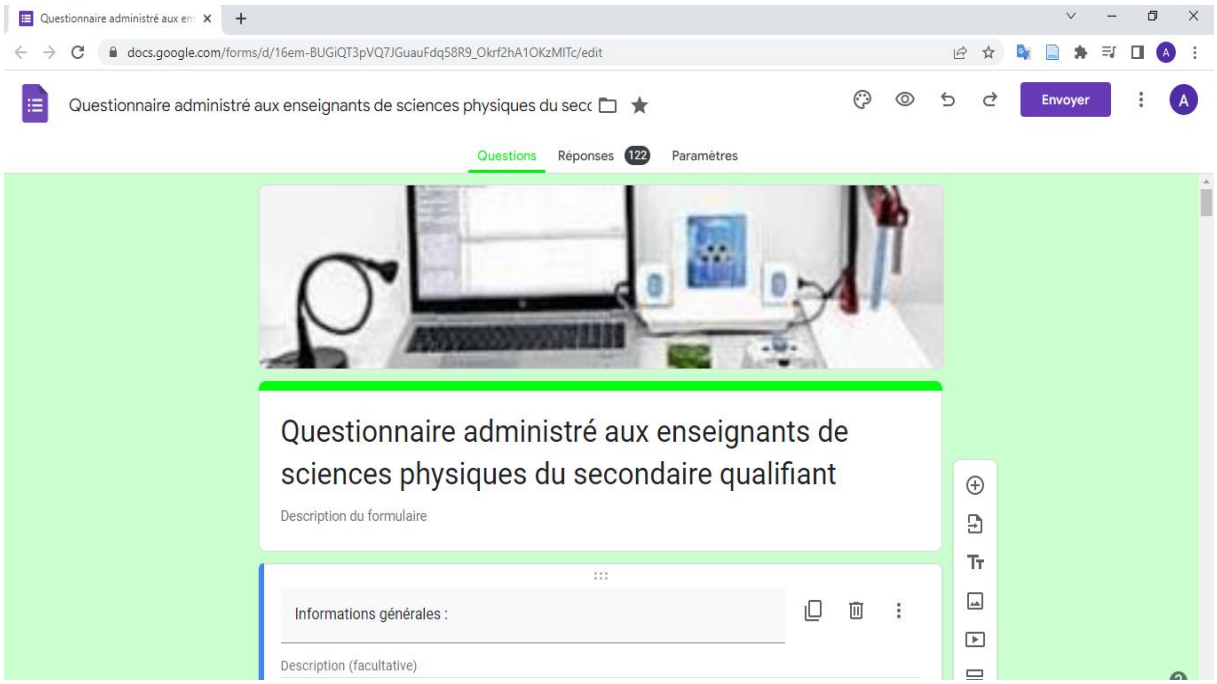


Figure 8. Capture d'écran d'une partie du questionnaire mis en ligne via Google Forms

Le coefficient de cohérence interne alpha de Cronbach a été utilisé pour estimer la fiabilité du questionnaire. Il s'est avéré que le score de fiabilité était de 0.71 (Tableau 2), ce qui indique un coefficient de fiabilité acceptable.

Tableau 2. Statistiques de fiabilité

Alpha de Cronbach	Alpha de Cronbach basé sur des éléments standardisés	Nombre d'éléments
,714	,715	20

4.1.3 Analyse des données

Après la collecte des réponses auprès des enseignants de SP. Le traitement des données a été effectué à l'aide du logiciel **SPHINX v5**, principalement pour l'analyse descriptive des différentes questions du questionnaire.

4.1.4 Résultats et discussion

4.1.4.1 Informations générales

Nos répondants sont composés de 122 enseignants de la discipline SP (83,6% hommes et 16,4% femmes). D'autre part, la plupart des répondants ont un âge moyen compris entre 29 et 40 ans, 29, 5% des répondants ont une moyenne d'âge inférieure à 28 ans et environ 24 ,6% ont un âge supérieur à 41 ans. La majorité des enseignants ayant répondu au questionnaire, sont titulaires d'une Licence (77,9%) de spécialité en physique (77%) (Figures 9 et 10).

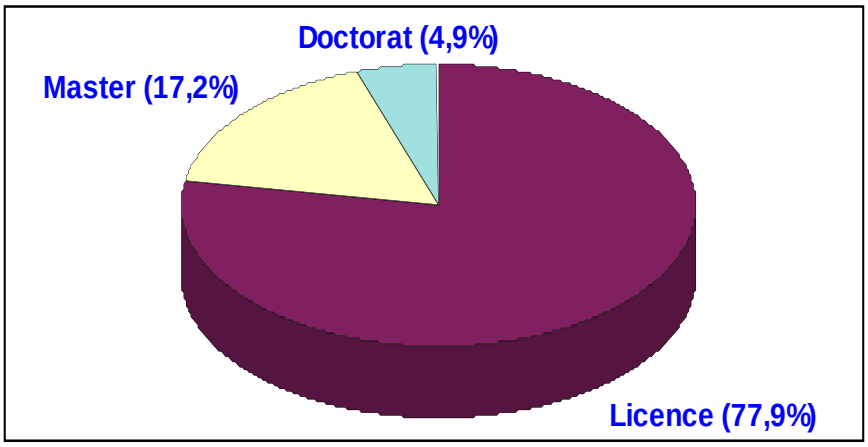


Figure 9. Le taux des enseignants de SP en fonction de leurs parcours universitaire

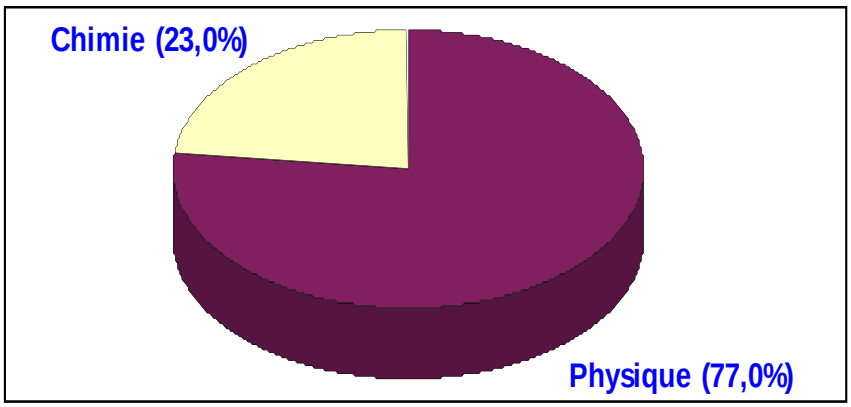


Figure 10. La répartition des enseignants en SP en fonction de leur spécialité de diplôme

En ce qui concerne l'expérience des répondants en matière d'enseignement, 31,1% ont moins de 4 ans d'ancienneté, 44,3% ont entre 5 et 16 ans et 24,6% ont plus de 17 ans d'ancienneté (Figure 11).

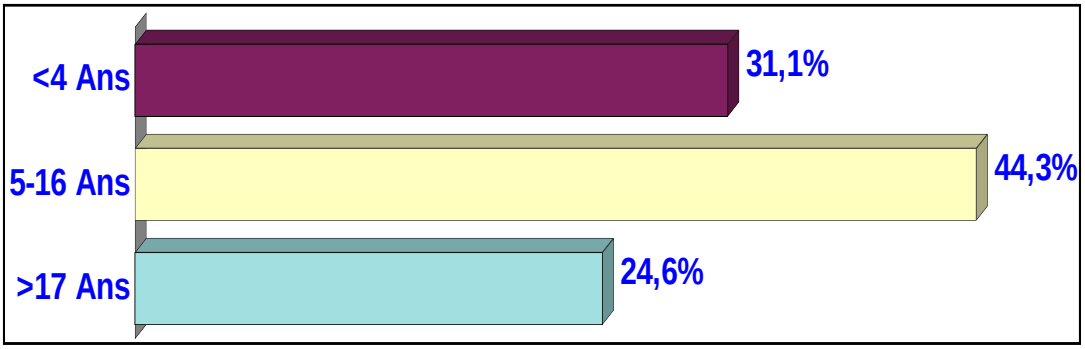


Figure 11. Répartition des répondants en fonction de leur ancienneté dans l'enseignement

4.1.4.2 Direction provinciale de l'éducation

Par rapport à la direction provinciale de l'education dans l'enquête, 39,3% des professeurs interrogés travaillent à Fès, 13,1% travaillent à Sefrou, 9,8% travaillent à

Taounate, 8,2% travaillent à Taza,7,4% travaillent à Moulay yacoub, 5,7% travaillent à Guercif, 16,4% travaillent à Casablanca, ces professeurs sont répartis dans un grand nombre de lycées dispersés à travers l'AREF de Fès-Meknès. et les deux directions provinciales de Casablanca et Guercif au Maroc (Figure 12). La répartition géographique des répondants montre que nous avons pris en considération à la fois des établissements situés en zone urbaine et ceux se trouvant dans des zones moins développées.

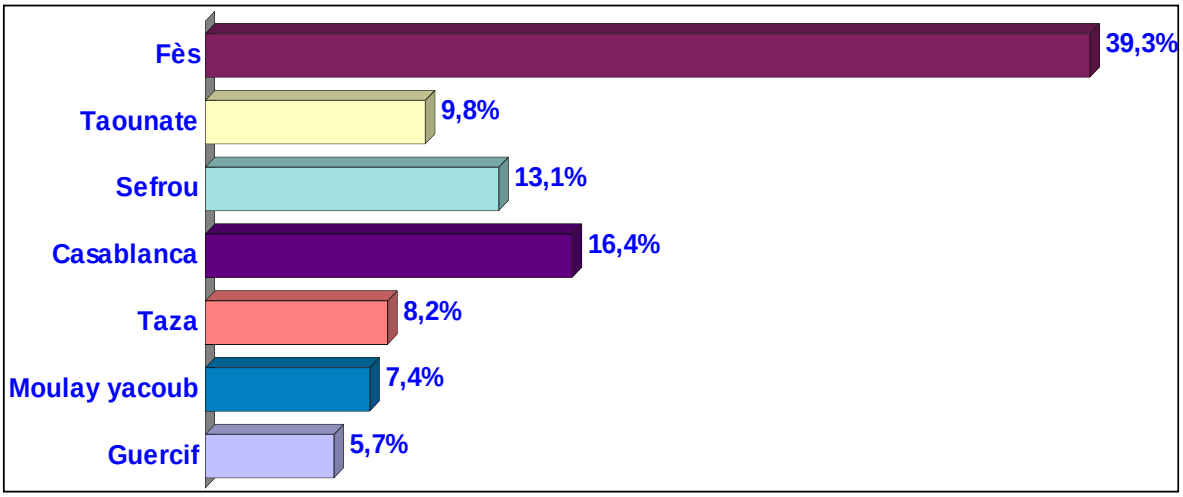


Figure 12. Répartition des interrogés en fonction des directions provinciales de l'éducation

Le questionnaire destiné aux professeurs de SP. de la 1ère (45,9 %), de la 2éme (47,5%) année du baccalauréat sciences expérimentales et tronc commun (55,7%) (Figure 13).

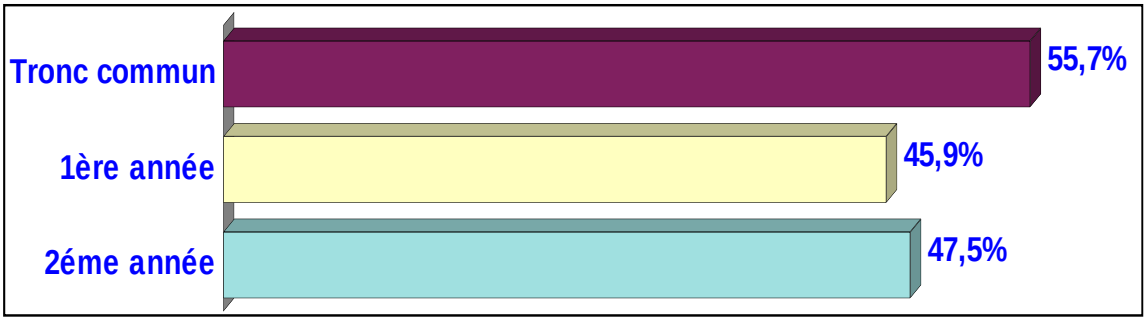


Figure 13. Distribution des professeurs en fonction du niveau d'enseignement

4.1.4.3 Les équipements en matériel

D'après les données statistiques présentées sur la Figure 14, il ressort que la grande majorité des participants à l'enquête signalent que leur salle de SP est munie d'un ordinateur (86,1%), d'un vidéoprojecteur (67,2%), d'une interface ExAO (57,4%), d'un logiciel de l'ExAO (51,6%) et de capteurs (43,4%). Tous les enseignants questionnés affirment qu'une insuffisance des équipements en matériel est un facteur essentiel qui entrave l'intégration de l'ExAO en classe.

Les résultats indiquent de manière évidente que malgré les efforts déployés dans ce domaine, notre ministère n'a pas encore réussi à combler les retards en matière d'équipements.

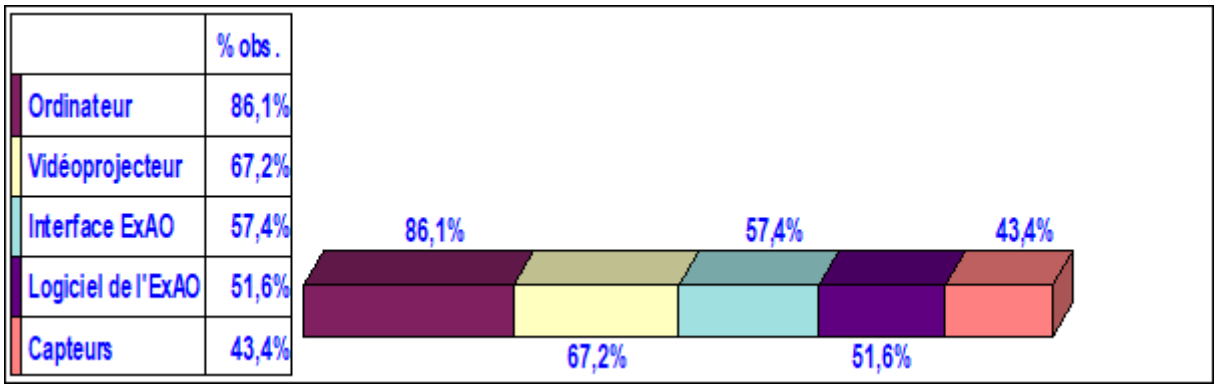


Figure 14. Les équipements en matériels des établissements enquêtés

Dans l'AREF de Fès-Meknès et la direction provinciale de Guercif, l'interface utilisée est Xplorer GLX (82,4%) avec le logiciel Data studio (80,3%) (Figures 15 et 16). La direction provinciale de Casablanca utilise l'interface Labquest (17,6%) avec le logiciel Loggerpro (19,7%) (Figures 15 et 16).

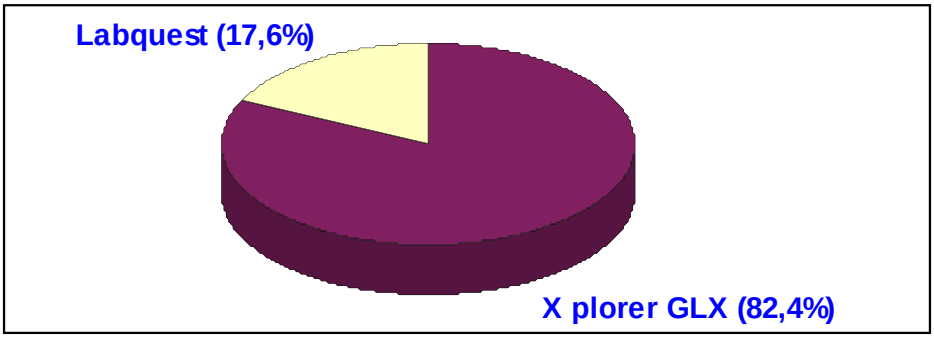


Figure 15. Les types d'interfaces utilisées par l'AEEF de Fès-Meknès et les directions provinciales de Casablanca et de Guercif

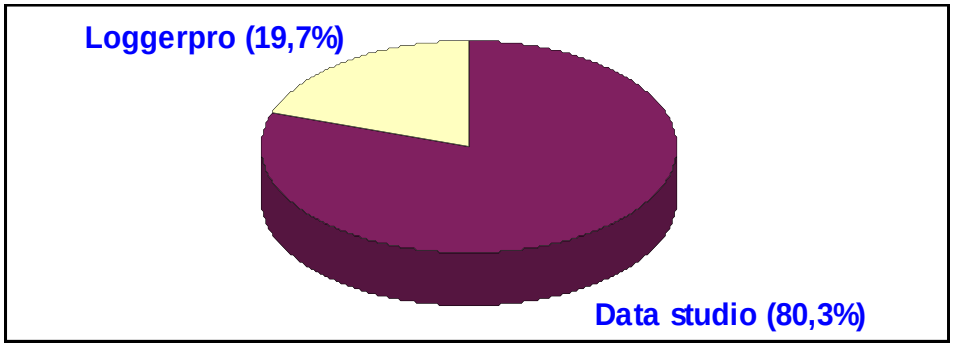


Figure 16. Les types des logiciels utilisées par l'AEEF de Fès-Meknès et les directions provinciales de Casablanca et de Guercif

4.1.4.4 Utilisation de l'ExAO

D'après les résultats obtenus, il a été constaté que plus de 61,5% des enseignants interrogés n'ont pas incorporé l'utilisation de l'ExAO dans leur enseignement, tandis que 38,5% ont indiqué l'avoir utilisé en classe (Figure 17). Les résultats de cette enquête indiquent de manière évidente que l'utilisation de l'ExAO en classe par les enseignants pour les travaux pratiques demeure très restreinte, cette observation a déjà été rapportée aux AREF de Marrakech-Safi et du grand Casablanca (Atibi, 2017 ; Gourja &Tridane, 2015 ; El Ouargui et al., 2019). Par contre l'utilisation de l'ExAO par les enseignants dans les pays d'Europe du Nord est la plus importante, par exemple à 90% en Finlande (Atibi, 2017), D'après les résultats de l'enquête Profetic menée par le Ministère Français de l'Éducation Nationale, il a été constaté que 77% des enseignants en France utilisent l'ExAO avec leurs élèves, au moins une fois par semaine (MEN-PROFETIC, 2011).

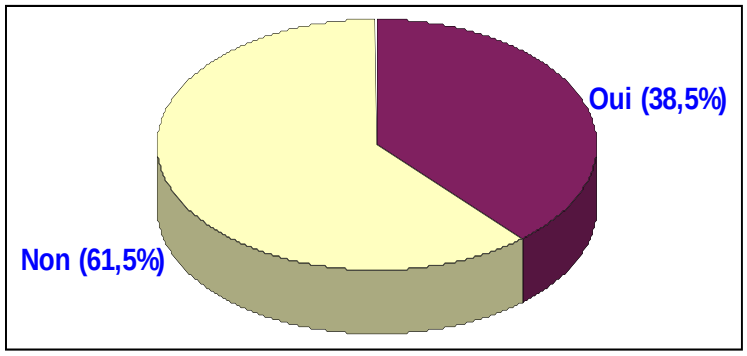


Figure 17. Taux d'usage de l'ExAO dans l'enseignement en classe par les professeurs

Nous avons réalisé un test 1 d'indépendance de Chi2 pour vérifier les hypothèses suivantes :

H_0 : L'utilisation de l'ExAO par les enseignants de SP n'est pas liée au genre.

H_1 : L'utilisation de l'ExAO par les enseignants de SP est liée au genre

D'après le test du Chi 2 effectué sur le tableau 3, il n'y a pas de dépendance significative entre l'utilisation de l'ExAO par les enseignants de SP et leur genre. Ce résultat confirme le rejet de l'hypothèse **H_1** et la validation de l'hypothèse **H_0**, qui affirme que le facteur de genre n'a pas d'influence sur l'utilisation de l'ExAO.

Tableau 3. Relation entre l'utilisation de l'ExAO par répondants et le genre

Utlisation de l'ExAO Genre	Oui	Non	TOTAL
Homme	33,6%	50,0%	**83,6%**
Femme	4,9%	11,5%	**16,4%**
TOTAL	**38,5%**	**61,5%**	

La dépendance n'est pas significative. Chi2 = 0,73, ddl = 1, 1-p = 60,84%.
Les données présentées dans le tableau représentent des pourcentages totaux calculés à partir de 122 observations.

En plus, le résultat du test 2 de chi 2 (tableau 4) nous permet de conclure qu'il n'y a pas une relation significative entre l'utilisation de l'ExAO par répondants et la spécialité des diplômes.

Tableau 4. Indépendance entre l'utilisation de l'ExAO par répondants et la spécialité des diplômes

Utlisation de l'ExAO diplôme	Oui	Non	TOTAL
Physique	32,0%	45,1%	**77,0%**
Chimie	6,6%	16,4%	**23,0%**
TOTAL	**38,5%**	**61,5%**	

La dépendance n'est pas significative. Chi2 = 1,52, ddl = 1, 1-p = 78,24%.
Les données présentées dans le tableau représentent des pourcentages totaux calculés à partir de 122 observations.

Les travaux pratiques (TP) les plus couramment effectués par les enseignants pour les classes de première, de deuxième année du lycée et de tronc commun, sont généralement ceux qui nécessitent peu de matériel et de temps de préparation. En particulier, les TP portant sur le dosage d'un acide par une base (30,3%), l'étude du circuit RLC (28,7%), les TP sur l'analyse du son (18,9%), l'étude de la loi d'ohm (15,6%), la caractéristique de quelques dipôles (10,7%). Au contraire, la détermination de la constante du temps d'un circuit RC (4,9%), la vérification expérimentale de la loi de BOYLE-MARIOTTE (10,7%) est moins fréquente, généralement en raison des conditions difficiles rencontrées lors de la réalisation en classe (Figure 18).

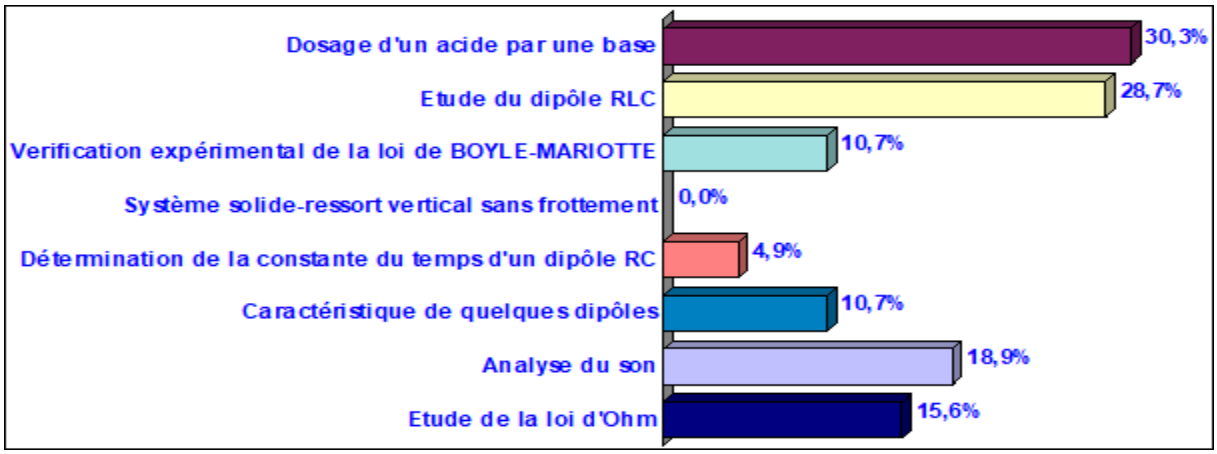


Figure 18. Pourcentage des TP réalisés á l'aide l'ExAO par les professeurs de SP

4.1.4.5 Représentation des professeurs sur l'utilité de l'ExAO

Le tableau 5 donne les avantages de l'utilisation de l'ExAO par les professeurs.

Tableau 5. Déclarations des enseignants sur les avantages de l'utilisation de l'ExAO

	% obs.
Gain du temps	71,3%
Facilite la compréhension	77,0%
Améliore la motivation des élèves	72,1%
Approchement aux concepts scientifiques	59,8%

En d'autres termes, l'ExAO offre une solution à deux niveaux. D'une part, elle contribue à rendre les élèves plus attentifs et sérieux en leur fournissant des informations scientifiques et en les impliquant dans le processus d'apprentissage. Par ailleurs, les enseignants jouent davantage le rôle d'animateurs lors des séances de travaux pratiques.

4.1.4.6 Les inconvénients de l'utilisation de l'ExAO

Selon les réponses de la plupart des interrogés, les inconvénients sont que les élèves ne manipulent plus manuellement, ne tracent pas les graphes eux-mêmes, ne font pas face aux erreurs de mesure et ne développent pas les compétences analytiques, donc Ils ne prennent pas d'autonomie et deviennent dépendants de cet outil pédagogique.

4.1.4.7 La formation sur l'utilisation de l'ExAO

Selon les résultats présentés dans la figure 19, la majorité des enseignants de SP interrogés (27%) ont acquis leurs compétences en ExAO grâce à une autoformation. En revanche, un nombre restreint de répondants ont déclaré avoir acquis ces compétences lors de leur formation initiale, (15,6%) des enseignants ont déclaré avoir reçu une courte formation

environ 14 heures, à noter qu'une formation continue à l'utilisation de l'ExAO a été suivie par 22,1% des enseignants d'à peu près cinq heures avec l'inspecteur de l'éducation, près de 40% des répondants n'ont jamais reçu de formation sur l'utilisation de l'ExAO dans les travaux pratiques, ces résultats indiquent que les efforts déployés jusqu'à présent ne suffisent pas et qu'il est nécessaire de réviser complètement la stratégie adoptée par le Ministère de l'Éducation pour former les acteurs pédagogiques (Mastafi, 2014).

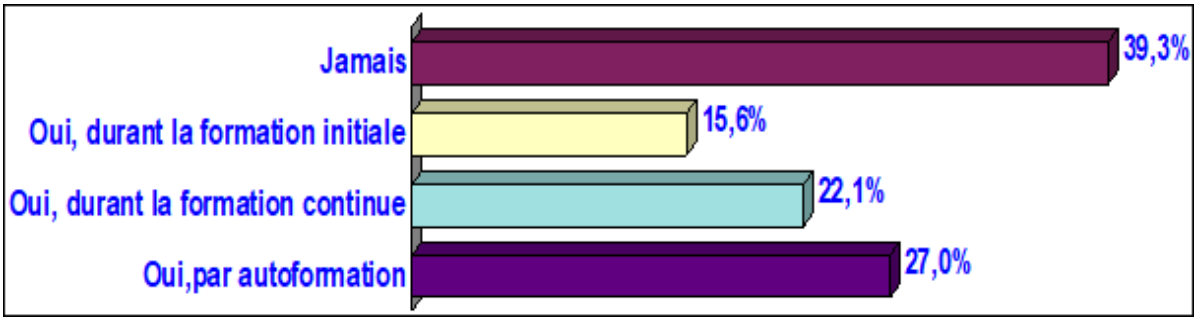


Figure 19. La formation à l'ExAO par les enseignants interrogés

4.1.4.8 La maîtrise de l'ExAO

En revanche, le niveau de maîtrise de l'ExAO des enseignants interrogés est généralement moyen. Seulement 37,7% ont déclaré avoir un niveau de maîtrise insuffisant (Figure 20), ce qui s'explique en partie par le faible pourcentage d'enseignants ayant reçu une formation sur l'utilisation de l'ExAO.

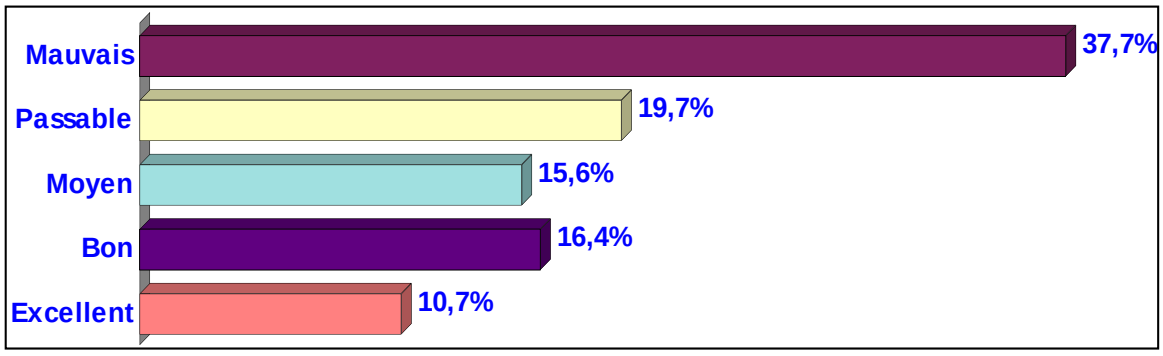


Figure 20. La maîtrise de l'ExAO par les enseignants interrogés

4.1.4.9 Les obstacles de l'utilisation de l'ExAO en classe

La majorité des enseignants ont confirmé que leur formation insuffisante (71,3%), le manque de maintenance régulière des équipements (73,8%), surnombre des élèves (46,7%) restent les grands obstacles qui entravent l'utilisation de l'ExAO en classe. D'autres problèmes s'ajoutent à cela tels que le manque de logiciels spécialisés (69,7%), le manque d'équipements dans l'établissement (77%), le manque de temps représente un obstacle mineur dans l'intégration de l'ExAO (46,7%) (figure 21). Les principaux obstacles à l'utilisation des

TIC par les enseignants de SP sont le manque de formation dans ce domaine et le nombre élevé d'élèves (Bibeau, 2005 ; Unal et al., 2012 ; Gil-Flores et al., 2017 ; Messaoudi et al., 2012 ; Benhaddou & Ait-Aouad, 2023).

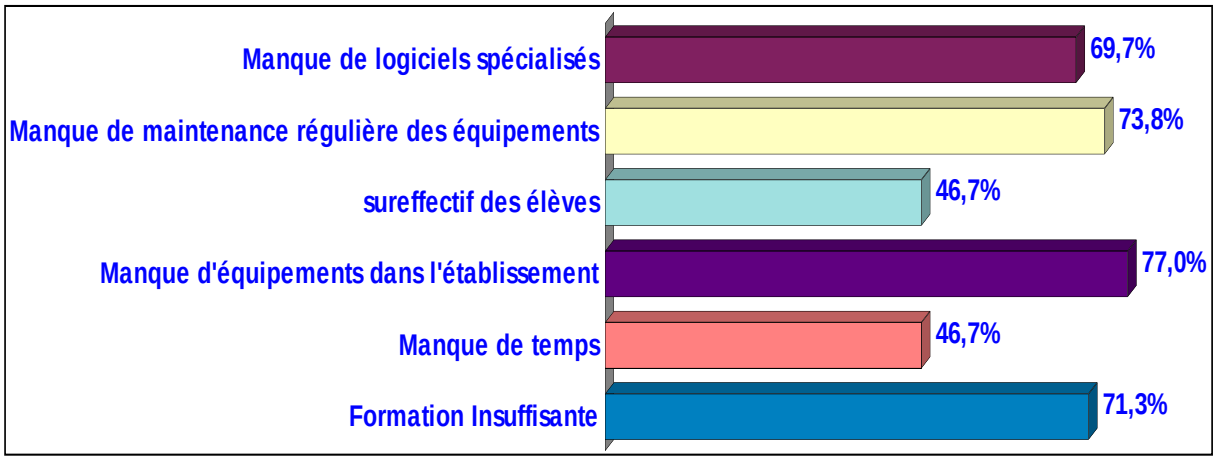


Figure 21. Les obstacles de l'utilisation de l'ExAO en classe par les enseignants de SP

4.1.4.10 Les conditions d'usage de l'ExAO

Les résultats du tableau 6 illustrent les critères clés considérés par les participants pour une utilisation efficace de l'ExAO en physique au niveau lycée. Les répondants de notre enquête ont principalement identifié les conditions les plus pertinentes à cet égard :

- D'après l'enseignant, pour promouvoir l'utilisation de l'ExAO, il est recommandé de limiter le nombre d'élèves dans chaque classe. Cette observation est en accord avec les conclusions de l'étude réalisée par Menchafou et al. (2023), qui ont montré que le sureffectif est la principale raison pour laquelle les enseignants peuvent hésiter à utiliser les TIC. Ainsi, le MEN devrait prendre des mesures urgentes pour atténuer l'impact négatif des classes surchargées non seulement pour l'utilisation des TIC, mais également sur l'encadrement pédagogique des élèves au Maroc.
- Selon le tableau 6, la formation des enseignants est un critère important pour une utilisation réussie et efficace de l'ExAO lors des travaux pratiques, avec un pourcentage de 84,4%. D'autres études ont également souligné l'importance de la compétence technique des enseignants dans l'utilisation des outils technologiques, car cela leur confère la confiance nécessaire pour estimer leur propre performance face à l'investissement de la technologie (Carugati et al., 2002 ; Leu, 2005) ;
- Il est essentiel que les équipements matériels soient en nombre suffisant et que les logiciels ExAO adaptés soient disponibles d'après les réponses de 85,2% des répondants.

Tableau 6. Les conditions d'usage de l'ExAO

	% obs.
Avoir des classes non chargeés	80,3%
Suivre une formation	84,4%
Avoir les logiciels et les équipenemts	85,2%

Outre les conditions essentielles mentionnées précédemment, plusieurs autres éléments peuvent favoriser l'utilisation de l'ExAO dans l'éducation en général. Parmi ceux-ci, il est possible d'évoquer diverses raisons qui motivent les enseignants à accroître leurs efforts, telles que leur désir d'améliorer les performances scolaires de leurs élèves, le plaisir qu'ils éprouvent à fournir des ressources de qualité supérieure, ainsi que leur préoccupation à renforcer l'autonomie des élèves (Alluin et al., 2010 ; Aoki et al., 2013).

4.1.4.11 Discussion

Les résultats de notre enquête indiquent que l'intégration pédagogique de l'ExAO dans les pratiques d'enseignement et d'évaluation en physique à l'académie de Fès est insuffisante. Cette observation a déjà été rapportée pour l'académie de Marrakech (El Bachari et al., 2010) et l'académie de Casablanca (Atibi et al., 2017). En outre, il convient de souligner le manque de formation continue des professeurs, le nombre d'élèves dans les classes est trop élevé, le programme est surchargé qui ne permet pas de réaliser des expériences avec les élèves par manque de temps. El Ouargui et al. (2019) montre que près de 60% des établissements sont équipés en matériel CAEx mais le nombre et la disponibilité de cet outil restent insuffisants. De plus, les types de capteurs disponibles dans les écoles montrent qu'il y a une répartition inégale entre les écoles.

En plus, l'utilisation de l'ExAO fait gagner du temps grâce au traitement des données et un tracé des courbes ce qui facilite le travail du professeur pendant la séance d'enseignement bien sûr pour pouvoir terminer le programme dans les temps souhaités et d'autre part corriger les représentations des élèves et les orienter dans la bonne direction. D'autre part, l'ExAO traite rapidement les données, convertit les signaux analogiques en numériques et trace instantanément les graphiques et les courbes correspondants, l'utilisation de l'ExAO en classe permet de mesurer ses apports aux élèves par rapport à l'assimilation des concepts chez les élèves (Gourja & Tridane, 2015). Yusuf et Afolabi (2010) ; Karper et al. (2005) ont indiqué que les performances des élèves utilisant l'ExAO, que ce soit

individuellement ou en équipe, étaient meilleures. Il n'y a pas eu de différence significative dans les performances des élèves de genre masculin ou féminin lorsqu'ils ont utilisé l'ExAO dans un contexte individuel ou coopératif.

Cependant, il y a des inconvénients à l'utilisation de l'ExAO comme outil didactique. D'après notre enquête, les inconvénients déclarés par les enseignants interrogés sont liés au fait que l'élève ne manipule pas manuellement, ne trace pas le graphique lui-même. Donc l'élève n'acquiert pas d'autonomie et devient dépendant de cet outil pédagogique.

4.2 Impacts de l'utilisation de l'ExAO dans l'apprentissage de la physique, cas des oscillations libres dans un circuit RLC au secondaire

Pour étudier les processus d'utilisation de l'ExAO dans l'analyse des oscillations libres dans un circuit RLC, nous avons adopté une approche méthodologique mixte qui combine des données quantitatives et qualitatives dans une étude cohérente et harmonieuse. La méthodologie choisie pour cette étude consiste en la comparaison des réponses des élèves du groupe de contrôle et du groupe expérimental avant et après une intervention, ainsi que l'analyse des résultats d'une enquête par entretien.

L'objectif est d'obtenir une idée sur l'avis et le niveau de satisfaction des élèves quant à l'intégration de l'ExAO dans l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC.

4.2.1 Pré-test et post-test

4.2.1.1 Echantillon

Notre échantillon est composé de deux groupes d'apprenants au secondaire qualifiant de la deuxième année du baccalauréat scientifique option SVT au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès. Ces élèves ont un âge moyen de 17 ans, pendant l'année scolaire 2021-2022. Le groupe de contrôle est composé de 20 élèves et le groupe expérimental est également composé de 20 élèves. Dans un premier temps, un pré-test (Annexe 3) a été utilisé avec les deux groupes pour s'assurer de leur équivalence et évaluer le degré de maîtrise des pré-acquis de l'année précédente. Ce test est composé de cinq questions à choix multiples (QCM) de deux choix vrai ou faux et un exercice sous forme de questions ouvertes. Cet instrument a été développé et piloté auprès de 20 élèves, et sa fiabilité a été estimée à l'aide du coefficient de cohérence interne alpha de Cronbach. Il s'est avéré que le score de fiabilité était de 0.70, ce qui indique un coefficient de fiabilité acceptable. Nous avons appelé les deux classes à répondre aux questions du pré-test, les réponses écrites ont été données sous format papier.

Le système ExAO (RLC) comprend neuf éléments fondamentaux qui sont les systèmes d'acquisition de données et d'analyse informatique : l'ordinateur, le capteur de

tension / intensité, l'interface GLX, le logiciel DATASTUDIO, le générateur de tension réglable, la résistance variable, le condensateur variable, la bobine à inductance variable et les fils électrique (Figure 22). Après avoir expérimenté l'ExAO avec le groupe expérimental à l'aide d'une fiche technique (annexe 2), nous avons administré un post-test (annexe 4) aux deux groupes d'élèves,

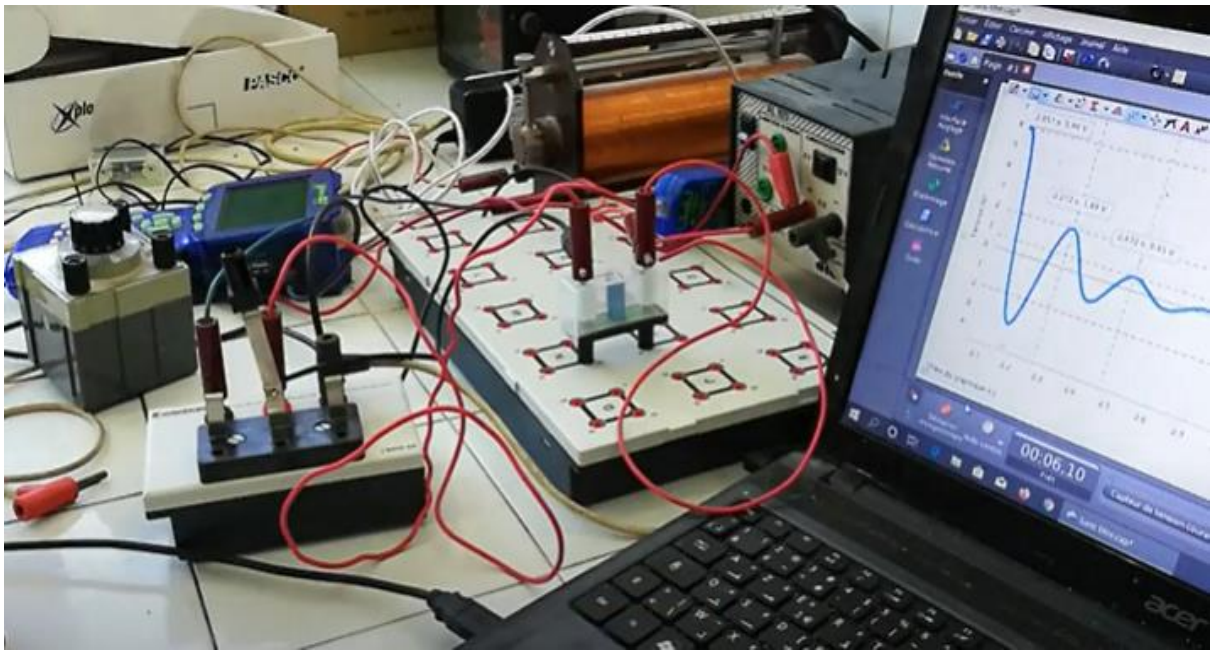


Figure 22. Montage des oscillations libres dans un circuit RLC avec l'ExAO

Le groupe de contrôle a reçu la même partie du cours des oscillations libres dans un circuit RLC dans les conditions d'enseignement respectant les instructions officielles basées sur la pratique pédagogique classique, le post-test évalue et régule les connaissances de base nécessaires aux élèves pour poursuivre leurs apprentissages. Il est composé de trois questions à choix vrai ou faux et de deux exercices contenant des questions ouvertes portant sur les sujets suivants : la décharge d'un condensateur dans une bobine, l'influence de l'amortissement pseudo-périodique, le transfert d'énergie entre le condensateur et la bobine, l'étude graphique en cas d'amortissement faible et l'entretien des oscillations. Cet instrument a été piloté auprès de 20 élèves, et sa fiabilité mesurée à l'aide du coefficient alpha de Cronbach a donné un résultat satisfaisant (α de Cronbach=0,72).

4.2.1.2 Analyse des données du pré-test et post-test

Après avoir terminé l'activité pédagogique proposée, nous avons proposé aux deux groupes de répondre aux questions du post-test sous forme de papier-crayon, dans le but de comparer leurs réponses. Les données collectées ont ensuite été analysées avec les statistiques **IBM SPSS 21** (logiciel d'analyse statistique), le test t de Student a été utilisé pour comparer

les groupes de deux échantillons indépendants., un niveau d'alpha de 0,05 a été utilisé tout au long de l'analyse des résultats.

4.2.2 Entretien

Notre entretien concerne 20 élèves constituant le groupe expérimental au secondaire qualifiant de la deuxième année du baccalauréat scientifique option SVT au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès. Nous avons effectué des entretiens de type non directifs et directifs, nous avons recueilli 20 entretiens.

4.2.2.1 Protocole

Dans un premier temps, La grille de questions a été créée en collaboration avec les enseignants de sciences physiques du lycée et prend la forme suivante :

Les questions ouvertes :

- Avez-vous rencontré des obstacles lors de l'apprentissage des connaissances sur les oscillations libres dans un circuit RLC ?
- Quels sont les obstacles et les avantages d'une intégration de l'ExAO dans le processus d'apprentissage ?
- Quel est la valeur ajoutée de l'utilisation de l'ExAO ?

Les questions fermées avec le codage 0 et 1 :

- Est-ce que l'usage de l'ExAO permet de gagner du temps ?
  - Oui (1)
  - Non (0)
- Est-ce que l'utilisation de l'ExAO augmente la motivation des élèves et facilite une meilleure compréhension des concepts scientifiques ?
  - Oui (1)
  - Non (0)
- L'ExAO favorise-t-il l'amélioration des compétences de travail d'équipe et de résolution de problèmes ?
  - Oui (1)
  - Non (0)
- L'ExAO encourage-t-il le développement de l'apprentissage autonome et de l'esprit critique en confrontant la théorie aux résultats obtenus ?
  - Oui (1)
  - Non (0)
- Est-ce que l'ExAO simplifie le concept d'incertitude de la mesure ?

- Oui (1)
- Non (0)

Nous avons opté pour une méthode de croisement des données avec les notes écrites pour garantir leur validité.

4.2.2.2 Analyse des données de l'entretien

Dans un premier temps, nous avons transcrit les entretiens non directifs sous forme écrite en utilisant une grille qui préservait les thèmes principaux de l'entretien initial. Nous avons ensuite trié les réponses en catégories précises pour les rendre exclusives. Ce classement a souvent été réalisé en fonction de mots-clés. Dans un second temps, les données d'entretien directif ont été traitées avec le logiciel **SPHINX v5**.

4.2.3 Resultats et discussion

4.2.3.1 Résultats du pré-test

4.2.3.1.1 Statistiques descriptives et tests de normalité

Le tableau 7 ci-dessous présente les résultats du pré-test pour les deux groupes :

Tableau 7. Statistiques descriptives (pré-test)

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Variance
Groupe de contrôle	20	10,00	17,00	13,7500	2,35919	5,566
Groupe expérimental	20	9,00	18,00	14,0500	2,32775	5,418

L'analyse de ces résultats montre que la moyenne des élèves du groupe expérimental au pré-test est m = 14,05 alors que celle des élèves du groupe de contrôle est m = 13,75; la différence est d'environ 0,3. Pour vérifier si cette différence est significative et rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle aucune différence significative n'existait entre les deux groupes au moment du pré-test, nous avons effectué le test t de student pour comparer les moyennes de deux échantillons indépendants ayant une distribution normale (au tableau 8, la valeur p de Shapiro-Wilk est non significative). L'hypothèse nulle est la suivante :

H_0 : la différence entre les moyennes des élèves du groupe expérimental et du groupe de contrôle n'est pas significative.

Tableau 8. Test de normalité

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistique	ddl	Signification	Statistique	ddl	Signification
Groupe de contrôle	,202	20	,032	,906	20	,053
Groupe expérimental	,111	20	,200*	,966	20	,675

4.2.3.1.2 Test t d'échantillons indépendants

Le tableau 9 présente les résultats de la comparais

Tableau 9. Test d'échantillons indépendants

	Test de Levene sur l'égalité des variances		Test-t pour égalité des moyennes						
	F	Sig.	t	ddl	Sig. (Bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type	Intervalle de confiance 95% de la différence	
								Inférieure	Supérieure
Hypothèse de variances égales	0,133	0,717	-0,405	38	0,688	-0,3	0,74109	-1,80025	1,20025
Hypothèse de variances inégales			-0,405	37,993	0,688	-0,3	0,74109	-1,80026	1,20026

D'après ce tableau, la valeur p du test de Levene est p = 0,717 ce qui n'est pas significatif ; les variances peuvent être considérées comme homogènes puisque leur différence peut être expliquée par un pur résultat du hasard. La valeur p du test t supérieure au niveau alpha est choisie, une valeur p de 0,688 n'implique pas le rejet de l'hypothèse nulle ; on peut ainsi estimer qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes testés, cela indique que les deux groupes ont un niveau de compétences similaire, ce qui était attendu étant donné que les deux groupes ont suivi le même cours avant le pré-test et nous permet de valider notre modèle expérimental sur la base d'un pré-test et d'un post-test.

4.2.3.2 Résultats du post-test

4.2.3.2.1 Statistiques descriptives et tests de normalité

Le tableau 10 ci-dessous présente les résultats du post-test pour les deux groupes :

Tableau 10. Statistiques descriptives (post-test)

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Variance
Groupe de contrôle	20	9,00	17,00	13,4500	2,58488	6,682
Groupe expérimental	20	12,00	18,00	15,4000	1,93037	3,726

Les résultats montrent que la moyenne des élèves du groupe expérimental au post-test est m = 15,40 alors que celle des élèves du groupe contrôle est m = 13,45 ; la différence est d'environ 1,95 vérifier si cette différence est significative et rejeter hypothèse nulle que le dispositif éducatif testé n'avait aucun effet sur les résultats des élèves, nous avons effectué le test t de student pour tester la différence entre les moyennes de deux échantillons indépendants ayant une distribution normale (au tableau 11, la valeur p de Shapiro-Wilk est non significative).

Tableau 11. Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistique	ddl	Signification	Statistique	ddl	Signification
Groupe de contrôle	,131	20	,2	,929	20	,146
Groupe expérimental	,147	20	,2	,932	20	,170

4.2.3.2.2 Test t d'échantillons indépendants

Le tableau 12 présente les résultats de la comparaison entre les deux groupes :

Tableau 12. Test d'échantillons indépendants

	Test de Levene sur l'égalité des variances		Test-t pour égalité des moyennes						
	F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type	Intervalle de confiance 95% de la différence	
								Inférieure	Supérieure
Hypothèse de variances égales	2,125	0,153	-2,703	38	0,01	-1,95	0,72138	-3,41037	-0,48963
Hypothèse de variances inégales			-2,703	35,165	0,011	-1,95	0,72138	-3,41424	-0,48576

D'après ce tableau, les variances peuvent être considérées comme homogènes ; la valeur p du test de Levene est p = 0,153 ce qui est non significatif. La valeur p de test-t est inférieure au niveau alpha sélectionné (p <0,05) ; une p-value de 0,01 permet de rejeter l'hypothèse nulle et donc d'admettre que l'intégration de l'ExAO dans l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC a eu un impact positif sur les performances des élèves. Cela suggère que les élèves du groupe expérimental ont amélioré leur compréhension de la visualisation des différents régimes d'oscillations et de l'influence de la résistance du circuit sur ces régimes d'oscillations.

4.2.3.2.3 Analyse des réponses des élèves aux questions du post-test

Selon les résultats du post-test (Annexe 4) présentés dans le tableau 13, nous observons que la plupart des élèves du groupe expérimental ont des réponses correctes sur les questions (Q3 de QCM, Q1 d'exercice 1, Q2-1 d'exercice 1, Q2-3 d'exercice 1 et Q1 d'exercice 2), En ce qui concerne les élèves du groupe de contrôle, la situation est distincte. De plus, nous constatons que le taux de réponses justes du groupe expérimental pour la question Q3 de QCM qui traite l'influence de L sur le phénomène d'oscillations (80,0%), la question Q1 d'exercice 1 qui traite l'influence de R sur les régimes d'oscillations (65,5%), la question Q2-1 d'exercice 1 qui détermine la valeur de la pseudo période T des oscillations électriques(75%), la question Q2-3 d'exercice 1 qui consiste le rôle du dispositif d'entretien d'oscillations (90%) et ainsi que la question Q1 d'exercice 2 qui permet de connaître les diagrammes d'énergie (70%) . Les élèves du groupe expérimental ont obtenu des taux de réponses plus élevés que ceux du groupe de contrôle pour ces questions. Ce qui confirment que l'usage d'ExAO permet de bien assimiler et comprendre le cours.

Tableau 13. Réponses correctes des deux groupes : contrôle et expérimental

	Les groupes	
	Groupe de contrôle	**Groupe expérimental**
Q3 de QCM	65,0%	80,0%
Q1 d'exercice 1	55,0%	65,0%
Q2-1 d'exercice 1	60,0%	75,0%
Q2-3 d'exercice 1	75,0%	90,0%
Q1 d'exercice 2	60,0%	70,0%

4.2.3.3 Entretien

4.2.3.3.1 Analyse de l'entretien

Afin de mieux comprendre les résultats de cette étude, laquelle explore les effets de l'usage de l'ExAO sur la compréhension des oscillations libres dans un circuit RLC chez les

élèves de seconde année du baccalauréat SVT. Nous avons choisi d'utiliser une approche méthodologique mixte, en combinant la méthode de recherche quantitative avec une méthode de recherche qualitative basée sur des entretiens. Cette méthode prend en compte l'avis des élèves qui ont suivi le cours en utilisant soit la pratique pédagogique classique, soit l'ExAO.

Dans la phase d'entretien, en particulier lors de l'entretien structuré que nous avons mené dans cette étude, nous avons demandé aux élèves du groupe expérimental de partager leurs opinions sur les sujets suivants :

- Avez-vous éprouvé des difficultés lors de l'acquisition des connaissances sur les oscillations libres dans un circuit RLC pendant votre apprentissage ?
- Quels sont les obstacles et les avantages d'une intégration de l'ExAO dans le processus d'apprentissage ?
- Quel est la valeur ajoutée de l'utilisation d'ExAO ?

Notre objectif était de mesurer le niveau de satisfaction des élèves quant à l'intégration de l'ExAO dans l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC, après le traitement des données par le protocole indiqué dans la partie méthodologie, les élèves signalent avoir éprouvé de grandes difficultés à comprendre les concepts: visualisation des différents régimes d'oscillations, connaître comment brancher un oscilloscope pour visualiser les différentes tensions, mettre en évidence l'influence de R, de L et de C sur le phénomène d'oscillations, comprendre le fonctionnement du dispositif d'entretien d'oscillations, qui permet de compenser l'énergie dissipée par effet Joule dans le circuit RLC, transfert d'énergie entre le condensateur et la bobine. En revanche, les élèves confirment aussi que grâce à l'intégration de l'ExAO lors des séances de cours, ces difficultés ont été surmontées. En plus, l'analyse des déclarations des élèves suite à l'entretien directif par le logiciel **SPHINX v 5**, montre que :

- L'usage de l'ExAO permet de gagner du temps (75%) ;
- L'ExAO améliore la motivation des élèves et aide à mieux approcher les concepts scientifiques (90%) ;
- L'utilisation de l'ExAO favorise le développement des compétences de travail en équipe et de résolution de problèmes (80%) ;
- L'ExAO stimule le développement des compétences d'apprentissage autonome et renforce l'esprit critique en confrontant la théorie avec les résultats obtenus (85%) ;
- L'ExAO simplifie la compréhension du concept d'incertitude de la mesure (65%).

4.2.3.4 Discussion

Dans cette étude, il semble que les élèves du groupe expérimental, qui ont utilisé l'EXAO ont généralement réussi à mettre en place des procédures leur permettant de répondre plus efficacement aux questions. Les réponses au post-test confirment que ces élèves ont également acquis des compétences concernant les oscillations libres d'un circuit RLC. De même, les études précédentes ont confirmé que l'utilisation de l'ExAO en classe permet de mesurer ses apports concernant l'assimilation des concepts chez les élèves (Gourja & Tridane, 2015).

On peut déduire que l'intégration de l'ExAO a eu un effet positif sur l'apprentissage des élèves. Cependant, l'usage de l'ExAO en classe par les enseignants dans leurs travaux pratiques reste très limité au Maroc, à cause du manque de formation continue des professeurs, du nombre d'élèves dans les classes qui est trop élevé et du programme surchargé qui ne permet pas de réaliser des expériences avec les élèves (El Bachari et al., 2010). Néanmoins, il y a des inconvénients à l'utilisation de l'ExAO comme outil dans une expérience, l'élève ne manipule pas manuellement et ne trace pas le graphique lui-même (Atibi, 2017).

CHAPITRE 5. IMPACTS DE L'INTEGRATION DE LA SIMULATION INFORMATIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA PHYSIQUE AU SECONDAIRE QUALIFIANT

5.1 Etude de l'intégration du simulateur Electronics Workbench (EWB) dans l'apprentissage des concepts électriques chez les lycéens

Pour étudier les processus de l'utilisation du simulateur Electronics Workbench (EWB) dans l'étude de la modulation et la démodulation d'amplitude, nous avons choisi une approche méthodologique mixte pour notre étude, qui consiste à combiner de manière cohérente et harmonieuse des données quantitatives et qualitatives. Notre méthodologie repose sur la comparaison des réponses des élèves des groupes de contrôle et expérimental avant et après les tests, ainsi que sur l'analyse des résultats d'une enquête menée par entretien.

5.1.1 Pré-test et post-test

5.1.1.1 Echantillon

Notre échantillon est composée de deux groupes d'élèves au secondaire qualifiant de la deuxième année du baccalauréat scientifique option SP au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès, qui ont un âge moyen de 17 ans, pendant l'année scolaire 2020-2021, le groupe de contrôle est composé de 25 élèves et le groupe expérimental est également composé de 25 élèves, les deux groupes d'élèves ont reçu une partie du cours de la modulation d'amplitude dans les mêmes conditions d'enseignement respectant les instructions officielles basé sur la pratique pédagogique classique au laboratoire traditionnel. Ensuite, un pré-test (Annexe 6) a été utilisé avec les deux groupes pour s'assurer de leur équivalence. Ce test est composé deux QCM et un exercice sous forme de questions ouvertes.

Afin d'évaluer la valeur ajoutée du simulateur Electronics Workbench (EWB) dans le cours, nous avons simulé le montage de la modulation d'amplitude et la démodulation d'amplitude via le simulateur Electronics WorkBench. Le montage expérimental est composé de deux générateurs GBF, un oscilloscope et un multiplieur exécutant la modulation et pour la démodulation d'amplitude qui contient un circuit de détection d'enveloppe et un autre circuit d'élimination de la tension constante.

Nous avons créé un post-test (voir annexe 7) qui a été administré aux deux groupes d'élèves après utilisation du simulateur Electronics Workbench (EWB) avec le groupe expérimental dans la partie de la démodulation d'amplitude en utilisant un protocole expérimental (voir annexe 5). Le post-test se compose d'un exercice contenant des questions ouvertes qui visent à évaluer et réguler les connaissances de base nécessaires pour que les élèves puissent continuer à apprendre. Ces questions portent sur les étapes de la démodulation, les conditions requises pour une démodulation de bonne qualité, le rôle du circuit LC parallèle utilisé et la valeur de l'inductance L de la bobine pour capter les ondes.

5.1.1.2 Analyse des données du pré-test et post-test

Après avoir terminé l'activité pédagogique proposée, nous avons demandé aux deux groupes de répondre aux questions du pré-test et post-test sous forme de questionnaire papier-crayon afin de pouvoir comparer leurs réponses. Nous avons ensuite analysé les données collectées à l'aide du logiciel d'analyse statistique **IBM SPSS 21**. Le test t de Student (Gilbert et al., 1992) a été utilisé pour comparer les groupes des deux échantillons indépendants. Nous avons utilisé un niveau d'alpha de 0,05 tout au long de l'analyse des résultats..

5.1.2 Entretien

5.1.2.1 Protocole

Dans le cadre de cette étude, nous avons soumis un questionnaire au groupe expérimental. Ce questionnaire comportait cinq questions avec des réponses possibles sur une échelle de Lickert en 4 points : « Tout à fait d'accord », « Plutôt d'accord », « Plutôt pas d'accord » et « Pas d'accord du tout ». Notre questionnaire vise à permettre aux lycéens d'exprimer leur opinion sur les sujets suivants :

- Le simulateur Electronics Workbench (EWB) est facile à exploiter ;
- Le simulateur Electronics Workbench (EWB) est facile à utiliser ;
- Pour utiliser Electronics Workbench (EWB), il n'est pas nécessaire d'avoir une grande expérience dans l'utilisation des outils numériques (logiciels) ;
- L'utilisation du simulateur Electronics Workbench (EWB) peut contribuer à la compréhension des notions de l'électricité ;
- Le simulateur Electronics Workbench (EWB) est un outil complémentaire aux expériences réelles.

La méthodologie utilisée dans cette étude repose sur des entretiens avec les enseignants de SP du lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès, les points principaux de ce questionnaire sont :

- Le simulateur Electronics Workbench (EWB) met en évidence un conflit cognitif ;
- Le simulateur Electronics Workbench (EWB) augmente le rendement des élèves ;
- Le simulateur Electronics Workbench (EWB) simplifie les systèmes réels étudiés ;
- Le simulateur Electronics Workbench (EWB) peut remplacer certaines expériences de l'électricité ;

- Le simulateur Electronics Workbench (EWB) améliore la compréhension conceptuelle ;
- En intégrant le simulateur Electronics Workbench (EWB), il est possible d'améliorer l'efficacité des lycéens dans l'apprentissage de la physique, notamment en ce qui concerne l'électricité.

5.1.2.2 Analyse des données de l'entretien

Après la collecte des questionnaires, Le logiciel **SPHINX v5** a été utilisé pour le traitement des données, ce qui a permis de générer des statistiques descriptives pour chaque libellé.

5.1.3 Resultats et discussion

5.1.3.1 Résultats du pré-test

5.1.3.1.1 Statistiques descriptives et tests de normalité

Ci-dessous, le tableau 14 présente les résultats du pré-test des deux groupes :

Tableau 14. Statistiques descriptives (pré-test)

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Variance
Groupe de contrôle	25	10,00	18,00	14,0800	2,34379	5,493
Groupe expérimental	25	9,00	18,00	14,2800	2,22711	4,960

L'analyse de ces résultats, la moyenne des élèves du groupe expérimental au pré-test est m = 14,28 alors que celle des élèves du groupe de contrôle est m =14,08; la différence est d'environ 0,2. Pour vérifier si cette différence est significative et rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle aucune différence significative n'existait entre les deux groupes au moment du pré-test, Nous avons employé le test t de student pour comparer les moyennes de deux échantillons indépendants ayant une distribution normale (au tableau 15, la valeur p de ShapiroWilk est non significative). L'hypothèse nulle est la suivante :

H_0 : la différence entre les moyennes des élèves du groupe expérimental et du groupe de contrôle n'est pas significative.

Tableau 15. Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistique	ddl	Signification	Statistique	ddl	Signification
Groupe de contrôle	,173	25	,053	,932	25	,095
Groupe expérimental	,107	25	,200*	,963	25	,471

5.1.3.1.2 Test t d'échantillons indépendants

Les résultats du test sont présentés dans le tableau 16 :

Tableau 16. Test d'échantillons indépendants

	Test de Levene sur l'égalité des variances		Test-t pour égalité des moyennes						
	F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type	Intervalle de confiance 95% de la différence	
								Inférieure	Supérieure
Hypothèse de variances égales	,087	,769	-,309	48	,758	-,20000	,64663	-1,50014	1,10014
Hypothèse de variances inégales			-,309	47,875	,758	-,20000	,64663	-1,50023	1,10023

D'après ce tableau, la valeur p du test de Levene est p = 0,769 ce qui n'est pas significatif ; la valeur p du test t supérieure au niveau alpha est choisie, une valeur p de 0,758 n'implique pas le rejet de l'hypothèse nulle. Grâce à cela, nous pouvons conclure qu'il n'y a pas de divergence significative entre les groupes testés. Cela prouve que les deux groupes possèdent un niveau de compétences similaire, comme cela était attendu puisque les deux groupes ont suivi le même cours avant le pré-test. Ces résultats nous permettent de confirmer la validité de notre modèle expérimental, basé sur un pré-test et un post-test.

5.1.3.2 Résultats du post-test

5.1.3.2.1 Statistiques descriptives et tests de normalité

Le tableau 17 présente les résultats du post-test des deux groupes :

Tableau 17. Statistiques descriptives (post-test)

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Variance
Groupe de contrôle	25	10,00	19,00	15,3600	1,95533	3,823
Groupe expérimental	25	11,00	18,00	15,0800	2,05994	4,243

Les résultats montrent que la moyenne des élèves du groupe expérimental au post-test est m = 15,08 alors que celle des élèves du groupe contrôle est m = 15,36; la différence est d'environ 0,28 vérifier si cette différence est significative et rejeter hypothèse nulle que le dispositif éducatif testé n'avait aucun effet sur les résultats des élèves, Nous avons eu recours le test t de student pour tester l'écart entre les moyennes de deux échantillons indépendants

ayant une distribution normale (au tableau 18, la valeur p de Shapiro-Wilk est non significative).

Tableau 18. Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistique	ddl	Signification	Statistique	ddl	Signification
Groupe de contrôle	,188	25	,023	,941	25	,159
Groupe expérimental	,152	25	,137	,941	25	,155

5.1.3.2.2 Test t d'échantillons indépendants

Le tableau 19 présente les résultats du test effectué :

Tableau 19. Test d'échantillons indépendants

	Test de Levene sur l'égalité des variances		Test-t pour égalité des moyennes						
	F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type	Intervalle de confiance 95% de la différence	
								Inférieure	Supérieure
Hypothèse de variances égales	,255	,616	,493	48	,624	,28000	,56804	-,86212	1,42212
Hypothèse de variances inégales			,493	47,870	,624	,28000	,56804	-,86220	1,42220

D'après ce tableau, les variances peuvent être considérées comme homogènes ; la valeur p du test de Levene est p = 0,616 ce qui est non significatif. La valeur p de test-t est supérieure au niveau alpha sélectionné (p > 0,05) ; une p-value de 0,624 ne permet pas de rejeter l'hypothèse nulle et donc la différence entre les moyennes des élèves du groupe expérimental et du groupe de contrôle n'est pas significative et d'admettre que l'utilisation du simulateur Electronics Workbench (EWB) dans l'étude de la démodulation d'amplitude a eu un effet similaire sur l'apprentissage des élèves. Ceci montre qu'il ne peut pas remplacer l'expérience de laboratoire par le simulateur Electronics Workbench (EWB) sauf au cas du manque des matériels et des composantes électroniques, la simulation informatique est particulièrement utile dans le domaine de l'électricité car elle permet de mener des expériences qui seraient autrement impossibles en raison du manque ou de l'absence d'équipements scientifiques dans les laboratoires. De plus, elle permet de résoudre les problèmes liés aux expériences qui nécessitent un temps considérable pour être réalisées (Chekour et al., 2015).

5.1.3.3 Entretien

5.1.3.3.1 Analyse de l'entretien

5.1.3.3.1.1 Pour les élèves

Les résultats d'entretien avec les élèves sont présentés dans la figure 23. Montrent que Electronics Workbench(EWB) est facile à exploiter pour la plupart (85%) des interviewés , 85% des élèves confirment que le simulateur Electronics Workbench(EWB) est facile à utiliser, la majorité (79 %) de ces élèves pensent que l'utilisation de Electronics Workbench (EWB) nécessite peu de connaissances dans l'informatique, Aussi (72%) des élèves interviewés jugent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) peut contribuer à la compréhension des concepts liés à l'électricité et 98 % des élèves déclarent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) est un outil complémentaire aux expériences réelles. Une étude supplémentaire indique que les élèves possèdent les compétences informatiques requises pour utiliser le logiciel de simulation PSPICE avec efficacité (Chekour et al., 2015).

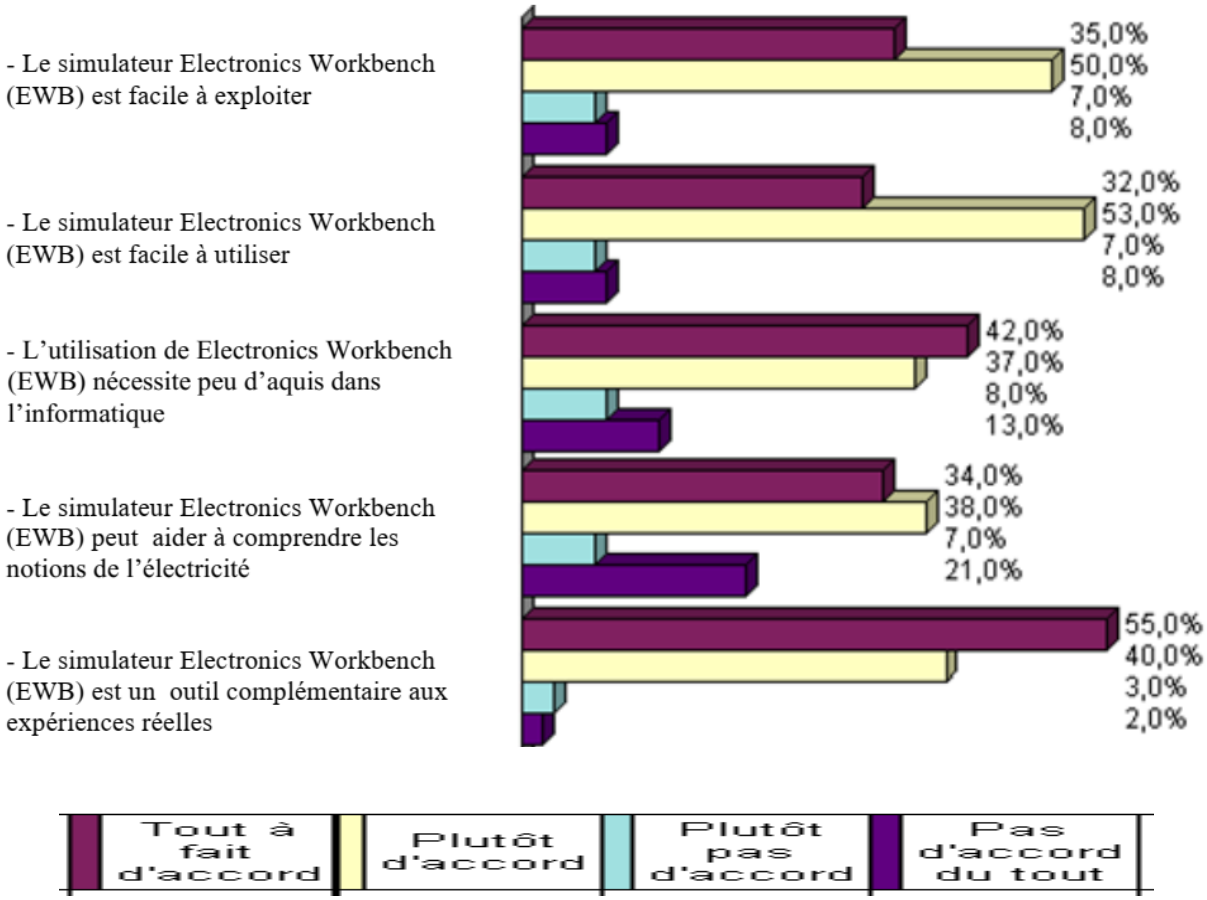


Figure 23. Le degré de satisfaction des élèves utilisant le simulateur Electronics Workbench (EWB)

5.1.3.3.1.2 Pour les enseignants

Les résultats d'entretien avec les enseignants de SP du lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès sont présentés dans la figure 24. Les données analysées montrent que :

La majorité des professeurs interviewés (76,6 %) croient que le simulateur Electronics Workbench (EWB) permet de mettre en évidence un conflit cognitif, 85 % des enseignants jugent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) augmente le rendement des élèves, 80 % des participants confirment que le simulateur Electronics Workbench (EWB) simplifie des systèmes réels étudiés , 80 % des professeurs interviewés déclarent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) peut aider à comprendre les notions de l'électricité et 81,7% des interviewés disent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) est un outil complémentaire aux expériences réelles. D'autre part des professeurs, ils apprécient que l'utilisation de logiciel (EWB) a motivé les élèves sur le plan pédagogique et a augmenté leurs capacités cognitives. En effet, les simulations encouragent les apprenants et simplifient leur charge cognitive (Wu et al., 2022).

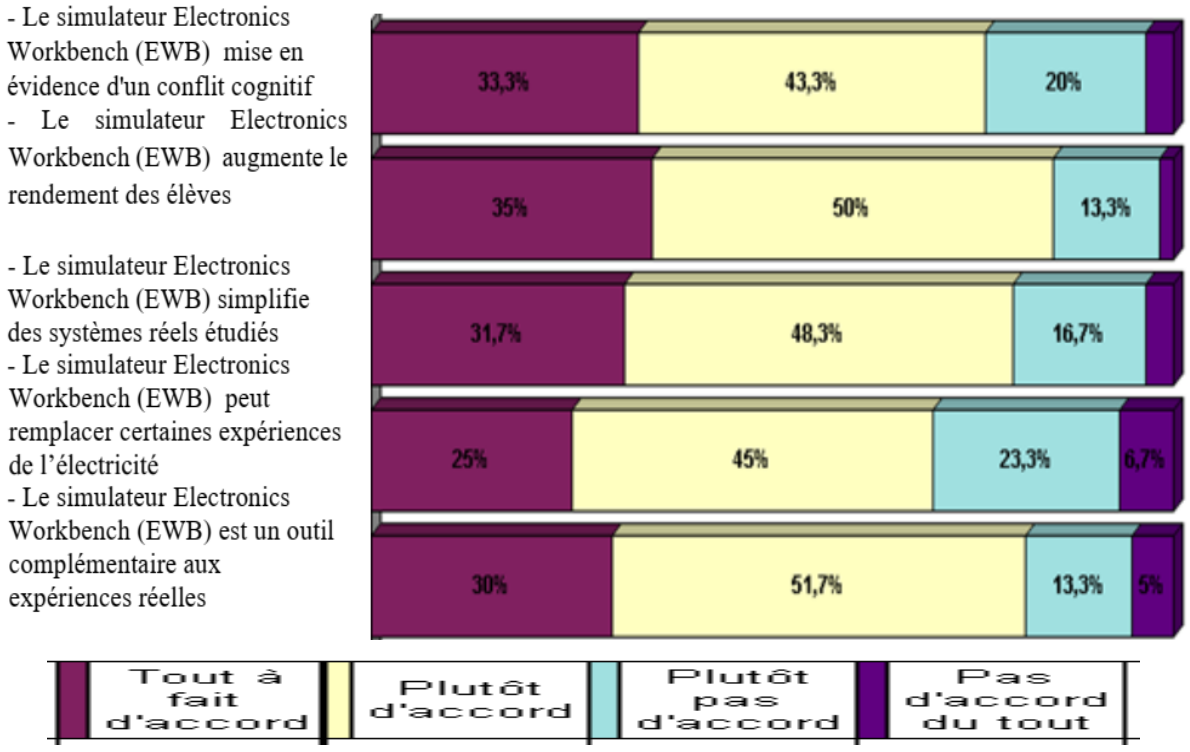


Figure 24. Valorisation des enseignants de SP de la simulation

5.2 Impacts de l'utilisation du simulateur crocodile Physics dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité au lycée

Afin de favoriser l'implication de l'élève dans le processus d'apprentissage, l'enseignant doit recourir à diverses méthodes pédagogiques. La méthode expérimentale consiste à

présenter une situation problématique qui permet à l'élève de mobiliser ses connaissances pour résoudre le problème, tester des hypothèses par l'expérience, collecter des données et en tirer des conclusions. Cette méthode est la plus utilisée pour enseigner le cours du circuit RC, car le dispositif expérimental est disponible au laboratoire. Dans cette section de l'étude, nous procédons à une comparaison entre deux sessions d'enseignement du circuit RC, l'une utilisant un matériel réel et l'autre utilisant une simulation interactive au moyen du simulateur crocodile Physics 605. Cela ne signifie pas absolument que nous essayons de trouver une alternative à l'utilisation de l'expérience réelle dans le processus d'enseignement et d'apprentissage, car nous connaissons le potentiel satisfaisant fourni par l'expérimentation réelle. Nous voulons seulement mettre en évidence les potentiels que la technologie de simulation interactive peut fournir, afin que le professeur puisse l'utiliser comme une alternative en l'absence de la possibilité de réaliser une expérience réelle. Cette étude a utilisé une approche expérimentale quantitative du pré-test et du post-test pour examiner la différence entre l'utilisation du simulateur crocodile Physics et avec des activités pratiques de l'expérience réelle sur l'apprentissage des concepts, et une approche qualitative par le traitement des résultats d'une enquête par entretien.

5.2.1 Pré-test et post-test

5.2.1.1 Pré-test

Un pré-test (Annexe 8) a été utilisé avec les deux groupes pour s'assurer de l'équivalence de leurs niveaux et évaluer le degré de maîtrise des pré-acquis. Ce test est composé de quatre QCM et d'un exercice sous forme de questions ouvertes.

5.2.1.2 Post-test

Le post-test repose sur un modèle d'évaluation conçu pour tester les compétences de compréhension et d'application que nous avons essayé de développer chez les élèves par l'intégration du simulateur crocodile Physics. La formulation détaillée du post-test est donnée dans l'annexe 9. Le post- test contient un questionnaire à choix multiples (QCM) et deux exercices d'application. Le but principal de ce test est d'évaluer les objectifs suivants :

- Maîtriser et exploiter la relation $q=c\ u_c$;
- Avoir connaissance de la capacité d'un condensateur ainsi que de son unité, farad (F) ;
- Calculer la capacité d'un condensateur à la fois de manière graphique et mathématique ;

- Être en mesure d'identifier les courbes de la tension u_c aux bornes du condensateur en fonction du temps ;
- Avoir connaissance que la tension aux bornes d'un condensateur est une fonction continue du temps ;
- Montrer l'impact de R et C sur les processus de charge et de décharge ;
- Calculer la constante de temps ;
- Maîtriser et utiliser l'expression de l'énergie électrique stockée dans un condensateur.

5.2.1.3 Echantillon

En partant d'un groupe de 50 élèves qui viennent tout juste de s'inscrire en deuxième année de baccalauréat scientifique option SP au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès ; elle a été menée à l'aide de deux groupes représentant deux classes différentes du même établissement durant l'année scolaire 2021-2022. Le groupe d'expérience réelle est composé de 25 élèves, et le groupe de simulation contient 25 élèves. Dans la salle multimédia, nous répartissons les élèves en groupes de trois ou quatre et nous mettons à leur disposition un ordinateur portable pour les accompagner tout au long du processus d'apprentissage.

5.2.1.4 Analyse des données du pré-test et post-test

Après avoir terminé l'activité pédagogique proposée, nous avons convié les deux groupes à répondre aux questions du pré-test et post-test sous forme de papier-crayon pour comparer leurs réponses. Les données collectées ont ensuite été analysées avec les statistiques **IBM SPSS 21** (logiciel d'analyse statistique), le test U non paramétrique de Mann-Whitney (McKnight et al., 2010 ; Nachar, 2008) a été utilisé pour comparer les groupes de deux échantillons indépendants, un niveau d'alpha de 0,05 a été utilisé tout au long de l'analyse des résultats. Les statistiques descriptives ont été utilisées pour résumer les données, notamment les pourcentages, la moyenne et l'écart type. En outre, la théorie statistique a été utilisée pour vérifier la différence significative entre les groupes participants concernant l'utilité de la simulation informatique.

5.2.2 Entretien

Afin de recueillir les appréciations et les opinions des apprenants du groupe de simulation, les données collectées se concentrent sur l'engagement de l'apprenant, sa motivation, les interactions entre les apprenants, et entre l'enseignant et l'apprenant. Les élèves du groupe expérimental sont invités à répondre á toutes les questions :

5.2.2.1 Évaluation de la motivation

- Pensez-vous que le simulateur crocodile Physics vous aide à mieux comprendre le cours par rapport à La méthode traditionnelle ?
- Trouvez-vous le simulateur crocodile Physics plus pratique par rapport à la méthode traditionnelle ?
- Pensez-vous que ce cours serait meilleur en utilisant un autre outil technologique ?
- Préférez-vous utiliser plus souvent des simulations interactives en physique ?

5.2.2.2 Évaluation de l'engagement

- Vos suggestions de solutions aux différents problèmes soulevés par l'activité ont-elles été multiples ?
- Avez-vous utilisé plusieurs stratégies pour résoudre les différents problèmes identifiés dans l'activité ?
- Aviez-vous envie d'arrêter ou de répéter l'expérience lorsque vous ne compreniez pas ?

5.2.2.3 Évaluation de l'interaction

- En comparaison avec la méthode traditionnelle, l'utilisation du simulateur crocodile Physics contribue-t-elle à accroître les interactions entre vous ?
- En comparaison avec la méthode traditionnelle, l'utilisation du simulateur crocodile Physics minimise-t-elle vos interactions avec l'enseignant ?

La méthodologie utilisée dans cette étude implique des entretiens avec les enseignants de SP du lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès.

5.2.2.4 Analyse des données de l'entretien

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel **SPHINX v5**, permettant ainsi la présentation des statistiques descriptives pour chaque libellé.

5.2.3 1.11.4 Résultats et discussion

5.2.3.1 Résultats du pré-test

5.2.3.1.1 Statistiques descriptives et tests de normalité

Le tableau 20 présente les résultats du pré-test des deux groupes :

Tableau 20. Statistiques descriptives (pré-test)

		N	Moyenne	Écart-type	Erreur standard moyenne
Les groupes	Groupe d'expérience	25	15,5600	2,67831	,53566
	Groupe de simulation	25	15,2000	2,44949	,48990

Le traitement de ces résultats, la moyenne des élèves du groupe d'expérience au pré-test est m = 15,56 alors que celle des élèves du groupe de simulation est m = 15,20; la différence est d'environ 0,36. Pour vérifier si cette différence est significative et rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle aucune différence significative n'existait entre les deux groupes au moment du pré-test, nous avons utilisé le test U de Mann-Whitney (au tableau 20, la distribution des valeurs ne suit pas la distribution normale car la valeur p de Shapiro-Wilk est inférieure au niveau alpha choisie 0,05) pour comparer les moyennes de deux échantillons indépendants. L'hypothèse nulle est la suivante :

H_0 : la différence entre les moyennes des élèves du groupe d'expérience et du groupe de simulation n'est pas significative.

Les résultats du test sont présentés dans le tableau 21 :

Tableau 21. Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistique	ddl	Sig.	Statistique	ddl	Sig.
Groupe d'expérience	,177	25	,042	,851	25	,002
Groupe de simulation	,188	25	,023	,879	25	,007

5.2.3.1.2 Test U de Mann-Whitney d'échantillons indépendants

Le tableau 22 expose les résultats de la comparaison :

La signification asymptotique (bilatérale) du test U de Mann-Whitney supérieure au niveau alpha est choisie, Asymp. Sig (2-tailed) de 0,504 n'implique pas le rejet de l'hypothèse nulle ; on peut ainsi estimer que les groupes testés ne présentent pas de différence significative, cela démontre que les deux groupes ont un niveau de compétences identique, ce qui était attendu étant donné qu'ils ont tous deux reçu la même formation avant le pré-test et nous permet de valider notre modèle expérimental sur la base d'un pré-test et d'un post-test.

Tableau 22. Test U de Mann-Whitney

	Les groups
U de Mann-Whitney	278,500
W de Wilcoxon	603,500
Z	-,668
Signification asymptotique (bilatérale)	,504

5.2.3.2 Résultats du post-test

5.2.3.2.1 Statistiques descriptives et tests de normalité

Le tableau 23 affiche les résultats du post-test des deux groups :

Tableau 23. Statistiques descriptives (post-test)

		N	Moyenne	Écart-type	Erreur standard moyenne
Les groupes	Groupe d'expérience	25	15,8400	1,77200	,35440
	Groupe de simulation	25	16,0000	2,10159	,42032

Les résultats montrent que la moyenne des élèves du groupe de simulation au post-test est m = 16 alors que celle des élèves du groupe d'expérience est m = 15,84; la différence est d'environ 0,16 vérifier si cette différence est significative et rejeter hypothèse nulle que le dispositif éducatif testé n'avait aucun effet sur les résultats des élèves, nous avons utilisé le test U de Mann-Whitney (au tableau 23, la distribution des valeurs ne suit pas la distribution normale car la valeur p de Shapiro-Wilk est inférieure au niveau alpha choisie 0,05).

Les résultats du test sont présentés dans le tableau 24 :

Tableau 24. Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistique	ddl	Sig.	Statistique	ddl	Sig.
Groupe d'expérience	,144	25	,195	,961	25	,444
Groupe de simulation	,220	25	,003	,795	25	,000

5.2.3.2.2 Test U de Mann-Whitney d'échantillons indépendants

Les résultats de la comparaison sont présentés dans le tableau 25 : la signification asymptotique (bilatérale) du test U de Mann-Whitney supérieure au niveau alpha est choisie, Asymp. Sig (2-tailed) de 0,447 n'implique pas le rejet de l'hypothèse nulle ; nous pouvons conclure qu'il n'y a pas de divergence significative entre les groupes testés, d'admettre que l'utilisation du simulateur crocodile Physics 605 dans l'étude du circuit RC, a eu un effet similaire de l'étude par l'expérience de laboratoire sur l'apprentissage des élèves.

Tableau 25. Test U de Mann-Whitney

	Les groups
U de Mann-Whitney	274,000
W de Wilcoxon	599,000
Z	-,761
Signification asymptotique (bilatérale)	,447

5.2.3.2.3 Analyse des réponses des élèves aux questions du post-test

Selon les résultats du post-test (Annexe 9) présentés dans le tableau 26, nous observons que la plupart des élèves du groupe d'expérience et groupe de simulation ont des réponses correctes sur les questions (Q1 de QCM, Q2 de QCM, Q3 de QCM, Q4 de QCM, Q5 de QCM) et le taux de réponses justes supérieur à 50 %. Nous observons aussi que la différence du taux de réponses justes de deux groupes pour la question Q1 de QCM qui traite la variation de la tension aux bornes du condensateur avec la charge d'un condensateur(1%), la question Q2 de QCM qui traite la variation de l'intensité du courant dans le condensateur avec la charge d'un condensateur (2%), la question Q3 de QCM qui détermine la valeur de la tension aux bornes du condensateur (2%), la question Q4 de QCM qui analyse l'influence de la résistance R sur la charge du condensateur (3%) et la question Q5 de QCM qui détermine la valeur de la constante de temps (1,5%). Pour ces questions, la différence du taux de réponses des élèves de deux groupes est presque égale.

Tableau 26. Réponses correctes des deux groupes : expérience et simulation

	Les groupes	
	Groupe d'expérience	Groupe de simulation
Q1 de QCM	81,0%	80,0%
Q2 de QCM	79,0%	77,0%
Q3 de QCM	80,0%	82,0%
Q4 de QCM	89,0%	86,0%
Q5 de QCM	85,0%	87,5%

5.2.3.3 Entretien

5.2.3.3.1 Analyse de l'entretien

5.2.3.3.1.1 Évaluation de la motivation

La motivation de l'élève est une préoccupation majeure pour les chercheurs qui s'intéressent au processus d'apprentissage par une simulation. Selon Zimmerman (1992), la motivation correspond à un ensemble de facteurs qui encouragent les apprenants à s'impliquer activement dans le processus d'apprentissage, à adopter des attitudes et des comportements favorables à la réalisation des objectifs pédagogiques, et à persévérer malgré les obstacles rencontrés. De même, il est généralement admis que la motivation de l'apprenant est un élément clé pour développer ses compétences (Audet, 2009 ; Forget, 2015), car l'acquisition de nouvelles connaissances peut s'avérer difficile.

D'après la théorie de l'autodétermination (Ryan & Deci, 2000), la motivation intrinsèque d'une personne est influencée par deux facteurs principaux : le plaisir d'une action et l'intérêt qu'elle peut procurer. A partir de cette idée psychologique, nous avons préparé la liste des questions pour évaluer la motivation de l'élève :

- Pensez-vous que le simulateur crocodile Physics vous aide à mieux comprendre le cours par rapport à la méthode traditionnelle ?
- Trouvez-vous le simulateur crocodile Physics plus pratique par rapport à la méthode traditionnelle ?
- Pensez-vous que ce cours serait meilleur en utilisant un autre outil technologique ?
- Préférez-vous utiliser plus souvent des simulations interactives en physique ?

D'après l'examen des données collectées lors de l'entretien, il ressort que les élèves sont assez motivés pour apprendre en utilisant le simulateur Crocodile Physics. La plupart des élèves ont apprécié la simulation du circuit RC à l'aide le simulateur crocodile Physics. La figure 25 illustre ces résultats.

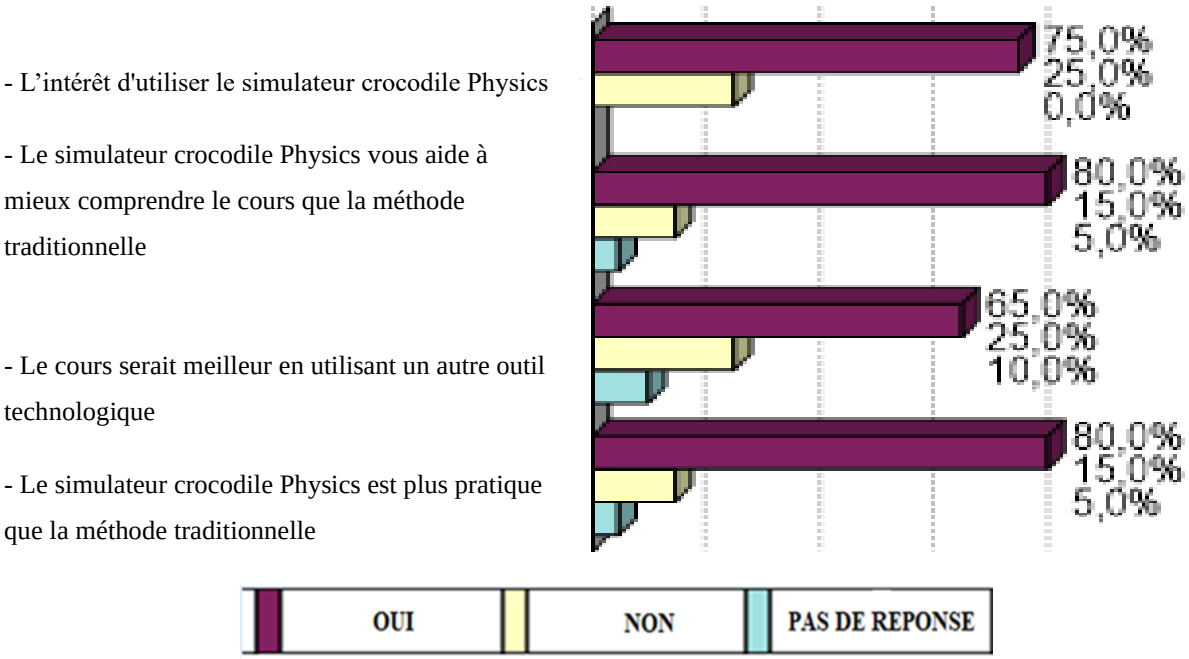


Figure 25. L'évaluation de la motivation à utiliser le simulateur crocodile Physics

En fait, 75 % des élèves aiment utiliser le simulateur crocodile Physics dans ce cours, l'enseignement à l'aide du simulateur crocodile Physics a rendu plus pratique selon 80 % des élèves, 80% des apprenants préfèrent utiliser fréquemment simulateur crocodile Physics dans le processus d'apprentissage. 65 % sont intéressés par l'apprentissage avec une autre technologie. Ces résultats témoignent de la motivation des élèves à apprendre à l'aide du simulateur Crocodile Physics. De plus, ces résultats confirment les observations en classe ainsi que de nombreuses études antérieures, qui ont montré que la méthode d'enseignement traditionnelle ne suscite aucune motivation chez les élèves (Zheng, 2019). Par conséquent, le simulateur crocodile Physics est capable d'améliorer le processus d'apprentissage pédagogique d'électricité grâce à ses puissantes ressources, de sorte qu'elle peut générer la motivation requise pour les élèves.

5.2.3.3.1.2 Évaluation de l'engagement

Lors de l'étude de l'impact des TIC sur la motivation des élèves, il convient de considérer l'engagement des élèves. La plupart des recherches menées pour évaluer l'engagement des élèves dans le programme d'enseignement, sont principalement basées sur la stratégie d'autorégulation, où l'élève est responsable de sa propre acquisition de connaissances. D'après Jezegou (2013) l'autorégulation est la capacité de l'élève à contrôler et à modifier sa propre activité cognitive. En effet, l'élève motivé qui traduit sa motivation en un engagement susceptible de favoriser son apprentissage. D'après certains auteurs

Chapman (2003), Fredricks et al. (2004) l'engagement peut prendre l'une des dimensions suivantes :

- L'engagement affectif : lorsqu'un élève trouve du plaisir dans ce qu'il fait, il se demande si les activités sont utiles ou non ;
- L'engagement cognitif : l'utilisation consciente des stratégies d'apprentissage appropriées ;
- L'engagement comportemental : l'élève a tendance être proactif, expliquer la tâche aux autres élèves et réexpérimenter si nécessaire avec de nouvelles conditions.

En partant de ce contexte, nous mesurons l'engagement dans notre étude à travers les questions suivantes :

- Est-ce que vos suggestions de solutions aux différents problèmes soulevés sont multiples ?
- Avez-vous utilisé plusieurs stratégies pour résoudre les différents problèmes dans l'activité ?
- Est-ce que vous pouvez d'arrêter ou de répéter l'expérience lorsque vous ne comprenez pas ?

Les résultats recueillis à partir de ces questions sont les suivants (Figure 26) :

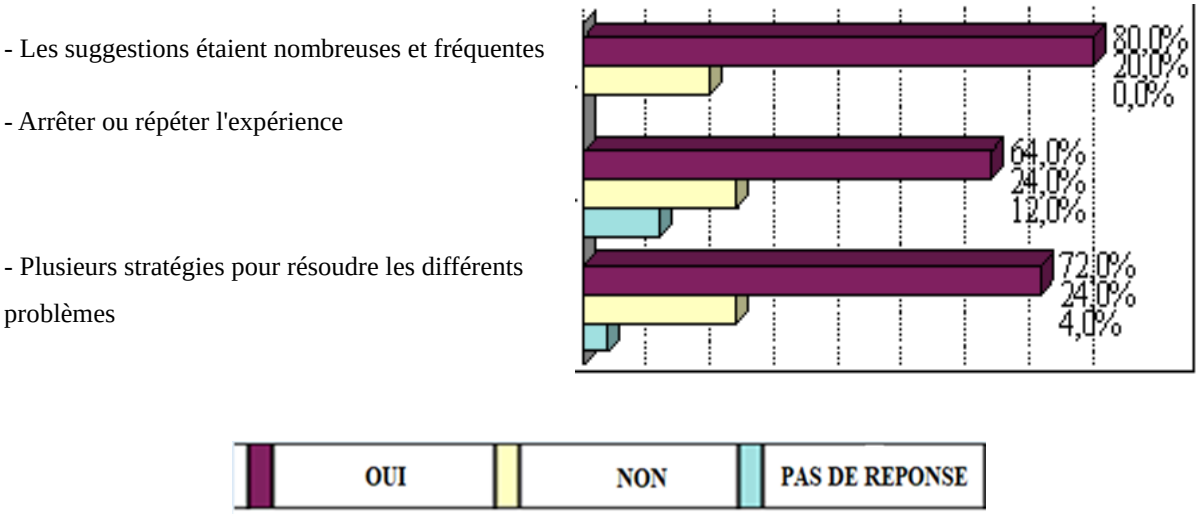


Figure 26. Statistiques relatives à l'engagement des élèves dans leur apprentissage

Les statistiques présentées dans la figure 27 confirment l'effet positif du simulateur crocodile Physics sur l'engagement des élèves dans leur parcours d'apprentissage. En effet, 72 % des élèves confirment il y a plusieurs stratégies pour résoudre les problèmes proposés ; ce qui leur permet de développer leur méthodologie et leur aptitude à résoudre des problèmes.

Ainsi, 80 % confirment que leurs suggestions étaient multiples. Cela indique que l'élève a le sentiment d'être un partenaire précieux dans le processus d'apprentissage, et d'avoir une grande responsabilité face aux problèmes rencontrés. Pour cette raison, leurs suggestions ne peuvent pas résoudre les problèmes de l'activité, l'élève peut confirmer cette suggestion ou la corriger, ce qui l'aide à accroître la confiance en ses capacités et à améliorer son bagage de connaissances. Ce processus est rarement présent dans les méthodes traditionnelles où l'élève n'est qu'un récepteur. De plus, le simulateur crocodile Physics dirige 64% des élèves d'arrêter l'expérience ou à la répéter si nécessaire.

En résumé, le cours utilisant le simulateur crocodile Physics est généralement motivant et engageant ; le processus d'apprentissage est passé d'un fonctionnement à sens unique à un processus coopératif ; et l'élève devient plus actif tout au long du processus. Cette conclusion confirme que les simulations sont souvent des instruments pédagogiques utiles, captivants et performants pour les élèves (Perkins et al., 2006).

5.2.3.3.1.3 Évaluation de l'interaction

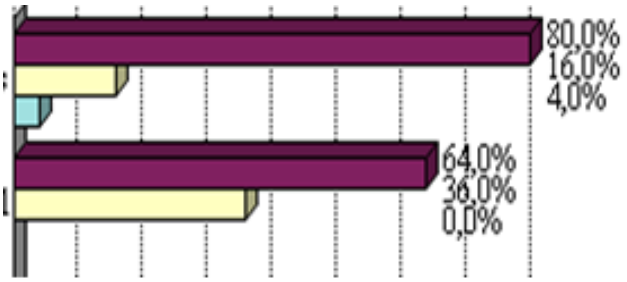
En effet, les interactions inter-élèves favorisent le processus d'apprentissage et développent les compétences de communication et d'argumentation. Par conséquent, l'enseignement et l'apprentissage en classe visent à améliorer l'efficacité de ce type d'interactions, au lieu des interactions enseignant-élève qui sont normalement réduites. L'évaluation de l'interaction est donc réalisée à l'aide de deux questions importantes :

- Est-ce que l'utilisation du simulateur crocodile Physics contribue à accroître les interactions entre vous et vos collègues, par rapport à la méthode traditionnelle ?
- Est-ce que l'utilisation du simulateur crocodile Physics minimise vos interactions avec l'enseignant, par rapport à la méthode traditionnelle ?

Les données recueillies à partir de ces deux questions sont organisées et présentées dans la figure 27 ; le premier coup d'œil rapide montre que les résultats sont plutôt encourageants :

- Les interactions entre les élèves ont été nombreuses

- L'interaction avec l'enseignant était minimale



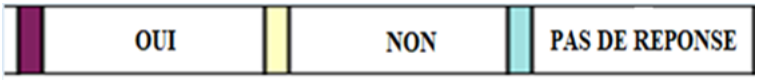


Figure 27. Évaluation des interactions élève- élève et professeur- élève

Les résultats présentés dans la figure 28 indiquent qu'environ 64% des élèves affirment que l'utilisation du simulateur crocodile Physics contribuer à minimiser leurs interactions avec le professeur. D'autre part, 80 % des élèves ont déclaré que le cours était riche grâce au processus d'échange entre les élèves. En outre, l'emploi de cet outil pédagogique aide les élèves à s'intégrer à l'environnement social d'apprentissage. Ainsi, nous pouvons confirmer que l'adoption du simulateur crocodile Physics améliore le processus d'échange interactif entre les élèves. En général, les élèves ont besoin d'un outil pour interagir les uns avec les autres. En ce sens, l'utilisation du simulateur crocodile Physics en classe peut être un bon outil.

5.2.3.3.1.4 Opinion des professeurs

Dans cette section, nous collectons les informations provenant des enseignants de SP travaillant au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès, qui ont pris part à l'enquête de la question ouverte. Du point de regard du professeur, nous avons observé une fluidité et une réduction significative des tâches d'enseignement en comparaison avec la méthode traditionnelle, puisque nous ne sommes pas sollicités par les groupes que dans certaines situations spécifiques, notre rôle se limite donc à superviser et animer la séance. Cette expérience nous permet également d'enregistrer que les élèves sont très motivés, ainsi qu'un niveau élevé d'interactions inter-professeur pour discuter des simulations, et pour répondre à l'exercice que nous avons intégré dans le scénario pédagogique. Cette expérience a réussi grâce aux facilités offertes par les simulations, qui permettent aux apprenants de travailler à leur propre rythme et de développer une certaine autonomie (El Hajjami et al., 2000). Mais il y a les inconvénients sont que les élèves ne manipulent que manuellement, ne tracent pas les graphes eux-mêmes, ne font pas face aux erreurs de mesure.

Ces résultats sont interprétés avec le fait que les deux méthodologies d'enseignement-apprentissage permettent aux élèves d'améliorer leurs compétences cognitives, ceci montre qu'il ne peut pas remplacer l'expérience de laboratoire par le simulateur crocodile Physics; sauf au cas du manque des matériels et des composantes électroniques, en effet, la simulation informatique est un outil indispensable en électricité car elle permet de réaliser des expériences qui seraient autrement impossibles en raison du manque de matériel scientifique dans les laboratoires, et de remédier aux problèmes d'expériences longues à réaliser (Chekour

et al., 2015). La méthode de simulation offre à l'apprenant, si nécessaire, la possibilité de répéter l'expérience en utilisant de nouveaux paramètres ainsi que la possibilité de revoir chaque étape et donc d'avancer à son propre rythme (Ahaji et al., 2008). Rebmann et al. (2000) a également conclu que l'enseignement du cours de mécanique newtonienne à l'aide de simulations aide les élèves à acquérir et à développer de nouvelles compétences cognitives.

5.3 Etude de l'utilisation de la Simulation Interactive eduMedia dans l'apprentissage des Ondes Lumineuses au Secondaire

Afin d'encourager l'engagement actif de l'élève dans le processus d'apprentissage, l'enseignant peut adopter diverses méthodes pédagogiques. L'approche expérimentale consiste à présenter une situation problématique à l'élève, qui l'invite à réfléchir et à mobiliser ses connaissances pour résoudre le problème. Cette méthode encourage également l'élève à tester ses hypothèses en utilisant l'expérience, recueillir les résultats et donner les conclusions (Jameau et al., 2015). Cette méthode est la plus utilisée pour enseigner le cours des ondes mécaniques progressives, car le dispositif expérimental disponible dans le laboratoire. Dans cette section de l'étude, nous effectuons une comparaison entre deux sessions d'enseignement des ondes mécaniques progressives, l'une utilisant un matériel réel et l'autre utilisant une simulation interactive eduMedia. Cela ne signifie pas absolument que nous essayons de trouver une alternative à l'utilisation de l'expérience réelle dans le processus d'enseignement et d'apprentissage, car nous connaissons le potentiel satisfaisant fourni par l'expérimentation réelle. Nous voulons seulement mettre en évidence les potentiels que la technologie de simulation interactive peut fournir, afin que le professeur puisse l'utiliser comme une alternative en l'absence de la possibilité de réaliser une expérience réelle. Cette étude a utilisé une approche expérimentale quantitative du pré-test et du post-test pour examiner la différence entre l'utilisation d'une simulation interactive eduMedia et des activités pratiques de l'expérience réelle sur l'apprentissage des concepts, et une approche qualitative par le traitement des résultats d'une enquête par entretien.

5.3.1 Pré-test et post-test

5.3.1.1 Pré-test

Un pré-test (Annexe 10) a été utilisé avec les deux groupes pour s'assurer de leur équivalence et évaluer le degré de maîtrise des pré-acquis. Ce test est composé neuf QCM et un exercice sous forme de questions ouvertes. Cet instrument a été développé et piloté auprès de 24 élèves, et sa fiabilité a été estimée au moyen du coefficient de cohérence interne alpha

de Cronbach. Il s'est avéré que le score de fiabilité était de 0.71, ce qui indique un coefficient de fiabilité acceptable.

5.3.1.2 Post-test

Le post-test est basé sur un modèle d'évaluation conçu pour tester les compétences de compréhension et d'application que nous avons tenté de favoriser chez les élèves l'acquisition de compétences à travers l'intégration d'une simulation interactive eduMedia. La formulation détaillée du post-test est donnée dans l'annexe 11. Le post- test contient neuf QCM et un exercice d'application sous forme de questions ouvertes. Cet instrument a été piloté auprès de 24 élèves, et sa fiabilité mesurée au moyen du coefficient alpha de Cronbach a été satisfaisante (α de Cronbach=0,73). Les QCM et l'exercice consiste les notions suivantes :

- La lumière se propage, soit dans des milieux transparents, soit dans le vide ;
- La dispersion de la lumière à travers l'utilisation d'un prisme ;
- Pouvoir utiliser et tirer profit de la relation $\lambda = c/v$;
- Donner les définitions de la lumière monochromatique et de la lumière polychromatique ;
- Savoir quelles sont les limites de longueurs d'onde visibles dans le spectre électromagnétique et les couleurs correspondantes ;
- Il est possible de constater que la fréquence d'une onde électromagnétique monochromatique demeure invariable lors de sa traversée à travers différents milieux transparents ;
- Comprendre que les milieux transparents peuvent présenter différents niveaux de dispersion ;
- Pouvoir utiliser et tirer profit de la relation $n= c/v$;
- Trouver l'indice de réfraction d'un matériau transparent pour une fréquence spécifique.

5.3.1.3 Echantillon

En prenant un échantillon de 48 élèves qui viennent de s'inscrire en deuxième année du baccalauréat scientifique avec option SP au lycée Abdellah Laroui situé dans la ville de Fès, il a été constaté que leur âge moyen est de 17 ans ; elle a été menée à l'aide de deux groupes représentant deux classes différentes du même établissement durant l'année scolaire 2021-2022. Il y a 24 élèves dans le groupe d'expérience réelle, et le groupe de simulation contient 24 élèves. Dans la salle multimédia, nous divisons les élèves du groupe de simulation

en groupes de trois ou quatre élèves par un ordinateur, nous avons recours à un ordinateur portable pour soutenir les élèves tout au long de leur processus d'apprentissage.

5.3.1.4 Analyse des données du pré-test et post-test

Après avoir terminé l'activité pédagogique proposée, nous avons convié les deux groupes à répondre aux questions du pré-test et post-test sous forme de papier-crayon pour comparer leurs réponses. L'analyse statistique des données collectées a été réalisée à l'aide du logiciel **IBM SPSS 21**, le test U non paramétrique de Mann-Whitney (McKnight et al., 2010 ; Nachar, 2008) a été utilisé pour comparer les groupes de deux échantillons indépendants, un niveau d'alpha de 0,05 a été utilisé tout au long de l'analyse des résultats. Les statistiques descriptives ont été utilisées pour résumer les données, notamment les pourcentages, la moyenne et l'écart type. En outre, la théorie statistique a été utilisée pour vérifier la différence significative entre les groupes participants concernant l'utilité de la simulation numérique.

5.3.2 Entretien

Afin de recueillir les appréciations et les opinions des apprenants du groupe de simulation, les données collectées se concentrent sur la motivation de l'apprenant, les interactions entre les apprenants et entre l'enseignant et l'apprenant. Les élèves du groupe de la simulation sont invités à répondre sur toutes les questions :

5.3.2.1 La motivation des élèves

- Pensez-vous que la simulation interactive eduMedia vous aide à mieux comprendre le cours par rapport à la méthode traditionnelle ?
- Trouvez- vous la simulation interactive eduMedia plus pratique par rapport à la méthode traditionnelle ?
- Est-ce que la simulation interactive eduMedia est un outil complémentaire aux expériences réelles ?
- Préférez-vous utiliser plus souvent des simulations interactives en physique ?

5.3.2.2 L'interaction élève- élève et professeur- élève

- Est-ce que l'utilisation de la simulation interactive eduMedia augmente les interactions entre vous par rapport à la méthode traditionnelle ?
- Est-ce que l'utilisation de la simulation interactive eduMedia réduit vos interactions avec l'enseignant par rapport à la méthode traditionnelle ?

La méthodologie utilisée dans cette étude implique la réalisation d'entretiens avec six enseignants de SP travaillant au lycée Abdellah Laroui à Fès.

5.3.2.3 Analyse des données de l'entretien

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel **SPHINX v5**, ce qui a permis de générer des statistiques descriptives pour chaque libellé.

5.3.3 Résultats et discussion

5.3.3.1 Résultats du pré-test

5.3.3.1.1 Statistiques descriptives et tests de normalité

Le tableau 27 ci-dessous montre les résultats du pré-test pour les deux groupes :

Tableau 27. Statistiques descriptives (pré-test)

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Groupe d'expérience	24	8,00	18,00	15,0833	2,53526
Groupe de simulation	24	9,00	17,00	14,7500	2,04833

Le traitement de ces résultats, la moyenne des élèves du groupe d'expérience au pré-test est m = 15,08 alors que celle des élèves du groupe de simulation est m = 14,75; la différence est d'environ 0,33. Pour vérifier si cette différence est significative et rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle aucune différence significative n'existait entre les deux groupes au moment du pré-test, nous avons effectué le test U de Mann-Whitney (au tableau 28, la distribution des valeurs ne suit pas la distribution normale car la valeur p de Shapiro-Wilk est inférieure au niveau alpha choisie 0,05) pour confronter les moyennes de deux échantillons indépendants. L'hypothèse nulle est la suivante :

H_0 : la différence entre les moyennes des élèves du groupe d'expérience et du groupe de simulation n'est pas significative.

Tableau 28. Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistique	ddl	Signification	Statistique	ddl	Signification
Groupe d'expérience	,195	24	,019	,873	24	,006
Groupe de simulation	,257	24	,000	,863	24	,004

5.3.3.1.2 Test U de Mann-Whitney d'échantillons indépendants

Le tableau 29 présente les résultats issus de la comparaison effectuée : la signification asymptotique (bilatérale) du test U de Mann-Whitney supérieure au niveau alpha est choisie, Asymp. Sig (2-tailed) de 0,408 n'implique pas le rejet de l'hypothèse nulle ; en concluant qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes étudiés, cela indique que les deux

groupes possèdent des compétences similaires. Ce résultat était attendu, étant donné que les deux groupes ont suivi le même cours avant le pré-test, et cela nous permet de confirmer l'efficacité de notre modèle expérimental basé sur un pré-test et un post-test.

Tableau 29. Test U de Mann-Whitney

	Les groups
U de Mann-Whitney	248,500
W de Wilcoxon	548,500
Z	-,828
Signification asymptotique (bilatérale)	,408

5.3.3.2 Résultats du post-test

5.3.3.2.1 Statistiques descriptives et tests de normalité

Le tableau 30 ci-dessous présente les résultats du post-test des deux groupes :

Tableau 30. Statistiques descriptives (post-test)

	N	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Ecart type**
Groupe d'expérience	24	8,00	18,00	15,2083	2,53633
Groupe de simulation	24	10,00	19,00	15,7917	2,22592

Les résultats montrent que la moyenne des élèves du groupe de simulation au post-test est m = 15,79 alors que celle des élèves du groupe d'expérience est m = 15,20; la différence est d'environ 0,59 vérifier si cette différence est significative et rejeter hypothèse nulle que le dispositif éducatif testé n'avait aucun effet sur les résultats des élèves, nous avons effectué le test U de Mann-Whitney (au tableau 31, la distribution des valeurs ne suit pas la distribution normale car la valeur p de Shapiro-Wilk est inférieure au niveau alpha choisie 0,05).

Tableau 31. Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov			**Shapiro-Wilk**		
	Statistique	**ddl**	**Signification**	**Statistique**	**ddl**	**Signification**
Groupe d'expérience	,217	24	,005	,828	24	,001
Groupe de simulation	,204	24	,011	,903	24	,025

Les résultats de la comparaison sont présentés dans le tableau 32 : la signification asymptotique (bilatérale) du test U de Mann-Whitney supérieure au niveau alpha est choisie, Asymp. Sig (2-tailed) de 0,352 n'implique pas le rejet de l'hypothèse nulle ; on peut conclure que les groupes testés ne présentent pas de différence significative, et d'admettre que

l'utilisation de la simulation interactive eduMedia dans l'étude des ondes lumineuses, a eu un effet similaire de l'étude par l'expérience de laboratoire sur l'acquisition de connaissances par les élèves.

Ceci montre qu'il ne peut pas remplacer l'expérience de laboratoire par la simulation interactive eduMedia sauf au cas du manque des matériels, effectivement, la simulation informatique offre un intérêt considérable car elle permet de réaliser des expériences qui seraient autrement inaccessibles en raison d'un manque ou d'une absence de matériel scientifique dans les laboratoires.

Tableau 32. Test U de Mann-Whitney

	Les groups
U de Mann-Whitney	243,500
W de Wilcoxon	543,500
Z	-,931
Signification asymptotique (bilatérale)	,352

5.3.3.2.2 Analyse des réponses des élèves aux questions du post-test

Pour évaluer comment la simulation affecte la progression de certains processus cognitifs chez élèves, nous avons utilisé le test U de Mann-Whitney (dans ce cas, la distribution des valeurs ne suit pas la distribution normale car la valeur p de Shapiro-Wilk est inférieure au niveau alpha choisi) afin de comparer les résultats obtenus par les élèves en fonction des question QCM du post-test. Les résultats sont présentés dans le tableau 33 :

Tableau 33. Test U de Mann-Whitney

	Q1 de QCM	**Q2 de QCM**	**Q3 de QCM**	**Q4 de QCM**	**Q5 de QCM**	**Q6 de QCM**	**Q7 de QCM**	**Q8 de QCM**	**Q9 de QCM**
U de Mann-Whitney	264,00	216,00	264,00	264,00	276,00	252,00	204,00	276,00	216,00
W de Wilcoxon	564,00	516,00	564,00	564,00	576,00	552,00	504,00	576,00	516,00
Z	-,606	-2,110	-,573	-,579	-,288	-,924	-2,001	-,292	-1,738
Signification asymptotique (bilatérale)	,545	,035	,566	,562	,773	,355	,045	,770	,082

Selon ce tableau, la différence entre les groupes n'est pas significative ($p > 0.05$) pour les questions 1, 3, 4, 5, 6, 8 et 9 ; ainsi, la simulation utilisée n'a pas eu de valeur ajoutée en termes d'acquisition de connaissances. Contrairement à ce résultat, Joubert et al. (2000) ont conclu dans une étude relative à l'utilisation de simulations dans l'enseignement de la

mécanique newtonienne que ces simulations ont permis une amélioration des connaissances des élèves et que ces derniers ont montré plus de précision dans leur raisonnement.

En revanche, la différence entre les groupes était très significative ($p < 0.05$) en faveur du groupe de simulation en ce qui concerne les questions 2 et 7, donc une progression du niveau d'acquisition des compétences liées à la capacité cognitive d'application des élèves et à leur raisonnement.

Nous constatons aussi que la différence du taux de réponses justes de deux groupes (tableau 34), pour la question Q1 des questions à choix multiples (QCM) qui définit la nature d'une onde lumineuse (8,3 %), la question Q2 de QCM qui caractérise la lumière blanche et la lumière polychromatique (25 %), la question Q3 de QCM qui détermine l'indice optique n (4,2%), la question Q4 de QCM qui exploite la relation de la longueur d'onde, la fréquence et la vitesse de la lumière dans le vide (11,5 %), la question Q5 de QCM qui définit différentes longueurs d'onde du spectre visible (4,2%), la question Q6 de QCM qui détermine le lien entre les couleurs des lumières et les longueurs d'onde dans le vide (12,5%), la question Q7 de QCM qui explore la relation entre la longueur d'onde et la fréquence des radiations ultraviolet et violet (29,1 %), la question Q8 de QCM qui réalise la décomposition de la lumière blanche à l'aide d'un prisme (4,17%) et la question Q9 de QCM qui analyse le rôle de prisme (25%). Ces résultats confirment des analyses statistiques effectuées à l'aide du test U de Mann-Whitney ($p > 0,05$ pour les questions 1, 3, 4, 5, 6, 8 et 9 contre $p < 0,05$ pour les questions 2 et 7). Pour ces questions, la différence du taux de réponses correctes des élèves de deux groupes en général est presque égale.

Tableau 34. Réponses correctes des deux groupes : expérience et simulation

	Les groupes	
	Groupe d'expérience	**Groupe de simulation**
Q1 de QCM	62,5%	70,8%
Q2 de QCM	66,6%	91,6%
Q3 de QCM	58,3%	54,1%
Q4 de QCM	62,5%	51%
Q5 de QCM	54,1%	58,3%
Q6 de QCM	62,5%	75%
Q7 de QCM	37,5%	66,6%
Q8 de QCM	62,5%	58,33%
Q9 de QCM	29,1%	54,1%

5.3.3.3 Entretien

5.3.3.3.1 Analyse de l'entretien

5.3.3.3.1.1 La motivation des élèves

Selon Zimmerman (1992), la motivation des apprenants est constituée d'une combinaison de facteurs qui les incitent à s'engager activement dans le processus d'apprentissage, à adopter des attitudes et des comportements propices à l'atteinte des objectifs d'apprentissage, ainsi qu'à persévérer face aux obstacles. Par conséquent, la motivation des apprenants est un élément essentiel pour stimuler le développement de leurs compétences (Forget, 2015 ; Audet, 2009). En effet, il est difficile d'assimiler de nouveaux concepts, de les relier aux connaissances précédentes et de continuer à les maîtriser sans une motivation adéquate.

Suivant la théorie de l'autodétermination (Ryan & Deci, 2000), deux facteurs clés déterminent la motivation intrinsèque de l'individu : le plaisir d'une action et l'intérêt qu'elle peut procurer. A partir de cette idée psychologique, nous avons préparé la liste des questions pour évaluer la motivation de l'élève :

- Pensez-vous que la simulation interactive eduMedia vous aide à mieux comprendre le cours par rapport à la méthode traditionnelle ?
- Trouvez- vous la simulation interactive eduMedia plus pratique par rapport à la méthode traditionnelle ?
- La simulation interactive eduMedia est un outil complémentaire aux expériences réelles.
- Préférez-vous utiliser plus souvent des simulations interactives en physique ?

Le traitement des données collectées dans le cadre de l'entretien a démontré que les élèves sont assez motivés pour apprendre en utilisant la simulation interactive eduMedia. La plupart des élèves ont apprécié la simulation des ondes lumineuses à l'aide de la simulation interactive eduMedia. La figure 28 illustre ces résultats.

- L'intérêt d'utiliser la simulation interactive eduMedia

- La simulation interactive eduMedia vous aide à mieux comprendre le cours que la méthode traditionnelle.

- Le cours serait meilleur en utilisant une autre simulation informatique

- La simulation interactive eduMedia est plus pratique que la méthode traditionnelle.

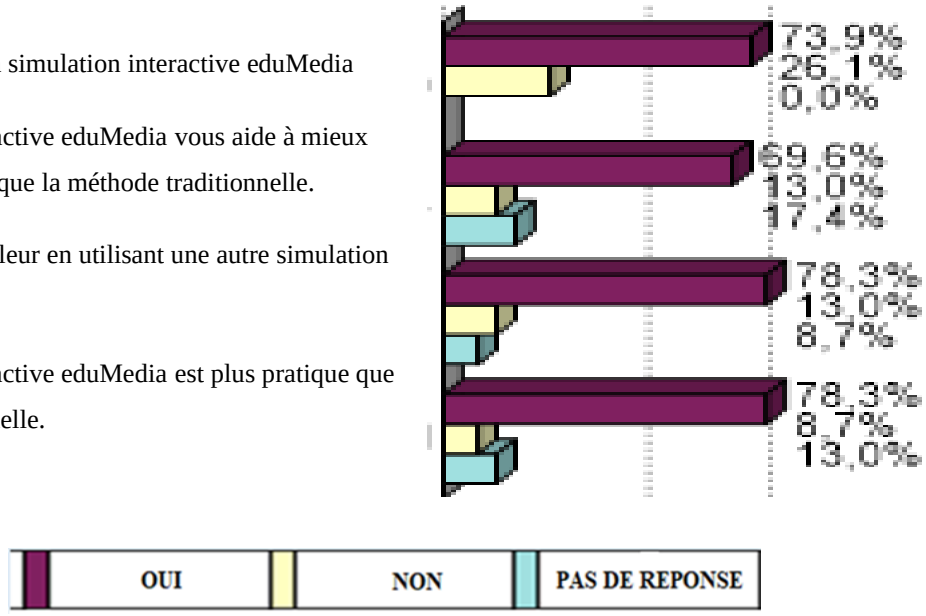


Figure 28. L'examen de la motivation à utiliser la simulation interactive eduMedia

Effectivement, 73% des élèves préfèrent utiliser la simulation interactive eduMedia dans ce cours, l'enseignement à l'aide de la simulation interactive eduMedia a rendu plus pratique selon 78,3 % des élèves, 69,6% des apprenants aiment utiliser fréquemment la simulation interactive eduMedia dans le processus d'apprentissage et 78,8 % sont intéressés par l'apprentissage avec une autre simulation informatique. Ces résultats attestent de la motivation des élèves à apprendre en utilisant la simulation interactive eduMedia. En outre, les résultats sont en accord avec les observations en classe et plusieurs études connexes qui ont démontré que la méthode d'enseignement traditionnelle ne suscite aucun intérêt chez les élèves (Zheng, 2019). Ainsi, grâce à ses ressources puissantes, la simulation interactive eduMedia a la capacité d'améliorer l'apprentissage pédagogique des ondes lumineuses, ce qui suscite la motivation nécessaire chez les élèves.

5.3.3.3.1.2 L'interaction élève- élève et professeur- élève

- Effectivement, les interactions entre les élèves favorisent l'apprentissage et contribuent au développement des compétences en communication et en argumentation. Par conséquent, l'objectif de l'enseignement en classe est d'améliorer la performance de ces interactions, plutôt que de se limiter aux interactions entre l'enseignant et l'élève. L'évaluation de ces interactions repose donc sur deux questions cruciales :

- Est-ce que l'utilisation de la simulation interactive eduMedia contribue à accroître les interactions entre vous et vos collègues, par rapport à la méthode traditionnelle ?

➢ Est-ce que l'utilisation de la simulation interactive eduMedia minimise vos interactions avec l'enseignant, en comparaison avec la méthode classique ?

Les résultats obtenus à partir de ces deux questions sont regroupés et présentés dans la figure 29. Une première observation rapide révèle des résultats encourageants :

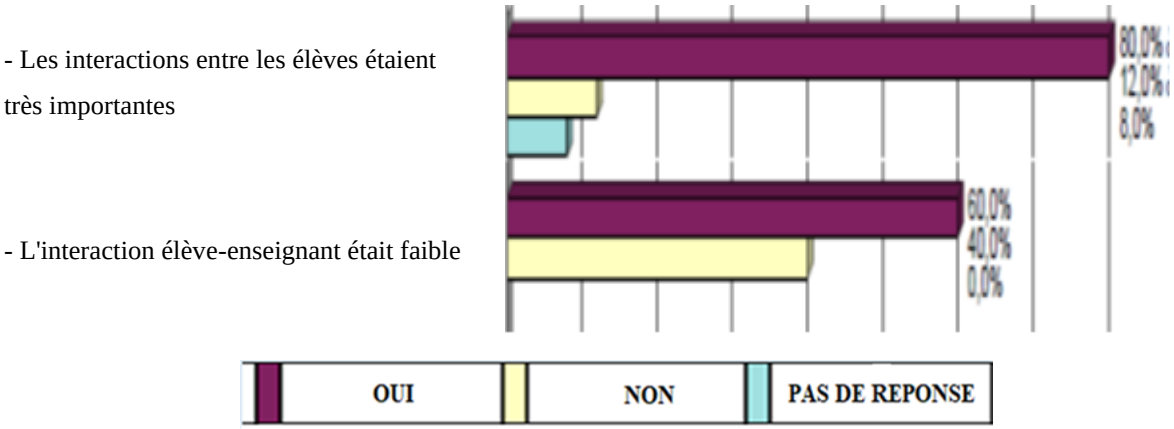


Figure 29. L'examen des interactions élève- élève et professeur- élève

Les données figurant dans la figure 30 montrent qu'environ 60% des élèves affirment que l'utilisation de la simulation interactive eduMedia contribuer à minimiser leurs interactions avec le professeur. D'autre part, 80 % des élèves ont déclaré que le cours était riche grâce au processus d'échange entre les élèves. De plus, l'utilisation de cette ressource pédagogique favorise l'intégration sociale des élèves dans leur environnement d'apprentissage. Par conséquent, nous pouvons affirmer que l'adoption de la simulation interactive eduMedia améliore l'interactivité entre les élèves dans le processus d'échange. En général, les élèves ont besoin d'un moyen de communiquer et d'interagir les uns avec les autres, ce qui fait de la simulation interactive eduMedia un outil précieux en classe.

5.3.3.3.1.3 Opinion des professeurs

Dans cette partie, nous recueillons les données des professeurs de SP du lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès, qui ont contribué à l'enquête de la question ouverte. Du point de vue des professeurs, nous avons observé une fluidité et une réduction significative des tâches d'enseignant par rapport à la méthode traditionnelle, puisque nous ne sommes pas sollicités par les groupes que dans certaines situations spécifiques, notre rôle se limite donc à superviser et animer la séance. Cette expérience témoigne d'une grande motivation de la part des élèves, ainsi qu'un niveau élevé d'interactions inter-professeur pour discuter des simulations, et pour répondre à l'exercice que nous avons intégré dans le scénario pédagogique. Les simulations offrent une flexibilité d'apprentissage qui permet aux

apprenants d'adopter leur propre rythme, ce qui garantit une certaine autonomie d'apprentissage. Cette flexibilité est considérée comme la clé du succès de cette expérience (El Hajjami et al., 2000).

5.3.3.4 DISCUSSION

Dans ce travail, les élèves du groupe de simulation, qui ont utilisé la simulation interactive eduMedia, ont généralement réussi de répondre plus efficacement aux questions 2 et 7. Les réponses au post-test confirment que ces élèves de deux groupes ont également acquis mêmes compétences concernant les ondes lumineuses, on peut déduire que l'utilisation de la simulation interactive et l'expérimentation réelle ont eu un impact similaire sur les performances et les compétences des élèves. De même, Ben Ouahi et al. (2022) qui ont précédemment testé la simulation interactive PhET (Physics Education Technology) dans l'enseignement et l'apprentissage des élèves, ont confirmé que l'utilisation de simulations interactives dans l'enseignement des sciences au Maroc peut améliorer les activités d'apprentissage et aider les élèves à comprendre efficacement les concepts scientifiques comme l'utilisation de l'expérience réelle. Mrani et al. (2020) ont montré aussi que les simulations PhET ont un effet remarquable sur l'acquisition et l'application de nouvelles connaissances dans la leçon sur la poussée d'Archimède.

Plusieurs recherches menées dans des disciplines expérimentales qui ont également montré un développement des performances et de la compréhension des apprenants. Dans le même sens, Selon l'étude menée par White et Frederiksen (2000), l'utilisation de la simulation informatique en physique a entraîné une meilleure compréhension et interprétation des forces en mouvement chez les élèves du secondaire par rapport aux élèves de l'enseignement supérieur ayant reçu une formation classique. Par ailleurs, Droui et al. (2013) ont rapporté les effets positifs de l'utilisation d'une simulation des lois newtoniennes dans un contexte de résolution de problèmes sur la compréhension conceptuelle mécanique newtonienne. A propos de, Zacharia (2007) indique que le remplacement de l'expérimentation réelle par l'expérimentation virtuelle pendant une partie spécifique de l'expérience a une influence positive sur la compréhension conceptuelle des circuits électriques par les élèves. Cette affirmation est soutenue par plusieurs recherches, l'utilisation d'une simulation peut développer la compréhension des concepts de physique par les élèves (Bozkurt & Ilik, 2010 ; Sarabando et al., 2014 ; Arias et al., 2020 ; Wieman et al., 2008 ; Price et al., 2018) ont aussi montré que la simulation apporte une valeur ajoutée en permettant des activités qui ne sont pas possibles avec le matériel de classe, et

aide à surmonter les obstacles logistiques et le manque d'équipement de laboratoire. De même, Van Riesen et al. (2018) affirment que les expériences peuvent amener les élèves à construire leurs connaissances, les aider à comprendre le monde qui les enveloppe et les aider à résoudre éventuellement les problèmes. L'apprentissage participatif par la simulation informatique peut améliorer de manière significative les capacités des élèves pour résoudre des problèmes et de pensée créative (Simanjuntak et al., 2021). D'autres enquêtes ont indiqué que l'utilisation de simulations informatiques était moins efficace que l'enseignement traditionnel et les approches pratiques en laboratoire (Michael, 2001 ; Marshall et al., 2006).

En outre, les résultats de cette étude montrent une amélioration considérable de certains autres indicateurs tels que la motivation et l'interaction entre les élèves par rapport à la méthode classique, nous avons remarqué une forte motivation chez les élèves qui communiquaient et interagissaient de plus en plus les uns avec les autres. Ce résultat est soutenu par Durán et al. (2007), qui se sont concentrés sur les domaines cognitif et affectif, afin d'étudier les effets d'une simulation informatique sur la motivation, l'interaction et la participation des élèves. Gambari et al. (2016) ont constaté que les élèves utilisant une simulation informatique avaient de meilleures performances, et ils ont recommandé aux enseignants de chimie d'utiliser des simulations informatiques pour améliorer les performances et la motivation de leurs élèves dans cette matière.

Par ailleurs, Ben Ouahi et al. (2022) ont également révélé que le manque d'outils technologiques, le manque de formation continue et les problèmes liés aux approches pédagogiques du système éducatif sont des obstacles majeurs qui influencent la motivation des enseignants à utiliser les simulations interactives en classe. Les nombreuses études antérieures qui ont confirmé que l'absence ou l'insuffisance d'équipements technologiques dans la salle de sciences et l'indisponibilité de salles informatiques sont d'énormes contraintes à la bonne utilisation de la simulation (Taoufik et al., 2016 ; Mahdi et al., 2018).

L'importance de cette étude est de pousser le MEN à adopter le programme de simulation interactive en cas de manque de matériel expérimental dans le laboratoire.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Après avoir succinctement rappelé les bases de cette étude, y compris ses questions de recherche, nous présentons tout d'abord une récapitulation des résultats les plus importants. Ensuite, nous discutons des limites de cette recherche, avant de suggérer des axes de recherche à explorer dans l'avenir.

D'après nos travaux menés sur les perceptions des enseignants sur l'utilisation de l'ExAO (Hamamous & Benjelloun, 2023), on peut conclure que les résultats obtenus nous permettent de répondre à la question de départ que nous avons posée. En effet, cette recherche montre que l'usage de l'ExAO en classe par les professeurs dans leurs travaux pratiques est restreint. Le travail montre que la majorité des enseignants de SP manifestent un fort intérêt pour l'ExAO. Cette méthode joue un rôle important dans la compréhension et l'assimilation des concepts scientifiques, et peut contribuer à améliorer l'attention et la motivation des élèves. En outre, l'ExAO peut favoriser l'esprit d'initiative chez les apprenants. Les résultats indiquent que les principaux obstacles à l'utilisation de l'ExAO en physique dans les lycées des AREF de Fès-Meknès ainsi que des directions provinciales de Casablanca et Guercif au Maroc sont les suivants :

- Formation insuffisante des enseignants ;
- Manque de maintenance régulière des équipements ;
- Surnombre des élèves en classe ;
- Manque de logiciels spécialisés ;
- Manque d'équipements dans les établissements.

Notre deuxième axe de recherche a porté sur l'impact de l'utilisation de l'ExAO sur l'apprentissage des élèves. Les données statistiques ont été recueillies auprès de 40 élèves en deuxième année de baccalauréat option SVT au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès, en utilisant une méthodologie pré-test et post-test avec un groupe expérimental et un groupe de contrôle. Les résultats ont révélé qu'aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes lors du pré-test. Toutefois, lors du post-test après l'utilisation de l'ExAO, une différence statistiquement significative a été constatée entre le groupe expérimental et le groupe de contrôle, car la valeur p de test t de student est inférieure au niveau alpha sélectionné ($p < 0,05$) ; une p-value de 0,01 a permis de rejeter l'hypothèse nulle et de conclure que l'intégration de l'ExAO dans l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC a eu un impact positif sur la performance des élèves. Les résultats ont montré que les élèves du groupe expérimental ont obtenu des résultats supérieurs à ceux du groupe de contrôle (Hamamous & Benjelloun, 2023). L'utilisation de l'ExAO présente de nombreux avantages,

notamment 75% des élèves déclarent gagner du temps grâce à son utilisation. De plus, 90% des élèves affirment qu'ils ont été plus motivés et qu'ils ont mieux compris les concepts scientifiques étudiés. En outre, 80% des élèves estiment que l'ExAO facilite le travail d'équipe et la résolution de problèmes. Quant à 85% des élèves, ils considèrent que cette approche pédagogique favorise l'apprentissage autonome et le développement du sens critique par la confrontation de la théorie avec les résultats de l'expérience. Enfin, 65% des élèves pensent que l'utilisation de l'ExAO contribue à simplifier le concept d'incertitude de la mesure. Les analyses quantitatives et qualitatives des résultats ont confirmé que l'intégration pédagogique de l'ExAO a eu un effet positif sur la compréhension des élèves.

Le troisième axe de notre travail a permis d'identifier l'effet d'utilisation du simulateur Electronics Workbench (EWB) dans l'étude de la modulation et la démodulation d'amplitude sur l'apprentissage des élèves. En utilisant la méthodologie pré-test et post-test avec un groupe expérimental et un groupe de contrôle, nous avons collecté des données auprès de 50 élèves de deuxième année du baccalauréat scientifique option SP du lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes lors du pré-test. Après avoir utilisé le simulateur Electronics Workbench (EWB) lors du post-test, il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre le groupe expérimental et le groupe de contrôle, car la valeur p de test t de student est supérieure au niveau alpha sélectionné ($p > 0,05$) ; une p-value de 0,66 ne permet pas de rejeter l'hypothèse nulle et d'admettre que l'utilisation du simulateur Electronics Workbench (EWB) et les expériences de laboratoires peuvent mener à des objectifs similaires dans l'étude de la démodulation d'amplitude. Le simulateur EWB peut constituer une solution alternative pour réaliser des expériences inaccessibles. Les conclusions de cette étude révèlent également que les élèves sont fortement encouragés à intégrer l'utilisation du simulateur dans leur apprentissage des concepts liés à l'électricité. Cependant, ce simulateur ne peut pas remplacer les expériences de laboratoires. 85% des élèves interviewés déclarent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) est facile à exploiter. La majorité (79 %) de ces élèves pensent que l'utilisation de Electronics Workbench (EWB) nécessite peu de connaissances en informatique, aussi (72%) des élèves interviewés jugent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) peut contribuer à la compréhension des concepts liés à l'électricité et 98 % des élèves déclarent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) est un outil complémentaire aux expériences réelles. La majorité des professeurs interviewés (76,6 %) déclarent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) peut susciter un conflit cognitif.,

85 % des enseignants jugent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) augmente le rendement des élèves, 80 % des participants confirment que le simulateur Electronics Workbench (EWB) simplifie des systèmes réels étudiés , 80 % des professeurs interviewés déclarent que le simulateur Electronics Workbench (EWB) peut faciliter la compréhension des principes fondamentaux de l'électricité.

Dans la quatrième étude de ce travail, nous avons montré l'impact encourageant du simulateur crocodile Physics dans l'apprentissage de l'électricité, notamment pour le niveau secondaire marocain. Nous avons choisi le circuit RC comme cible d'étude. Nous avons pu émettre les conclusions suivantes :

- Les performances des deux méthodes d'enseignement (expérience réelle et avec le simulateur crocodile Physics) ont été convaincantes, en particulier pour acquérir et appliquer les nouvelles connaissances liées au cours sur le circuit RC. Par ailleurs, la différence entre les deux méthodes était minime, ce qui fait du simulateur crocodile Physics un véritable outil concurrent de l'expérience réelle, avec des résultats comparables. Cet impact impressionnant souligne l'importance des simulations pour apprendre, étudier et enseigner les phénomènes physiques complexes et dynamiques, surtout en cas d'un manque de matériel et d'équipement dans le laboratoire de l'établissement pour l'expérience réelle. Ces résultats sont conformes aux recherches antérieures de Trundle & Bell (2010), Smetana & Bell (2012), Rutten et al. (2012). La combinaison de la simulation avec l'expérience réelle permet aux élèves d'expérimenter de nouvelles pédagogies plus contraignantes et leur fournit un environnement d'apprentissage exploratoire où ils pourront apprendre différents concepts de physique (Hursen & Asiksoy, 2015) ;
- Par rapport à la méthode classique, le simulateur crocodile Physics améliore le processus d'apprentissage, motive les élèves pendant le cours, augmente les interactions entre les élèves et renforce l'engagement de ces derniers dans le processus d'apprentissage.

Ghasemzadeh & Bahrami (2022) ont analysé un total de 76 études publiés entre 1990 et 2022 qui avaient étudié l'effet des simulations sur l'enseignement des sciences. Il a été constaté que tous les articles examinés ont conclu que l'usage de simulations avait des conséquences bénéfiques.

L'objectif de notre dernière étude a consisté à mieux comprendre l'effet de l'utilisation de la simulation interactive eduMedia dans l'étude des ondes lumineuses sur l'apprentissage des élèves. Les données statistiques ont été collectées à partir des réponses des élèves de

deuxième année de baccalauréat scientifique option SP au lycée Abdellah Laroui de la ville de Fès, en appliquant la méthode du pré-test et post-test sur un groupe utilisant la simulation et un groupe utilisant l'expérience, il a été observé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes lors du pré-test. Après avoir utilisé la simulation interactive eduMedia, aucun écart statistiquement significatif n'a été constaté entre le groupe utilisant la simulation et celui utilisant l'expérience lors du post-test, car la signification asymptotique (bilatérale) de test U de Mann-Whitney est supérieure au niveau alpha sélectionné ($p > 0,05$) ; la valeur de Asymp. Sig (2-tailed) de 0,352 ne permet pas de rejeter l'hypothèse nulle (**H_0** : la différence entre les moyennes des élèves du groupe d'expérience et du groupe de simulation n'est pas significative) et d'accepter que l'utilisation de la simulation interactive eduMedia et des expériences en laboratoire peuvent atteindre des objectifs similaires dans l'étude des ondes lumineuses. Par conséquent, la simulation interactive eduMedia peut constituer une alternative pour effectuer des expériences inaccessibles. Cependant, les résultats de cette étude indiquent également que les élèves sont très motivés pour utiliser la simulation lors de l'apprentissage des concepts des ondes, mais elle ne peut pas remplacer les expériences en laboratoire.

Les élèves interviewés déclarent que la simulation interactive eduMedia relativement à la méthode classique améliore le parcours d'apprentissage, motive les élèves pendant le cours, augmente les interactions entre les élèves dans le parcours d'apprentissage. Les professeurs ont aussi observé une fluidité et une réduction significative des tâches d'enseignant par rapport à la méthode classique. En outre, la simulation garantit ainsi une certaine autonomie d'apprentissage chez les élèves.

Limites de la recherche

Nous estimons que le travail de cette thèse apporte une contribution précieuse aux différentes recherches menées par plusieurs auteurs autour de l'impact de l'ExAO et des simulations informatiques sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique au secondaire qualifiant. Cependant, nous reconnaissons que notre travail présente certaines limites inhérentes à toute recherche, ce qui implique de traiter les conclusions avec prudence. Parmi ces limites, il convient de mentionner :

- Ces études ne nous permettent pas de formuler des résultats généraux en raison du faible nombre d'échantillons, elles restent un indicateur important des avantages de l'intégration des simulations informatiques et de l'ExAO dans l'enseignement de la physique. Afin de consolider nos résultats, et de les rendre plus fiables, un grand nombre d'échantillons doit être utilisé dans les travaux futurs ;

- Nous avons effectué une étude basée sur deux questionnaires différents, l'un pour les enseignants de SP et l'autre pour les lycéens. Malgré les mesures prises pour préserver l'anonymat et assurer la fiabilité des résultats, il demeure complexe de garantir que les réponses obtenues reflètent fidèlement la réalité.

Pistes de recherches futures

Les résultats issus de ces études pourraient servir de solide fondement pour les recherches à venir. Nos recherches ont souligné l'importance de la formation continue des enseignants de SP en matière d'intégration de la simulation informatique et de l'ExAO dans leur pratique professionnelle. Il serait intéressant de mener des recherches sur les exigences en formation des élèves afin qu'ils puissent utiliser de manière optimale la simulation informatique et l'ExAO pour leur apprentissage. Il serait aussi intéressant de mener une recherche similaire auprès d'un échantillon plus important d'élèves provenant de différents pays, afin de comparer les résultats et d'élargir la portée de nos conclusions. Il pourrait être bénéfique de répéter ces études en utilisant un simulateur plus perfectionné et en explorant d'autres sujets qui pourraient stimuler l'apprentissage des élèves en utilisant toutes les ressources à leur disposition.

Recommandations

Nous proposons plusieurs recommandations afin d'améliorer l'utilisation de la simulation informatique et de l'ExAO dans l'enseignement de la physique au niveau du secondaire qualifiant :

- La réduction du nombre d'élèves par classe est incontournable pour améliorer les conditions d'apprentissage ;
- La compétence et la formation des enseignants dans l'utilisation pédagogique de la simulation informatique et de l'ExAO en salle de classe sont importantes ;
- La motivation et l'encouragement des enseignants de SP qui intègrent la simulation informatique et l'ExAO dans leurs enseignements ;
- L'approvisionnement en équipement approprié et essentiel dans les établissements pour effectuer les travaux pratiques avec la simulation informatique et l'ExAO ;
- Il est recommandé d'accompagner les manuels scolaires avec des guides pratiques sur l'utilisation des simulations informatiques et des ExAO ;
- Il est possible que la création d'un manuel numérique interactif incluant des animations et des simulations puisse favoriser l'indépendance des élèves dans leur processus d'apprentissage. Et ceci notamment dans les cas des classes inversées.

Au terme de nos recherches, nous pouvons conclure que l'intégration de la simulation informatique et de l'ExAO dans l'enseignement de la physique au lycée est très pratique. Ces outils pourront répondre grandement aux anticipations du MEN dans le cadre de sa nouvelle orientation vers l'informatisation et la numérisation de l'enseignement. Par conséquent, l'administrateur ou les planificateurs de l'éducation doivent inclure la simulation informatique et l'ExAO dans leurs programmes dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique afin qu'ils deviennent obligatoires pour tous les lycées.

BIBLIOGRAPHIE

Abboud Mehanna, M. (2013). Learn science and technology with the CAEx. Faculty of Science - Marie Abboud Mehanna, *review of best practice sharing Meeting*, February 8, 2013.

Abdesselam, M., Ahmed, B., Samir, B., & Mohamed, Z. (2013). Intégration de l'Approche par Compétence dans les curricula du système éducatif au Maroc. *Revue Marocain de l'éducation*, 16, 33-45.

Ahaji, K., El Hajjami, A., Ajana, L., El Mokri, A., & Chikhaoui, A. (2008). Analyse de l'effet d'intégration d'un logiciel d'optique géométrique sur l'apprentissage d'élèves de niveau baccalauréat sciences expérimentales. *EpiNet: revue électronique de l'EPI, 101*.

Ahaji, K., Zahim, S., Droui, M., & Badda, B. (2013). *Schéma d'évaluation pour le choix du multimédia pédagogique approprié*. Retrieved from https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1302e.htm

Al Shuaili, K., Al Musawi, A. S., & Hussain, R. M. (2020). The effectiveness of using augmented reality in teaching geography curriculum on the achievement and attitudes of Omani 10th Grade Students. *Multidisciplinary Journal for Education, Social Technological Sciences, 7*(2), 20-29. https://doi.org/10.4995/muse.2020.13014

Albero, B., & Brassac, C. (2013). Une approche praxéologique de la connaissance dans le domaine de la formation. Éléments pour un cadre théorique. *Revue française de pédagogie, 184*, 105-119.

Alj, O., & Benjelloun, N. (2013). Intégration des TIC dans l'enseignement des sciences physiques au Maroc dans le cadre du programme GENIE : difficultés et obstacles. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, *10*(2), 49-65.

Alj, O., & Benjelloun, N. (2015). The Impact of the use of Algorithm and Problem Solving Software (LARP) on the teaching-learning process of algorithms in High School. *FRANTICE. NET*, 11, 21-31. doi:10.31489/2110-5324.0809

Alluin, F., Billet, M., & Gentil, R. (2010). *Les technologies de l'information et de la communication (TIC) en classe au collège et au lycée : éléments d'usages et enjeux*. Ministère de l'Education nationale, Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance.

Anderson, J. R. (2000). *Learning and memory: An integrated approach*. John Wiley & Sons Inc.

Aoki, H., Kim, J., & Lee, W. (2013). Propagation & level: Factors influencing in the ICT composite index at the school level. *Computers & Education*, *60*(1), 310-324.

Ardac, D., & Sezen, A. H. (2002). Effectiveness of computer-based chemistry instruction in enhancing the learning of content and variable control under guided versus unguided conditions. *Journal of Science Education and Technology*, *11*(1), 39–48.

Arias, R., da Cunha, A. P., & Ramirez, A. R. G. (2020). Teaching of mechanical vibration concepts using the computational simulation. *IEEE Latin America Transactions*, *18*(04), 659-667.

Atibi, A., El Kababi, K., Radid, M., Tridane, M., & Belaaouad, S. (2017). Integration of the CAEx in the education (teaching) of the physical sciences in the Moroccan high school. *New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences*, 3(1), 88-94. https://doi.org/10.18844/gjhss.v3i1.1754

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 [Thèse de doctorat, Université de Montréal, Canada]. https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/5139

Audet, L. (2009). Mémoire sur le développement de compétences pour l'apprentissage à distance : Points de vue des enseignants, tuteurs et apprenants. REFAD.

Azevedo, R., & Hadwin, A. F. (2023). Learning by problem solving: An overview of theories, methods, and applications. **Educational Psychologist*, 58(1), 1-21. doi:10.1080/00461520.2022.2092003

Bah, M. B. (2012). Apports, limites et enjeux de l'apprentissage par problèmes pour le développement de compétences associées au champ de l'éducation relative à l'environnement : une étude de cas en milieu universitaire guinéen.

Bandura, A. (2021). Self-efficacy: *Toward a unifying theory of behavior change*. New York: Wiley.

Barnier, G. (2009). Théories de l'apprentissage et pratiques d'enseignement [en ligne]. *Marseille : Académie de Nice. Disponible à l'adresse : http://www. acnice. fr/iencagnes/file/peda/general/Theories_apprentissage. pdf*.

Barrette, C. (2007). Réussir l'intégration pédagogique des TIC. Un guide d'action de plus en plus précis. *Le Bulletin Clic*, *63*, 11-17.

Becerril, J., García-Peñalvo, F. J., & Conde, M. (2022). Competence-based learning: A review of the literature. *Education and Information Technologies*, 27(1), 1-20.

Belkebir, N., & Darhmaoui, H. (2018). Studio teaching model for an introductory engineering physics course on classical mechanics. *undefined*. https://www.semanticscholar.org/paper/studio-teaching-model-for-an-introductory-physics-belkebir-darhmaoui/74f10b3eff57f61274b0bfaf754e538a5ccc705a

Bell, D. C., & Trundle, K. C. (2023). Constructivism in science education: A review of the literature. *Educational Review*, 75(2), 289-314.

Ben Ouahi, M., Lamri, D., Hassouni, T., Ibrahmi, A., & Mehdi, E. (2022). Science Teachers' Views on the Use and Effectiveness of Interactive Simulations in Science Teaching and Learning. *International Journal of Instruction*, *15*(1).

Benabdellah, A., & Bouzidi, M. (2023). Intégration des TIC dans l'enseignement supérieur marocain : Perception des enseignants. *Revue Internationale de l'Éducation Supérieure, 10*(1), 1-15.

Benhaddou, A., & Ait-Aouad, A. (2023). Les obstacles à l'intégration des TIC dans l'enseignement des sciences physiques au lycée : point de vue des directeurs d'établissements. *Revue internationale des technologies éducatives*, 20(2), 145-156.

Biaz, A., Bennamara, A., Khyati, A., & Talbi, M. (2009). Intégration des technologies de l'information et de la communication dans le travail enseignant, état des lieux et perspectives. *EpiNet: revue électronique de l'EPI, 120*.

Bibeau, R. (2005). Les TIC à l'école : proposition de taxonomie et analyse des obstacles à leur intégration. *Revue de l'EPI*.

Borges, M. R., & Martínez-Hernández, J. (2022). The impact of ICT on students' motivation in science education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 35, 100739.

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

Bosisio, F., & Santiago-Delefosse, M. (2014). Intérêts et limites de l'utilisation d'une méthodologie mixte: à propos d'une recherche en psychologie de la santé. *Pratiques psychologiques*, *20*(1), 39-53.

Bosmans, M., & Neuville, J. (2023). The role of perceived value and self-efficacy in training intention and participation: A meta-analysis. *Personnel Review*, 52(5), 1284-1311.

Bouchaib, A., & Benjelloun, N. (2011). Impacts des TIC sur l'enseignement et l'apprentissage des conceptions relatives au champ électrostatique en classes préparatoires aux grandes

écoles d'ingénieurs (CPGE). *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, *8*(3), 66-84.

Bou-serdane, I. (2015). Conceptions d'enseignants marocains du primaire à propos des démarches d'enseignement-apprentissage à mettre en oeuvre pour actualiser la pédagogie de l'intégration. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, *18*(2), 165-184.

Boutin, G. (2000). Le behaviorisme et le constructivisme ou la guerre des paradigmes. *Québec français*, *119*, 37–40.

Boyle, J., & O'Donoghue, C. (2007). Using virtual and physical laboratories to enhance learning in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 84(12), 1877-1883.

Bozkurt, E., & Ilik, A. (2010). The effect of computer simulations over students' beliefs on physics and physics success. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *2*(2), 4587-4591.

Brahimi, C. (2011). L'approche par compétences : un levier de changement des pratiques en santé publique au Québec

Brans, J.-P., & Lemaire, Y. (2002). La simulation : Méthodes et applications. Paris : Dunod.

Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques (Revue)*, *7*(2), 33-115.

Buty, C. (2004). Richesses et límites d'un «modèle matérialisé» informatisé en optique géométrique. *Didaskalia (Paris)*, (23), 39-64.

Cantara, M. (2008). Exploration des facteurs influençant la motivation scolaire de l'étudiante et de l'étudiant lors de l'apprentissage dans un cours offert en ligne essai présenté à la Faculté d'éducation en vue de l'obtention du grade de Maître en éducation (M. Éd.).

Cantin, R., Lacasse, D., & Roy, L. (2015). Apprentissage par problèmes, activité de synthèse et épreuve synthèse. *v. 10, no 2, déc. 1996, p. 5-10 Pédagogie collégiale*.

Carette, V., & Kahn, S. (2010). L'évaluation des épreuves de compétences ou l'évaluation de l'incertitude. *Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*.

Caron, A. (2007). *Évaluation d'outils pédagogiques utilisant l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) afin d'illustrer un concept scientifique perceptions qu'ont les élèves de l'enseignement de concepts scientifiques: rapport de recherche*. Cégep Marie-Victorin.

Carugati, F., & Tomasetto, C. (2002). Le corps enseignant face aux technologies de l'information et de la communication : un défi incontournable. Revue des sciences de l'éducation, 28(2), 305-324.

Chapman, E. (2003). Assessing student engagement rates. College Park, MD: ERIC Clearinghouse on Assessment and Evaluation.

Chekour, M., Laafou, M., & Janati-Idrissi, R. (2015). *Vers l'introduction du simulateur Pspice dans l'enseignement de l'électricité : Cas du Tronc commun Sciences*. http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1505e.htm

Chekour, M., Laafou, M., & Janati-Idrissi, R. (2016). *Comment remédier au problème du manque de matériel scientifique dans les laboratoires marocains : cas de l'électricité*. *Info-CRDE*, (19).

Chen, Y. T., & Tsai, C. C. (2022). The use of computer simulations to promote inquiry-based learning in science education: A systematic review. *Computers & Education*, 178, 104244.

Cholmsky, P. (2003). Why gizmos work: Empirical evidence for the instructional effectiveness of Explore Learning's interactive content. *Charlottesville, VA: Explore Learning*.

Clarebout, G., & Elen, J. (2001). The ParlEuNet-project: Problems with the validation of socio constructivist design principles in ecological settings. Computers in Human Behavior, 17(5), 453-464.

Clements, D. H., & McMillen, S. (1996). Rethinking "concrete" manipulatives. *Teaching children mathematics*, *2*(5), 270-279.

Cowdroy, R., & Mauffette, Y. (1999). Thinking science or science thinking? The challenge for science education. *Themes and Variations in PBL, PROBLARC, Newcastle*.

CSEFRS, L. (2015). La vision stratégique de la reforme 2015-2030. « Pour une école de l'équité, de la qualité et de la promotion ».

Cunningham, D., & Duffy, T. (1996). Constructivism: Implications for the design and delivery of instruction. Handbook of research for educational communications and technology, 51, 170-198.

Da Costa, J. (2014). BPMN 2.0 pour la modélisation et l'implémentation de dispositifs pédagogiques orientés processus (Doctoral dissertation, University of Geneva).

Dalgarno, B., Bishop, A. G., Adlong, W., & Bedgood Jr, D. R. (2009). Effectiveness of a virtual laboratory as a preparatory resource for distance education chemistry students. *Computers & Education*, *53*(3), 853-865.

Dalongeville, A., & Huber, M. (2000). *(Se) former par les situations-problèmes: des destabilisations constructives*. Chronique sociale

De Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of educational research*, *68*(2), 179–201.

De Jong, T., Linn, M. C., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations. *Review of Educational Research*, 68(2), 279-307.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). Cognitive evaluation theory. In *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior* (pp. 43-85). Springer, Boston, MA.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1991). A motivational approach to self: integration in personality

Demaizière, F., & Saujat, F. (2020). L'approche comportementaliste en éducation : enjeux et limites. *Revue française de pédagogie*, 206(3), 117-126.

Demaizière, F., & Saujat, F. (2023). Les situations-problèmes en enseignement des sciences : état des lieux et perspectives. *Revue française de pédagogie*, 216(2), 23-38.

Depover, C., Karsenti, T., & Komis, V. (2007). *Enseigner avec les technologies : favoriser les apprentissages, développer des compétences*. PUQ.

Deronne, M. (2012). L'approche par compétences dans l'enseignement des mathématiques. *Unpublished master's thesis, Faculté des Sciences, Université de Mons, Belgium. Retrieved December*, *25*, 2018.

Dillenbourg, P., Baker, M., Blaye, A. & O'Malley, C. (1995). The evolution of research on collaborative learning. In E. Spada & P. Reiman (Eds) Learning in Humans and Machine: Towards an interdisciplinary learning science. (Pp. 189-211) Oxford: Elsevier.

Downes, S., & Siemens, G. (2009). Connectivism and Connective Knowledge : Getting Started. *MOOC course, University of Manitoba*.

Droui, M., & El Hajjami, A. (2014). Simulations informatiques en enseignement des sciences: apports et limites. *EpiNet: revue électronique de l'EPI*, *164*.

Droui, M., El Hajjami, A., Bouklah, M., & Zouirech, S. (2013). Impact de l'apprentissage par problème sur la compréhension conceptuelle de la mécanique newtonienne. *EpiNet: Revue électronique de l'EPI*, *157*.

Duke, B., Harper, G., & Johnston, M. (2013). Connectivism as a digital age learning theory. *The International HETL Review*, 4–13.

Duplàa, E., & Talaat, N. (2012). Connectivisme et formation en ligne. *Distances et savoirs*, *9*(4), 541–564

Durán, M. J., Gallardo, S., Toral, S. L., Martínez-Torres, R., & Barrero, F. J. (2007). A learning methodology using Matlab/Simulink for undergraduate electrical engineering courses attending to learner satisfaction outcomes. *International Journal of Technology and Design Education*, *17*(1), 55-73.

Durán, M. J., Gallardo, S., Toral, S. L., Martínez-Torres, R., & Barrero, F. J. (2007). A learning methodology using Matlab/Simulink for undergraduate electrical engineering courses attending to learner satisfaction outcomes. *International Journal of Technology and Design Education*, *17*(1), 55-73.

El Bachari, E., Abdelwahed, E., & El Adnani, M. (2010). Design of an adaptive e-learning model based on learner's personality. *Ubiquitous Computing and Communication Journal*, *5*(3), 1-8.

El Bilani, R., Montpied, P., & Le Maréchal, J. F. (2007). Autonomie et motivation lors de l'apprentissage avec un simulateur. *Didaskalia (Paris)*, *31*, 11-46.

El Bouffy, H. D. (2022). L'intégration des TIC dans la formation des enseignants au Maroc : analyse documentaire des réformes éducatives. *International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics*, *3*(5-1), 385-401.

El Hajjami, A., El Mokri, A., Ajana, L., & Chikhaoui, A. (2000). Approches analytiques de logiciels d'apprentissage des sciences physiques. In *Les actes du Colloque International sur l'Enseignement et Recherche en Didactique des Sciences* (Vol. 1).

El Idrissi, M. A., Benmansour, M., & El Amine, A. (2022). L'utilisation des exercices de simulations pré-laboratoire dans le contexte de la classe inversée. *Revue Internationale des Sciences de l'Education*, 7(2), 1-15.

El Ouargui, Y., Gourja, B., tridane, M., & Belaaouad, S. (2019). Use of Computer-Assisted Experimentation (CAEx) in Teaching Science in Moroccan High Schools. *International Journal of Web Applications*, *11*(4), 119. https://doi.org/10.6025/ijwa/2019/11/4/119-124

El Yaakoubi, M., El Jamali, S., Akrim, H., & Talbi, M. (2006). Le recours à la simulation informatique : besoin réel ou superflu. *Revue de l'EPI*.

El, Y., & Laaziz, I. (2012). CAEx & science education in Morocco: current status, challenges and perspectives. Presented at the CNTE'2012 - Marrakech, December 21, 2012

Erdmann, A., & Torres Marín, A. J. (2019). Can we improve academic performance and student satisfaction without additional time costs for teachers? Evidence from a blended methodology in Microeconomics. *Multidisciplinary Journal for Education, Social Technological Sciences, 6*(2), 54-91. https://doi.org/10.4995/muse.2019.11869

Ertmer, P. A., & Newby, T. J. (2013). Behaviorism, cognitivism, constructivism : Comparing critical features from an instructional design perspective. *Performance Improvement Quarterly*, *26*(2), 43–71.

Fayol, M. (1997). Des idées au texte. Psychologie cognitive de la production verbale, orale et écrite. Paris : Presses Universitaires de France.

Ferhani, F. (2013). TICE et Co-construction des apprentissages en classe de FLE. Synergies Algérie, n°18, p. 63-80

Forget, D. (2005). Impacts des TIC dans l'enseignement collégial une métasynthèse réalisée par l'Association pour la recherche au collégial.

Forget, P. (2015). Les jeux sérieux au service de l'apprentissage. *Le Tableau*, *4*(5), 1-2.

Fortin, M.-F., & Gagnon, J. (2010). Fondements et étapes du processus de recherche : Méthodes quantitatives et qualitatives. Montréal, Canada: Chenelière éducation. https://dspacecdc.inlibro.net/xmlui/handle/11515/26139

Fosnot, C. T., & Perry, R. S. (1996). Constructivism : A psychological theory of learning. *Constructivism: Theory, perspectives, and practice*, *2*, 8–33.

Fourcade, M.-C., & Pignon, C. (2022). L'ExAO : une technologie pour l'apprentissage des élèves. *Les cahiers du numérique, 29*(1), 117-130. doi: 10.3917/lcdn.029.011

Fourment, J.-P., Lamy, J.-M., & Legrand, J.-L. (2021). L'ExAO : un outil pour la formation des enseignants. *Éducation & Formation, 99*(1), 107-116. doi: 10.3917/edufor.099.0107

Frayssinhes, J. (2011). Les pratiques d'apprentissage des adultes en FOAD : effet des styles et de l'auto-apprentissage (Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).

Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C. & Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. Review of Educational Research 74(1), 59-109.

Gagnon, R., & Legault, F. (2008). Apprentissage par problèmes : fondements, démarches, évaluation. Québec : Presses de l'Université du Québec.

Gambari, I. A., Gbodi, B. E., Olakanmi, E. U., & Abalaka, E. N. (2016). Promoting intrinsic and extrinsic motivation among chemistry students using computer-assisted instruction. *Contemporary Educational Technology*, *7*(1), 25-46.

Gélinas, F. (2002). Rapport sur l'intégration des TIC au Collège Montmorency. *Collège Montmorency, Service du développement pédagogique*.

Ghasemzadeh, M., & Bahrami, F. (2022). The effects of simulations on students' learning outcomes in science education: A systematic review of meta-analyses. *Computers & Education*, 165, 104223.

Gibbons, N. J., Evans, C., Payne, A., Shah, K., & Griffin, D. K. (2004). Computer simulations improve university instructional laboratories. *Cell Biology Education*, *3*(4), 263-269.

Gilbert, N., & Savard, J. G. (1992). Statistiques. Laval, Québec : Éditions Études vivantes.

Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. (1999). *Simulation for the Social Scientist*. Buckingham UK: Open University Press.

Gil-Flores, J., Rodríguez-Santero, J., & Torres-Gordillo, J. J. (2017). Factors that explain the use of ICT in secondary-education classrooms: The role of teacher characteristics and school infrastructure. *Computers in Human Behavior*, *68*, 441-449.

Girouard, M., & Nonnon, P. (1999). La lunette cognitive: pour l'acquisition d'un langage graphique de codage, son influence sur l'atteinte d'objectifs terminaux des cours de physique à l'éducation des adultes. In *Actes du 5e colloque international de robotique pédagogique* (pp. 139-179).

Gourja, B., & Tridane, M. (2015). The use of computer-assisted Experimentation (CAEx) in Moroccan. *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology (IJLRET)*, vol. 1, no. 6, pp. 43-47. www.ijlret.com‖ Volume 1 Issue 6‖November 2015 ‖ PP 43-47

Gredler, M. E. (1996). 17. Educational games and simulations: A technology in search of a (research) paradigm. *Technology*, *39*, 521-540.

Guennoun, B., & Benjelloun, N. (2016). Regards des étudiants sur l'intégration des TIC dans l'enseignement supérieur scientifique. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, *13*(1), 64-94.

Guennoun, B., Benjelloun, N., Mehraz, D., Mohammed, S., & Abdellah, B. (2015). Perceptions of the first-year university students of the use of ICT in the teaching of physics: case of a course of electricity. *Interdisciplinary Laboratory of Research in Didactics of Sciences and Technology (ILRDST), Faculty of sciences ISSN*, 2278-7690.

Habchi, G. (2001). Conceptualisation et Modélisation pour la Simulation des Systèmes de Production. *Rapport d'habilitation à diriger des recherches, Université de Savoie*. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.97.5607&rep=rep1&type=pdf

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2022). Impact of the Use of the Physics Crocodile Simulator in the Teaching and Learning of Electricity in High School (Morocco). *International Journal of Information and Education Technology*, *12*(10).

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2022). The Added Value of Integrating the Electronics Workbench Simulator in the Teaching of Electrical Concepts to Moroccan High School Students. *International Journal of Online & Biomedical Engineering*, *18*(12).

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2023). Impact of using computer-assisted experimentation on learning physical sciences in secondary schools in Morocco. *Knowledge Management & E-Learning*, *15*(4), 554–574. https://doi.org/10.34105/j.kmel.2023.15.032

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2023). The positive meaning of the use of Interactive Simulation eduMedia in the subject of Light Waves in Secondary School in Morocco. *International Journal of Instruction*, *16*(1).

Hamamous, A., & Benjelloun, N. (2023, 26-28 octobre). Utilisation de l'expérimentation assistée par ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques chez les élèves marocains. Poster présenté au Colloque international de l'innovation Pédagogique en Enseignement Formation des Sciences à l'ère du numérique (CIIPEFSEN2023), Ecole Normale Supérieure de Tétouan, Maroc

Hebenstreit, J. (1992, April). Une rencontre du troisième type: simulation et pédagogie. In *Actes du Colloque L'intégration de l'informatique dans l'enseignement et la formation des enseignants* (pp. 80-87).

Heer, S., & Akkari, A. (2006). Intégration des TIC par les enseignants: premiers résultats d'une enquête suisse. *Revue Internationale des Technologies en Pédagogie Universitaire= International Journal of Technologies in Higher Education*, *3*(3), 38-48.

Hursen, C., & Asiksoy, G. (2015). World Journal on Educational Technology. World, 7(1), 87-98.

Jameau, A., & Boilevin, J. M. (2015). Les déterminants de la construction et de la mise en œuvre de démarches d'investigation chez deux enseignants de physique-chimie au collège. *Recherches en éducation*, (21).

Jefferson, A. L., & Edwards, S. D. (2000). Technology implies LTD and FTE. *Pan-Canadian Education Research Agenda, June*, 137-150.

Jézégou, A. (2013). The influence of the openness of an e-learning situation on adult students' self-regulation. *International Review of Research in Open and Distributed Learning, 14*(3), 182-201.

Jonassen, D. H. (2023). Constructivism and instructional design: 50 years of progress. *Educational Technology Research and Development*, 71(6), 2363-2383.

Joubert, R., Rebmann, G., & Desmond, P. (2000). Integration of computer simulation programs in teaching sequences of Newtonian mechanics for freshmen at university. In R. Pinto & S. Surinach (éd.). Actes International Conference, Physics Teacher Education beyond.

Jourdan, A., & Tardif, J. (2023). L'utilisation des simulations en formation : un état de la question. *Revue Française de Pédagogie,* 218, 131-152.

Karamustafaoglu, O. (2012). How computer-assisted teaching in physics can enhance student learning. *Educational Research and Reviews*, *7*(13), 297.

Karper, C. M., Robinson, E. H., & Casado, M. (2005). Computer-assisted instruction and academic achievement in counselor education. *Journal of Technology in Counseling, 4*(1).

Karsenti, T. (2015). Favoriser la motivation et la réussite en contexte scolaire les TIC feront-elles mouche?. *Vie pédagogique, 127, April-May 2003, p. 27-31*.

Karsenti, Thierry, & Larose, F. (2005). *L'intégration pédagogique des TIC dans le travail enseignant : Recherches et pratiques*. Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec.

Kennepohl, D. K. (2001). Using computer simulations to supplement teaching laboratories in chemistry for distance delivery.

Khaldoune,H .(2015). Comment exploiter une interface GLX pour réaliser des expériences en physique (mémoire de master). Université kadi ayyad.

Klahr, D., Triona, L. M., & Williams, C. (2007). Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children. *Journal of Research in Science teaching*, *44*(1), 183–203.

Kop, R., & Hill, A. (2008). Connectivism: Learning theory of the future or vestige of the past?. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, *9*(3), 1-13.

Kozanitis, A. (2005). Les principaux courants théoriques de l'enseignement et de l'apprentissage : un point de vue historique. Bureau d'appui pédagogique, 1-14.

Kozulin, A., Gindis, B., Ageyev, V. S., & Miller, S. M. (Eds.). (2003). Vygotsky's Educational Theory in Cultural Context. Learning in Doing: Social, Cognitive, and Computational Perspectives (pp. 0-5215). Cambridge: Cambridge University Press.

Kruglanski, A. W., & Webster, D. M. (1996). Motivated closing of the mind: Its cognitive and social effects. *Psychological Review*, *103*(2), 263-283.

Lacroix, M. È., & Potvin, P. (2009). La motivation scolaire. *Réseau d'information pour la réussite scolaire (RIRE)*.

Lauzier, I., Nonnon, P., & Caron, M. (2007). Une expérience d'approche par projet pour favoriser l'intégration des apprentissages. In *9ème Colloque Francophone de Robotique Pédagogique* (pp. 14-21)..

Lave, J., & Wenger, E. (2021). Situated learning: Legitimate peripheral participation. Cambridge, UK: *Cambridge University Press*.

Law, A. M., Kelton, W. D., & Kelton, W. D. (2007). *Simulation modeling and analysis* (Vol. 3). New York: Mcgraw-hill.

Lazarowitz, R., & Huppert, J. (1993). Science process skills of 10th-grade biology students in a computer-assisted learning setting. *Journal of Research on Computing in Education*, *25*(3), 366-382.

Le Boterf, G. (2011). Apprendre à agir et à interagir en professionnel compétent et responsable. *Educ Permanente*, *188*(3), 97-112.

Le Maréchal, J.-F., El Bilani, R., & Montpied, P. (2007). Autonomie et motivation lors de l'apprentissage avec un simulateur. *Didaskalia*, *31*, 11-46.

Lebrun, M. (2004). La formation des enseignants aux TIC : allier pédagogie et innovation. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, *1*(1), 11-21.

Legendre, M. F. (2002). Le rôle du raisonnement qualitatif dans les processus de changement conceptuel et ses implications pour l'enseignement et la formation des enseignants. *Changement conceptuel et apprentissage des sciences: Recherches et pratiques*, 177-201.

Legros, D., Crinon, J., & Georget, P. (2000). Les effets des systèmes et des outils multimédiassur la cognition, l'apprentissage et l'enseignement. Rapport du Comité national de coordination de la recherche en éducation (CNCRE), Paris

Legros, D., Maître de Pembroke, E., & Taṭbi, A. (2002). Les théories de l'apprentissage et les systèmes multimédias. Psychologie des apprentissages et multimédia, 23-39.

Lehaney, B., Kogetsidis, H., Platt, A., & Clarke, S. (1998). Windows-based simulation software as an aid to learning. *Journal of European Industrial Training*, *22*(1), 12–17.

Lenoir, Y. (2023). L'approche behavioriste en éducation : limites et perspectives. *Revue française de pédagogie*, 216(2), 13-22.

Leu, E. (2005). The Role of Teachers, Schools, and Communities in Quality Education: A Review of the Literature. *Academy for Educational Development*.

Li, Y., & Tsai, C.-C. (2022). Effects of computer simulations on students' procedural skills in science: A meta-analysis. *Educational Technology Research and Development*, 70(5), 1775-1803.

Lim, T.-C., & Chai, C.-S. (2018). The use of virtual laboratories in science education: A review of recent research. *Educational Technology & Society*, 21(4), 166-180.

Liu, L., & Tsai, C. C. (2022). The impact of computer simulations on students' learning in science: A review of the literature. *Computers & Education*, 186, 104347.

Long, D. (2005). *L'impact des TIC sur la motivation des élèves*. Université de Moncton, Moncton.

Ma, X., Jia, Y., Fan, C., & Jiang, X. (2021). An Empirical Study on Improving the Learning Effect of Physics Experiment Course in High School by Simulation Experiment Software. *Open Journal of Social Sciences*, *9*(11), 309-331. https://doi.org/10.4236/jss.2021.911023

Mahdi, K. (2018). The impact of continuous distance training on teachers of physics in computer simulation software. *JETT*, *9*(1), 27-41.

Mamane, A., & Benjelloun, N. (2018). Study of the Dependence between the Teaching-Learning of Physics and the ICT Resources available to Pupils in Moroccan High Schools. *IJEIS Int. J. Educ. Inf. Stud*, *8*, 1-15.

Mark, G. H. (1982). Computer simulations in science teaching: An introduction. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, *1*(4), 18-20.

Marshall, J. A., & Young, E. S. (2006). Preservice teachers' theory development in physical and simulated environments. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *43*(9), 907-937.

Martin, S. M., & Anderson, K. J. (2022). The role of cognitive engagement in self-regulated learning and academic achievement in high school students. *Journal of Educational Research*, 115(6), 1292-1304

Martinez-Jimenez, P., Pontes-Pedrajas, A., Polo, J., & Climent-Bellido, M. S. (2003). Learning in chemistry with virtual laboratories. *Journal of Chemical Education*, *80*(3), 346-52.

Mastafi, M. (2013). *Intégration et usages des TIC dans le système éducatif marocain : Attitudes des enseignants de l'enseignement primaire et secondaire*. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Éducation, Université Mohammed V de Rabat, Rabat, Maroc.

Mastafi, M. (2014). Obstacles à l'intégration des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans le système éducatif marocain [Obstacles to the integration of information and communication technologies (ICT) in the Moroccan education system]. *CARISM and IREC, University Panthéon Assas Paris*, *2*, 50-65.

Matney, G., Bostic, J. D., Fox, M., Hicks, T., May, T., & Stone, G. (2022). Fourth-grade students' sensemaking during multi-step problem solving. *The Journal of Mathematical Behavior*, *65*, 100933.

McKnight, P. E., & Najab, J. Mann-Whitney U Test. Corsini Encyclopedia of Psychology. 2010.

McLeod, S. A., & Adams, W. K. (2018). Simulations in science education: A review of the research literature. *Educational Review*, 70(2), 191-213.

Meirieu, P. (1998). Le transfert de connaissances, un objet énigmatique. *Apprendre, Numéro hors série des Cahiers pédagogiques*, 6-7.

Menchafou, Y., Aaboud, M., & Chekour, M. (2023). Effectiveness of Real and Computer-Assisted Experimental Activities in Moroccan Secondary School Physics Education. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *17*(16).

Messaoudi, F., & Talbi, M. (2012). Réussir l'intégration des TICE au Maroc : regard sur le déploiement de la stratégie nationale GENIE. *Revue EpiNet*, (143).

Meziane, O. A. A. (2014). De la pédagogie par objectifs à l'approche par compétences: migration de la notion de compétence. *Synergies Chine*, (9).

Michael, K. Y. (2001). The Effect of a Computer Simulation Activity versus a Hands-on Activity on Product Creativity in Technology Education. *Journal of Technology Education*, *13*(1), 31-43.

Mignon, J., & Closset, J. L. (2004). Maintien et stratégies de renforcement de la motivation des étudiants dans l'enseignement à distance. In *21e congrès de l'Association internationale de pédagogie universitaire (AIPU)*.

Morales-Ortiz, M., & Serrano-Sánchez, J. (2022). The use of adaptive learning systems in higher education: A systematic review. *Computers & Education*, 176, 104178.

Morgan, M. S., & others. (2003). Experiments Without Material Invention : Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments. In: Radder H. (eds). In *The philosophy of scientific experimentation.* (p. 216-235). University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA. http://dare.uva.nl/record/1/183568

Mrani, C. A., El Hajjami, A., & El Khattabi, K. (2020). Effects of the Integration of PhET Simulations in the Teaching and Learning of the Physical Sciences of Common Core (Morocco). *Univers. J. Educ. Res*, *8*(7), 3014-3025.

Nachar, N. (2008). The Mann-Whitney U: a test for assessing whether two independent samples come from the same distribution. Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, 4(1), 13-20.

Nafidi, Y., Alami, A., Zaki, M., El Batri, B., Hassani, M. E., & Afkar, H. (2018). L'intégration des TIC dans l'enseignement des sciences de la vie et de la terre au Maroc : état des lieux et défis à relever. *European Scientific Journal*, *14*(10.19044).

Nejjari, A., & Bakkali, I. (2017). L'usage des TIC à l'école marocaine : état des lieux et perspectives. *Hermès : Cognition-comunication-politique*, (78), 55-61.

Nguyen, D. Q., & Blais, J. G. (2007). Approche par objectifs ou approche par compétences ? Repères conceptuels et implications pour les activités d'enseignement, d'apprentissage et d'évaluation au cours de la formation clinique. *Pédagogie médicale*, *8*(4), 232-251.

Nonnon, P. (1991). « Robotique pédagogique », dans Nonnon, P., M. Vivet, et P. D'Amour, (Éditeurs) Robotique pédagogique : les actes du II^{e} congrès international, Montréal, Les Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Collection Actes de colloque, Université de Montréal.

Nurliani, R., Sinaga, P., & Rusdiana, D. (2021). Problems of online learning and the use of information and communication technology (ICT) in physics learning at Sumedang, West Java. *Journal of Physics: Conference Series*, *1806*(1), 012043. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012043

O'Donnell, A. M., & Hmelo-Silver, C. E. (2023). Constructivism in education: A contemporary perspective. *Educational Psychologist*, 58(2), 129-141.

Ouardaoui, A., Legrouri, A., Darhmaoui, H., & Loudiyi, K. (2012). ICT integration into chemistry-physics classes in middle schools through a participatory pilot project approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *55*, 232-238. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.499

Ouazzani Touhami, A., Benjelloun, N., Aami, M., & Haddou, A. (2014). Impact of using Java Software of Geometrical Optics JSGO on the construction success of the virtual image among the first year university students. *IOSR Journal Of Research & Method in education IOSR-JRME*, *4*(3), 16-24

Ouazzani Touhami, A., Benjelloun, N., Alami, M., & Aouni, H. (2016). Difficultés conceptuelles relatives à la construction d'une image virtuelle et impact d'un atelier java d'optique géométrique (AJOG) sur les productions des élèves. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (14), 187-210.

Paquay, L., Altet, M., Charlier, É., & Perrenoud, P. (2001). Introduction. Former des enseignants-professionnels : trois ensembles de questions. In *Former des enseignants professionnels* (Vol. 3, pp. 13-26). De Boeck Supérieur.

Pellerin, D. (2016). La réalisation d'instruments de mesure électroniques : une intervention didactique pour l'apprentissage interdisciplinaire en science expérimentale, en mathématique et en technologie. http://hdl.handle.net/1866/16443

Peraya, D. (2002). Communication et nouvelles technologies. *Qu'est-ce que l'interdisciplinarité*, 117-143.

Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., & Wieman, C. (2006). PhET: interactive simulations for teaching and learning physics. The Physics Teacher, 44(1), 18-23.

Perkins, K., Moore, E., Podolefsky, N., Lancaster, K., & Denison, C. (2012). Towards research-based strategies for using PhET simulations in middle school physical science classes. *AIP Conference Proceedings*, *1413*, 295–298. https://doi.org/10.1063/1.3680053

Perreault, N. (2015). Rôle et impact des TIC sur l'enseignement et l'apprentissage au collégial. [2e partie]. *Vol. 16, no 4, mai 2003, p. 26-34 Pédagogie collégiale*.

Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, *24*(3), 487-514.

Pintrich, P. R., & Schunk, D. H. (2002). *Motivation in education: Theory, research, and applications*. Prentice Hall.

Plante, J., & Beattie, D. (2004). *Connectivité et intégration des TIC dans les écoles élémentaires et secondaires au Canada: premiers résultats de l'Enquête sur les technologies de l'information et des communications dans les écoles, 2003-2004*. Ottawa, ON: Statistique Canada.

Poirier, J.-P. (2022). *L'expérimentation en sciences physiques*. Paris : Dunod.

Price, A. M., Perkins, K. K., Holmes, N. G., & Wieman, C. E. (2018). How and why do high school teachers use PhET interactive simulations? *Physics Education Research Conference Proceedings, 2018*. https://doi.org/10.1119/perc.2018.pr.price

Proulx, J. (2004). L'apprentissage par projet. Sainte-Foy: Presses de l'université du Québec.

Quesada, J., Kintsch, W., & Gomez, E. (2005). Complex problem-solving: a field in search of a definition?. *Theoretical issues in ergonomics science*, *6*(1), 5-33.

Ramasundaram, V., Grunwald, S., Mangeot, A., Comerford, N. B., et Bliss, C. M. (2005). Development of an environmental virtual field laboratory. *Computers & Education, 45*(1), 21–34.

Rebmann, G. ; Joubert, R. et Desmond, Ph. (2000) : Intégration de simulation dans l'enseignement de la physique en première année de DEUG. Colloque enseignement et recherche en didactique des sciences (ERDS 2000), 1re éd., 2001, p. 15-26.

Reusser, K. (1996). Pedagogical Tools. International perspectives on the design of technology-supported learning environments, 81.

Richoux, B., Salvetat, C., & Beaufils, D. (2002). Simulation numérique dans l'enseignement de la physique: enjeux, conditions. *Bulletin de l'Union des physiciens*, (842), 497-521.

Rivard, P. (2015). Ludification : apprendre par plaisir et bien plus!». *Alia conseil*.

Robardet, G., & Guillaud, J. C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques: de la recherche à la pratique: théories, modèles, conceptions et raisonnement spontané*. Presses universitaires de France.

Roberts, G. W. (2010). Becoming a problem-based learning facilitator. *Problem-based learning in health and social care*, 51-65.

Roegiers, X. (2003). Des situations pour intégrer les acquis scolaires. *Pédagogie en développement*.

Roegiers, X. (2004). *L'école et l'évaluation : des situations pour évaluer les compétences des élèves*. De Boeck,.

Roegiers, X. (2007). Curricular reforms guide schools: but, where to?. *Prospects*, *37*(2), 155-186.

Rogoff, B. (2019). The cultural nature of human development. New York, NY: *Oxford University Press*.

Rouet, J. F., Levonen, J. J., Dillon, A., & Spiro, R. J. (Eds.). (1996). Hypertext and cognition. Psychology Press.

Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & education*, *58*(1), 136-153.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, *55*(1), 68.

Sabri, A. A., Sabir, B., Toumi, H., Moussetad, M., & Fahli, A. (2018). Remote control laboratory experiments in physics using LabVIEW. *International Journal of Information Science and Technology*, *1*(1), 11-16.

Sambe, M. M. (2006). De la conception au processus de généralisation du curriculum. *Revue pédagogique ADEF*, 4-9.

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 Technology*, *13*, 112-121.

Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and theoretical framework. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 1(1), 9-20.

Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and rationale. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 1-16.

Savery, J. R. (2015). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Essential readings in problem-based learning: Exploring and extending the legacy of Howard S. Barrows*, *9*(2), 5-15.

Schmidt, H. G. (1993). Foundations of problem-based learning: some explanatory notes. *Medical education*, *27*(5), 422-432.

Schmidt, H. G., Rotgans, J. I., & Yew, E. H. (2011). The process of problem-based learning: what works and why. *Medical education*, *45*(8), 792-806.

Siemens, G. (2005). A learning theory for the digital age. *International journal of instructional technology and distance learning*, *2*(1), 3–10.

Simanjuntak, M. P., Hutahaean, J., Marpaung, N., & Ramadhani, D. (2021). Effectiveness of Problem-Based Learning Combined with Computer Simulation on Students' Problem-Solving and Creative Thinking Skills. *International Journal of Instruction*, *14*(3), 519-534.

Smetana, L. K., & 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.

Sonmez, D., & Lee, H. (2003). *Problem-based learning in science* (pp. 1-2). ERIC Clearinghouse.

St-Jean, M., & Thi, T. T. (1994). *L'apprentissage par problèmes: une bibliographie annotée*. Université de Montréal.

Taoufik, M., Abouzaid, A., & Moufti, A. (2016). Les Activités Expérimentales Dans L'enseignement Des Sciences Physiques: Cas Des Collèges Marocains. *European Scientific Journal, ESJ*, *12*(22), 190. https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n22p190

Tardif, J. (2006). L'évaluation des compétences : documenter le parcours de développement.

Teasley, S. & Roschelle, J. (1993). Constructing a joint problem space: The computer asz a tool for sharing knowledge. In S.P. Lajoie & S.J. Derry (Eds.), Computers as a cognitive tools (pp. 229-257). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

Thomas, R., & Hooper, E. (1991). Simulations: An opportunity we are missing. *Journal of research on computing in education*, *23*(4), 497-513.

Touma, G. (2007). Un paradigme d'expérimentation au laboratoire de sciences pour l'identification et l'optimisation statistique d'un modèle algébrique par l'interaction visuo-graphique.

Trundle, K. C., & Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. *Computers & Education*, *54*(4), 1078-1088.

Unal, S., & Ozturk, I. H. (2012). Barriers to ITC integration into teachers' classroom practices: Lessons from a case study on social studies teachers in Turkey. *World Applied Sciences Journal*, *18*(7), 939-944.

UNESCO : Rapport de l'UNESCO sur l'éducation au MAROC- 2010

UNESCO. 2004. Technologie de l'Information et de la Communication en Education : un programme d'enseignement et un cadre pour la formation continue des enseignants. France : UNESCO, 2004. Disponible sur : http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129538f.pdf

Van Oostendorp, H., & de Mul, S. (1996). Cognitive aspects of electronic text processing (No.58). Greenwood Publishing Group.

van Riesen, S. A., Gijlers, H., Anjewierden, A., & de Jong, T. (2018). The influence of prior knowledge on experiment design guidance in a science inquiry context. *International journal of science education*, *40*(11), 1327-1344.

Verhagen, P. (2006). *Connectivism : A new learning theory? Surf e-learning themasite*. http://elearning.surf.nl/e-learning/ eng

Viau, R. (1994). *La motivation en contexte scolaire*. Éditions du Renouveau pédagogique.

Westera, W. (2015). Games are motivating, aren´ t they? Disputing the arguments for digital game-based learning. *International Journal of Serious Games*, *2*(2), 3-17.

White, B. et Frederiksen, J. (2000). Technological tools and instructional approaches for making scientific inquiry accessible to all. In M. Jacobson and R. Kozma (Eds), Innovations in Science and Mathematics Education: Advanced Designs for Technologies of Learning (p. 321-359). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Wieman, Carl E., & Perkins, K. K. (2006). A powerful tool for teaching science. *Nature Physics*, *2*(5), 290–292. https://doi.org/10.1038/nphys283

Wilensky, U., & Stroup, W. M. (2013, April). Networked gridlock: Students enacting complex dynamic phenomena with the HubNet architecture. In *Proceedings of the 4th International Conference of the Learning Sciences* (pp. 282-289). Erlbaum.

Winsberg, E. (2003). Simulated experiments : Methodology for a virtual world. *Philosophy of science*, *70*(1), 105–125.

Wlodkowski, R. J., & Ginsberg, M. B. (2017). *Enhancing adult motivation to learn: A comprehensive guide for teaching all adults*. John Wiley & Sons.

Wu, L., Chang, H., & Huang, C. (2022). The effects of simulation-based learning on cognitive load and learning outcomes. *Computers & Education*, 180, 104833.

Yehya, F., Barbar, A., & Rjeily, S. A. (2018). Diagnosing the barriers for integrating Educational Technology in Physics courses in Lebanese secondary schools. *Research in Social Sciences and Technology*, *3*(2), 14-39.

Yusuf, M. O., & Afolabi, A. O. (2010). Effects of Computer Assisted Instruction (CAI) on Secondary School Students' Performance in Biology. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, *9*(1), 62-69.

Zacharia, Z. C. (2005). The impact of interactive computer simulations on the nature and quality of postgraduate science teachers' explanations in physics. *International Journal of Science Education*, *27*(14), 1741–1767.

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.

Zacharia, Z. 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: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *45*(9), 1021-1035.

Zakaria, I., Rahman, B. A., Othman, A. K., Yunus, N. A. M., Dzulkipli, M. R., & Osman, M. A. F. (2014). The relationship between loyalty program, customer satisfaction and customer loyalty in retail industry: A case study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *129*, 23-30. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.643

Zerrouqi, Z. (2015). Les performances du système éducatif marocain. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, (70), 22-28.

Zheng, Yue. (2019). 3D Course Teaching Based on Educational Game Development Theory "Case Study of Game Design Course. International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). 14. 54. https://doi.org/10.3991/ijet.v14i02.9985

Zimmerman, B. J., & Martinez-Pons, M. A. N. G. E. L. (1992). Perceptions of efficacy and strategy use in the self-regulation of learning. *Student perceptions in the classroom*, 185-207.

Annexe 1: Questionnaire administré aux enseignants de SP du secondaire qualifiant sur leurs perceptions de l'utilisation de l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO)

Informations générales :

1. Etes-vous ?
☐ Homme ☐ Femme

2. Age
☐ <28 Ans ☐ 29-40 Ans ☐ >41 Ans

3. Cursus universitaire
☐ Licence ☐ Master ☐ Doctorat

4. Spécialité des diplômes
☐ Physique ☐ Chimie

5. Ancienneté dans l'enseignement
☐ <4 Ans ☐ 5-16 Ans ☐ >17 Ans

6. Niveaux lycées enseignés
☐ Tronc commun ☐ 1ère année ☐ 2éme année

Direction provinciale de l'éducation.

7. Quelle direction provinciale de travail ?

Les équipements en matériel.

8. Avez-vous ?
☐ Ordinateur ☐ Vidéoprojecteur ☐ Interface ExAO ☐ Logiciel de l'ExAO ☐ Capteurs
Vous pouvez cocher plusieurs cases.

9. Si vous avez une interface, de quel type ?
☐ X plorer GLX ☐ Labquest ☐ Spark ☐ Orphylab ☐ Autres.....
La question n'est pertinente que si Equipement = "Interface ExAO"

10. Si 'Autres.....', précisez

11. Si vous avez un logiciel, précisez-le.
☐ Data studio ☐ Loggerpro ☐ Autres.....
La question n'est pertinente que si Equipement = "Logiciel de l'ExAO"

12. Si 'Autres.....', précisez

13. Si vous avez des capteurs, quels en sont les types ?

- ☐ Capteur de tension
- ☐ Capteur ampèremètre
- ☐ Capteur de pression
- ☐ Capteur de température
- ☐ Capteur de pH
- ☐ Capteur de conductivité
- ☐ Capteur microphone
- ☐ Capteur de champ magnétique
- ☐ Autres.....

Vous pouvez cocher plusieurs cases.
La question n'est pertinente que si Equipement = "Capteurs"

14. Si 'Autres.....', précisez

Utilisation de l'ExAO.

15. Réalisez-vous des travaux pratiques avec l'ExAO ?

☐ Oui ☐ Non

Aller à '18-Utilisation' si Travaux pratiques = "Non"

16. Si Oui, quels TP réalisez-vous ?

- ☐ Dosage d'un acide par une base
- ☐ Détermination de la constante du temps d'un dipôle RC
- ☐ Etude du dipôle RLC
- ☐ Caractéristique de quelques dipôles
- ☐ Vérification expérimental de la loi de BOYLE-MARIOTTE
- ☐ Analyse du son
- ☐ Système solide-ressort vertical sans frottement
- ☐ Etude de la loi d'Ohm
- ☐ Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases.
La question n'est pertinente que si Travaux pratiques = "Oui"

17. Si 'Autres.....', précisez

18. Si Non, Pourquoi ?

La question n'est pertinente que si Travaux pratiques = "Non"

Représentation des professeurs sur l'utilité de l'ExAO.

19. Que pensez-vous de l'utilité de l'ExAO dans la classe ?

❑ Gagne du temps ❑ Facilite la compréhension ❑ Améliore la motivation des élèves
❑ Approchement aux concepts scientifiques ❑ Autres.....

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

20. Si 'Autres.....', précisez

Les inconvénients d'usage de l'ExAO.

21. Quels sont les inconvénients de l'utilisation de l'ExAO ?

La formation à l'ExAO.

22. Avez-vous bénéficié des formation concernant l'ExAO ?

❑ Jamais ❑ Oui, durant la formation initiale ❑ Oui, durant la formation continue ❑ Oui,par autoformation

Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).

23. Si Oui "durant la formation initiale", combien d' heures effectives avez-vous passé dans cette formation ?

La question n'est pertinente que si Formation = "Oui, durant la formation initiale"

24. Si Oui "durant la formation continue", combien d' heures effectives avez-vous passé dans cette formation ?

La question n'est pertinente que si Formation = "Oui, durant la formation continue"

25. Qui a organisé cette formation continue ?

La maîtrise de l'ExAO.

26. Comment estimez-vous votre niveau de maîtrise de l'ExAO ?

❑ Mauvais ❑ Passable ❑ Moyen ❑ Bon ❑ Excellent

Les obstacles liés à l'utilisation de l'ExAO.

27. Quelles difficultés rencontrez-vous à l'utilisation de l'ExAO ?

❑ Manque de logiciels spécialisés
❑ Manque d'équipements dans l'établissement
❑ Manque de maintenance régulière des équipements
❑ Manque de temps
❑ sureffectif des élèves
❑ Formation Insuffisante
❑ Autres.....

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

28. Si 'Autres.....', précisez

Les conditions d'usage de l'ExAO.

29. Quelles sont les conditions liées à l'utilisation de l'ExAO ?

❑ Avoir des classes non chargés ❑ Suivre une formation ❑ Avoir les logiciels et les équipenemts
❑ Autres.....

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

30. Si 'Autres.....', précisez

Merci d'avoir répondu à nos questions

استبيان موجه الى أساتذة العلوم الفيزيائية في التعليم الثانوي التأهيلي حول تصوراتهم لاستخدام التجريب بمساعدة الحاسوب (ExAO)

معلومات عامة:

1. النوع:

□ ذكر □ أنثى

2. العمر:

□ أقل من 28 سنة □ 29-40 سنة □ أكثر من 41 سنة

3. المسار الجامعي:

□ إجازة □ ماستر □ دكتوراه

4. تخصص الدبلوم:

□ فيزياء □ كيمياء

5. الأقدمية في التدريس:

□ أقل من 4 سنوات □5 -16 سنة □ أكثر من 17 سنة

6. مستويات التعليم الثانوي التي يتم تدريسها:

□ جذع مشترك □ السنة الأولى □ السنة الثانية

المديرية الإقليمية للتعليم:

7. ما هي المديرية الإقليمية للتعليم التي تعملون فيها؟

المعدات:

8. هل لديكم؟

□ حاسوب □ جهاز عرض □ واجهة ExAO □ برنامج ExAO □ لواقط

9. إذا كانت لديكم واجهة، فما نوعها؟

□ X plorer GLX □ Labquest □ Spark □ Orphylab □ أخرى...

10. في حالة "أخرى....."، حدد

11. إذا كان لديكم برنامج، حدده

□ Data studio □ Loggerpro □ أخرى...

12. في حالة "أخرى....."، حدد

13. إذا كان لديكم لواقط، ما هي أنواعها؟

□ لاقط توتر كهربائي □ لاقط تيار كهربائي □ لاقط الضغط □ لاقط درجة الحرارة □ لاقط pH □ لاقط الموصلية □ لاقط الميكروفون □ لاقط المجال المغناطيسي □ أخرى...

14. في حالة "أخرى....."، حدد

استخدام ExAO:

15. هل تنجزون الأعمال التطبيقية باستخدام ExAO؟

□ نعم □ لا

16. إذا كانت الإجابة بنعم، ما هي الأشغال التطبيقية التي تقوم بها؟

□ معايرة الحمض بواسطة القاعدة

□ تحديد الثابتة الزمن لثنائي القطب RC

□ مميزات بعض ثنائيات القطب

□ التحقق التجريبي من قانون بويل ماريوت

□ تحليل الصوت

□ نظام جسم صلب-نابض عمودي بدون احتكاك

□ دراسة قانون أوم

□ أخرى..

17. في حالة "أخرى....."، حدد

18. إذا لم يكن كذلك، فلماذا لا؟

آراء الأساتذة حول فائدة ExAO:

19. ما رأيكم في فائدة ExAO في الفصل الدراسي؟

□ يوفر الوقت

□ يسهل الفهم

□ يحسن التحفيز لدى التلاميذ

□ يقرب المفاهيم العلمية

□ أخرى...

20. في حالة "أخرى....."، حدد

سلبيات استخدام ExAO:

21. ما هي سلبيات استخدام ExAO

تكوين في الاستخدام ExAO:

22. هل استفدتم من التكوين بخصوص ExAO؟

□ أبدًا □ نعم، أثناء التكوين الأولي □ نعم، أثناء التكوين المستمر □ نعم، بالتكوين الذاتي

23. إذا كان "أثناء التكوين الأولي"، فكم عدد الساعات التي قضيتم بالفعل في هذا التكوين؟

24. إذا كان " التكوين المستمر"، فكم عدد الساعات التي قضيتم بالفعل في هذا التكوين؟

25. من نظم هذا التكوين المستمر؟

إتقان استخدام ExAO:

26. كيف تقيمون مستوى إتقانكم لـ ExAO؟

□ ضعيف □ مقبول □ متوسط □ جيد □ ممتاز

العوائق المتعلقة باستخدام ExAO:

27. ما الصعوبات التي تواجهكم عند استخدام ExAO؟

□ نقص البرامج المتخصصة

□ نقص المعدات في المؤسسة

□ نقص الصيانة الدورية للمعدات

□ نقص الوقت

□ الاكتظاظ

□ عدم كفاية التكوين

□ أخرى...

28. في حالة "أخرى......"، حدد

شروط استخدام ExAO:

29. ما هي الشروط المرتبطة باستخدام ExAO؟

□ الحصول على فصول غير مكتظة

□ تلقي التكوين

□ امتلاك البرامج والمعدات

□ أخرى...

30. في حالة "أخرى....."، حدد

Annexe 2: Fiche technique de l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC par l'ExAO

Objectifs :

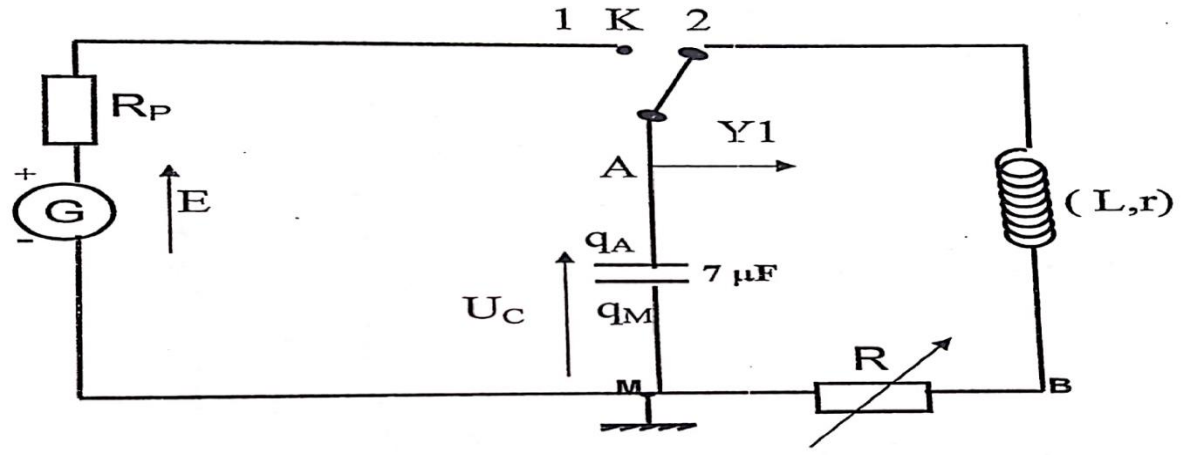
- Distinguer les différents régimes de la décharge d'un condensateur dans une bobine
- Connaître l'influence de la résistance du circuit RLC sur l'amortissement
- Interpréter les courbes en termes de transfert des énergies emmagasinées dans le condensateur et la bobine et interpréter l'entretien des oscillations

Matériel nécessaire

- Interface GLX (L'interface est capable d'enregistrer des données et de mesurer en fonction du temps)
- Capteur de tension / intensité
- Ordinateur
- Logiciel DATASTUDIO (le logiciel qui analyse les données des expériences et fait des représentations des données)
- Générateur de tension continue réglable
- Résistance variable, condensateur variable, bobine à inductance variable
- Résistance de protection, fils électrique, interrupteur électrique
- Amplificateur opérationnel, alimentation électrique

Manipulation 1

Réaliser le montage suivant :



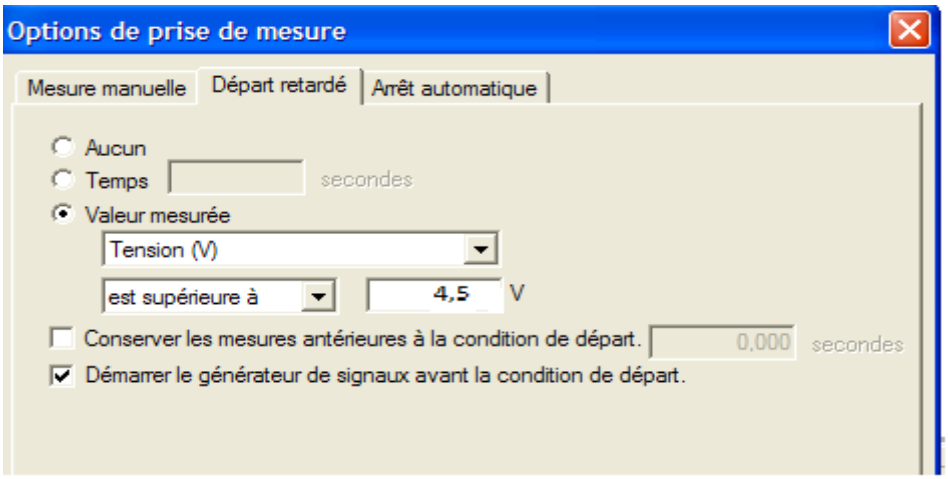
On peut prendre par exemple r_p =10kΩ, C=7µF, L=1,1H, R=20Ω puis R=100Ω puis R=1000Ω

Brancher le générateur de tension continue et le régler sur 5V.

Situer tout d'abord l'interrupteur en position 1 pour charger le condensateur.

Dans le menu « Configurer » :

- ✓ Choisir la fréquence de mesure 1000Hz
- ✓ Cliquer sur « Options d'échantillonnage ». Dans l'onglet « Départ retardé », ⟶ « Valeur mesurée » ⟶ Tension (V) ⟶ passe en dessous de 4,5V ⟶ OK
- ✓ « Options d'échantillonnage » ⟶ Arrêt automatique ⟶ Temps ⟶ 0,25 s ⟶ OK



Démarrer, ensuite basculer l'interrupteur en position 2 pour la décharge de condensateur.

A travers l'outil d'analyse  trouvé dans la barre d'outils du graphique, mesurer la période propre T_0 des oscillations et vérifier que la relation $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ est correcte.

<u>Manipulation 2</u>

Le but de l'expérience est de tracer les courbes E_e ,E_m,E_t sachant que r_p =10kΩ , C=7µF, L=1,1H, R=20Ω

- ✓ E_e = ½.C. U^2

Calculer ⟶ nouveau ⟶ Définition : E_e =1/2*7*10^-6*X^2 ⟶ Variable X ⟶ valeur mesurée ⟶ tension ⟶ OK ⟶ accepter.

- ✓ E_m=1/2 L. i^2

Calculer ⟶ nouveau ⟶ Définition : E_m =1/2*1.1*X^2 ⟶ Variable X ⟶ valeur mesurée ⟶ tension ⟶ OK ⟶ accepter.

- ✓ E_t= E_e + E_m

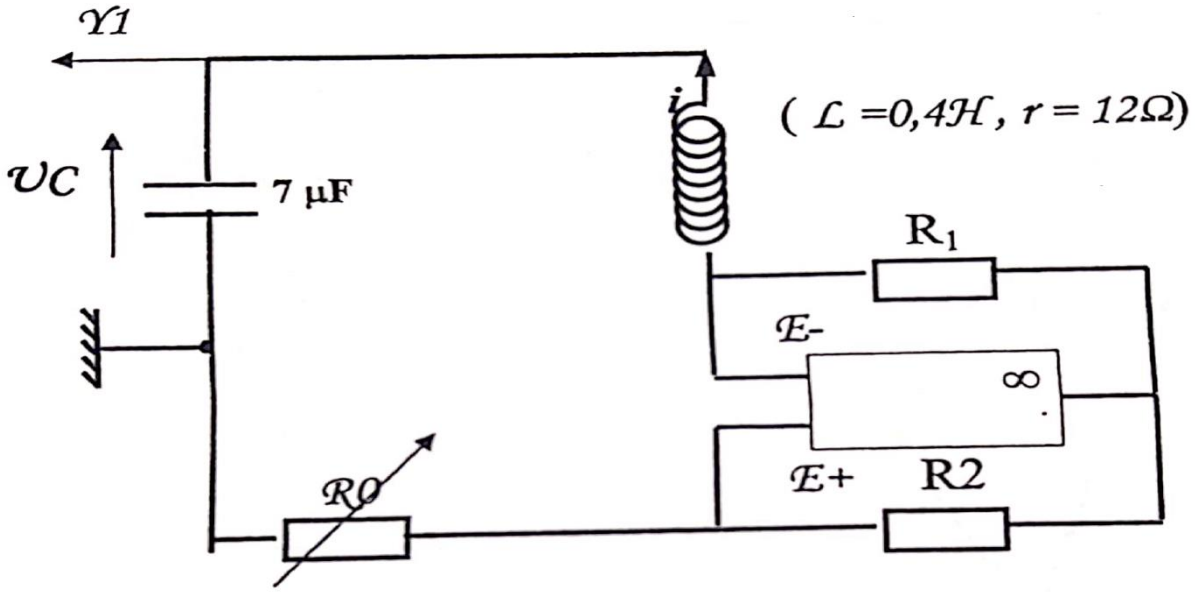
- ✓ Calculer ⟶ nouveau ⟶ Définition : $E_t = X_1 + X_2$ ⟶ accepter ⟶ Variable

X_1 ⟶ valeur mesurée ⟶ E_e ⟶ OK.

X_2 ⟶ valeur mesurée ⟶ E_m ⟶ OK.

Manipulation 3

Réaliser Le montage suivant :



Visualiser la tension aux bornes d'un condensateur à R_0=(0,20,1k) Ω.

- ✓ R_1=R_2=1KΩ
- ✓ Configurer ⟶ 1000 HZ
- ✓ Cliquer sur « Options d'échantillonnage ». Dans l'onglet « Arrêt automatique » ⟶ temps ⟶ 60 ms
- ✓ R_0=0 Ω ⟶ Démarrer
- ✓ R_0=20Ω ⟶ Démarrer
- ✓ R_0=1kΩ ⟶ Démarrer

الورقة التقنية لدراسة التذبذبات الحرة في دارة RLC باستخدام ExAO

الأهداف:

- التمييز بين الأنماط المختلفة لتفريغ المكثف في الوشيعة
- فهم تأثير مقاومة دائرة RLC على الخمود
- تفسير المنحنيات من حيث انتقال الطاقة المخزنة في المكثف والوشيعة وتفسير صيانة على التذبذبات

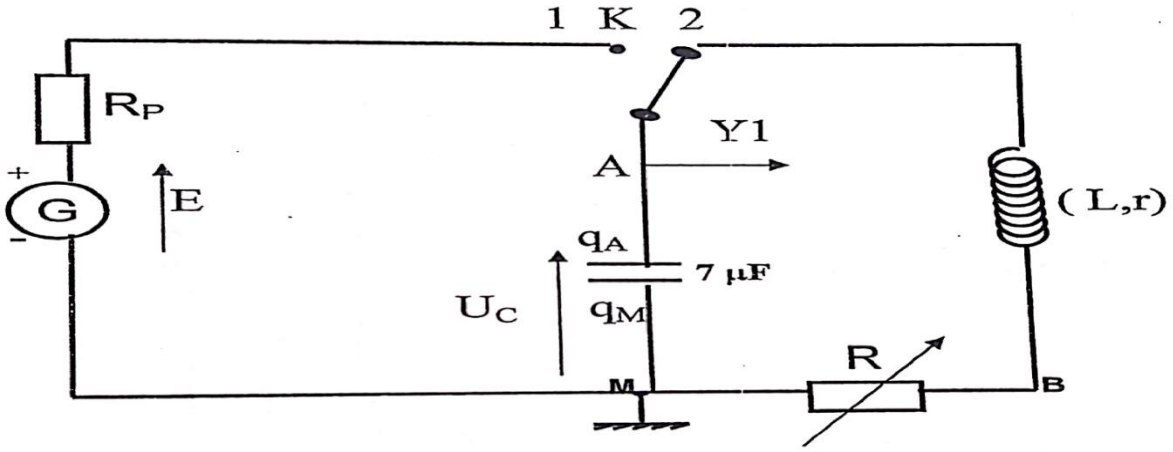
المواد اللازمة:

- واجهة GLX (الواجهة قادرة على تسجيل البيانات والقياس بمرور الوقت)

- لاقط التوتر/التيار
- الكمبيوتر
- برنامج DATASTUDIO (البرنامج الذي يحلل البيانات من التجارب ويقدم تمثيلات للبيانات)
- مولد توتر مستمر قابل للتعديل
- مقاومة متغيرة، مكثف متغير، وشيعة ذات معامل تحريض متغير
- مقاوم الحماية، الأسلاك الكهربائية، المفتاح الكهربائي
- مضخم العملياتي، وتغدية الطاقة

المناولة 1

قم بإجراء التركيب التالي:



يمكننا أن نأخذ على سبيل المثال، $r_p = 10k\Omega$، $C = 7\mu F$، $L = 1.1H$، $R = 20\Omega$ ثم $R = 100\Omega$ ثم $R = 1000\Omega$

وصِّل مولد التوتر المستمر واضبطه على 5v

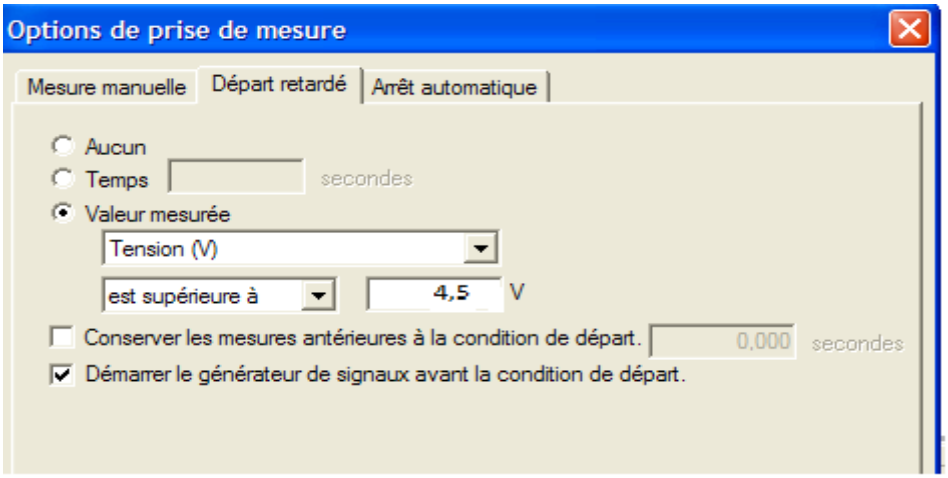
أولاً اضبط المفتاح على الوضع 1 لشحن المكثف.

في قائمة "Configurer ":

- اختر تردد القياس 1000Hz
- انقر على " Options d’échantillonnage " في علامة التبويب "Départ retardé " ←

"Valeur mesurée" ← " Tension (V)" ← "passe en dessous de 4,5V" ← OK

- "Options d’échantillonnage " ← Arrêt automatique ← Temps ← 0,25 s ← OK



ابدأ التشغيل، ثم انتقل إلى الوضع 2 لتفريغ المكثف

باستخدام أداة التحليل في شريط أدوات الرسم البياني، قم بقياس الدور الخاص للتذبذبات وتحقق من صحة العلاقة

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

المناولة 2

الهدف من التجربة هو تتبع المنحنيات E_t, E_m, E_e علما أن $r_p = 10k\Omega$, $C=7\mu F$, $L=1.1H$, $R=20\Omega$

- $E_e = \frac{1}{2}.C.U^2$

Calculer ← nouveau ← Définition : $E_e = 1/2*7*10^{\wedge -6}*X^{\wedge 2}$ ← Variable X

valeur mesurée ← tension ← OK ← accepter.

- $E_m = 1/2\ L.\ i^2$

Calculer ← nouveau ← Définition : $E_m = 1/2*1.1*X^{\wedge 2}$ ← Variable X

valeur mesurée ← tension ← OK ← accepter.

- $E_t = E_e + E_m$

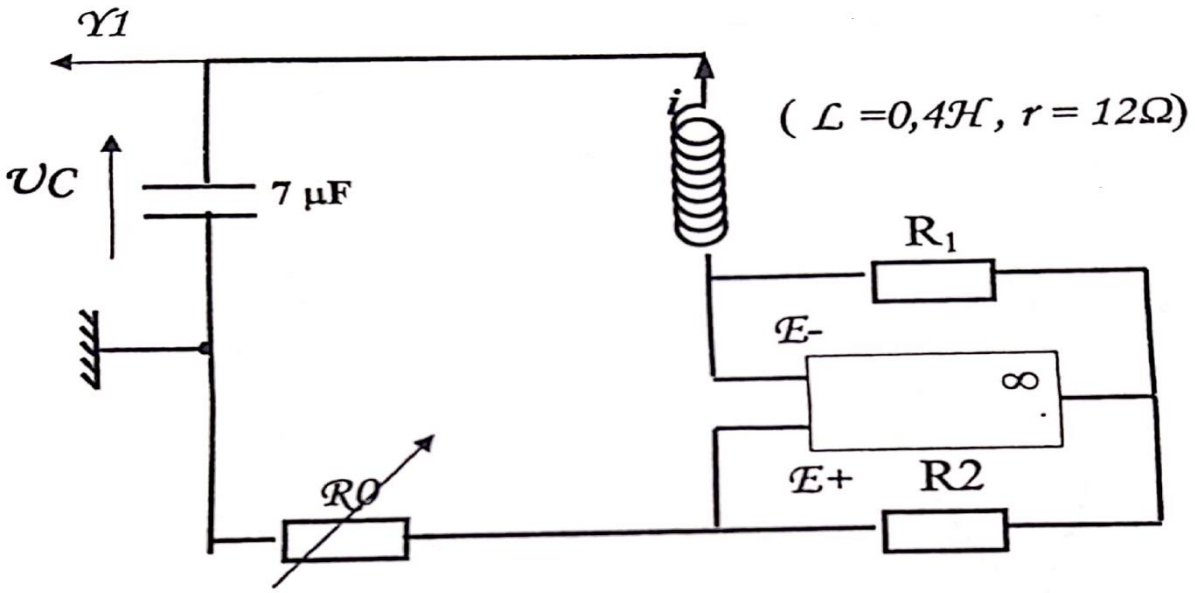
Calculer ← nouveau ← Définition : $E_t = X_1 + X_2$ ← accepter ← Variable

X_1 ← valeur mesurée ← E_e ← OK.

X_2 ← valeur mesurée ← E_m ← OK.

المناولة 3

قم بإجراء التركيب التالي:



نعاين التوتر بين مربطي المكثف عند Ω (0,20,1k)=R_0.

- $R_1=R_2=1K\Omega$
- Configurer ⟵ 1000 HZ
- انقر على " Options d’échantillonnage " في علامة التبويب " Arrêt automatique " ⟵
  temps ⟵ 60 ms
- $R_0=0\ \Omega$ ⟵ Démarrer
- $R_0=20\ \Omega$ ⟵ Démarrer
- $R_0=1\ k\Omega$ ⟵ Démarrer

Annexe 3: Pré-test de l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC

QCM

1- Les élèves peuvent réaliser un oscillateur à l'aide de tout condensateur de capacité C et de toute bobine d'inductance L, telle que la période de cet oscillateur soit $T_0 = \pi.LC^2$.

Choisir la réponse correcte

□ Vrai □ Faux

2- Lorsqu'on diminue la valeur de la résistance dans un circuit électrique (L, C), on diminue son temps d'amortissement.

Choisir la réponse correcte

□ Vrai □ Faux

3- Si on augmente la capacité d'un condensateur dans un circuit électrique (L, C),

on augmente la période propre de l'oscillateur.

Choisir la réponse correcte

□ Vrai □ Faux

4. Si dans un oscillateur électrique (L, C), on multiplie par quatre la capacité du condensateur et par quatre l'inductance de la bobine, on multiplie la valeur de la période propre par 4.

Choisir la réponse correcte

□ Vrai □ Faux

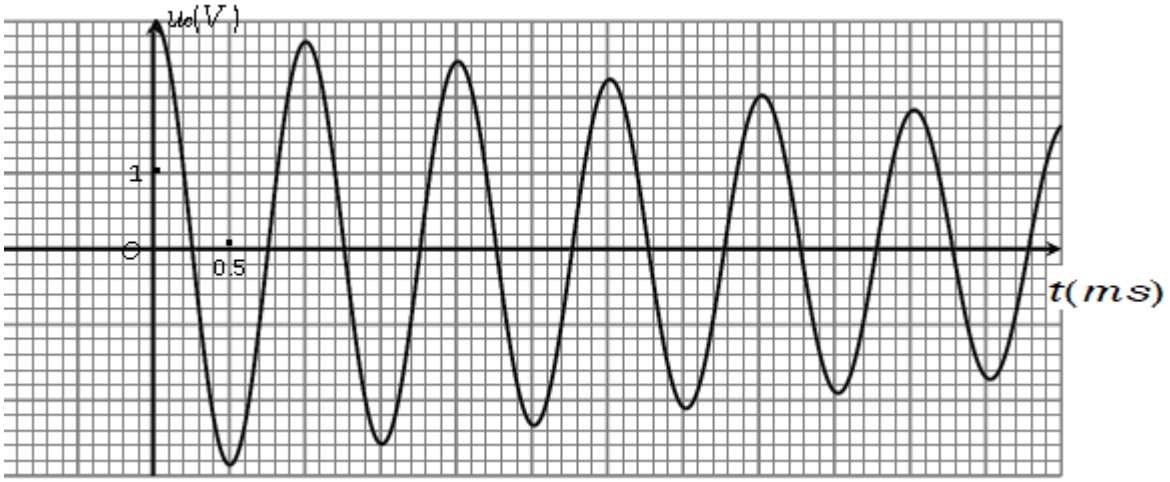
5- Dans un circuit RLC, l'énergie stockée dans le condensateur initialement chargé va être intégralement transmise à la bobine.

Choisir la réponse correcte

□ Vrai □ Faux

Exercice :

On dispose d'un circuit (R, L, C) série. Le condensateur a une capacité C = 0, 25µF, initialement chargé par un générateur E = 6V et de résistance interne négligeable et la bobine de résistance r et d'inductance L. A l'aide d'un oscilloscope, on visualise l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur et on obtient le graphe suivant :



1- De quel régime d'oscillation s'agit-il ?

2- Comment explique-t-on l'amortissement des oscillations ?

3- Mesurer la pseudopériodique T des oscillations.

4- Donner l'expression de la période propre T_0 de ces oscillations.

5- Calculer la valeur de l'inductance L de la bobine, sachant que la pseudopériode est égale à la période propre.

6- Pour entretenir ces oscillations, on branche en série avec le circuit (R, L, C) un générateur de tension tel que

$u_g = R_0 .i$. Pour quelle valeur de R_0 on peut obtenir desoscillations non amorties ?

استبيان متعدد الخيارات

1- يمكن للتلاميذ إنشاء متذبذب باستخدام أي مكثف سعته C وأي وشيعة معامل تحريضها L، بحيث تكون الدور لهذا المتذبذب $T0 = \pi.LC^2$.

اختر الإجابة الصحيحة

□ صحيح □ خطأ

2- عندما نقوم بتخفيض قيمة المقاومة في الدارة الكهربائية (L,C) فإننا نقوم بتخفيض زمن خمودها.

اختر الإجابة الصحيحة

□ صحيح □ خطأ

3- إذا قمنا بزيادة سعة مكثف في دارة كهربائية (L، C)، يزداد ا الدور الخاص للمتذبذب.

اختر الإجابة الصحيحة

□ صحيح □ خطأ

4. إذا قمنا في المتذبذب الكهربائي (L, C) بضرب سعة المكثف بأربعة ومعامل تحريض وشيعة بأربعة، فإننا نضرب قيمة الدور الخاص بـ 4.

اختر الإجابة الصحيحة

□ صحيح □ خطأ

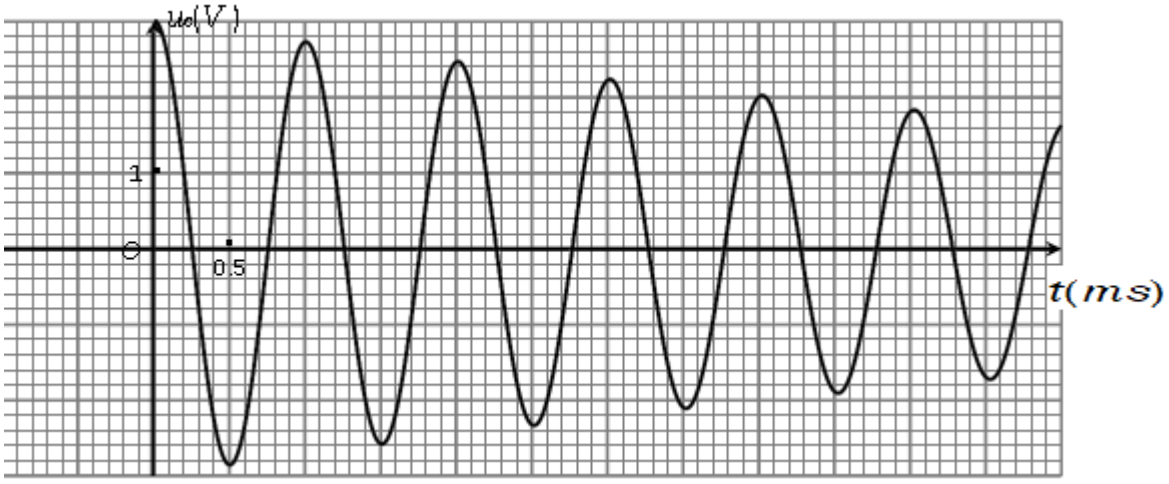
5- في دارة RLC، سيتم نقل الطاقة المخزنة في المكثف المشحون في البداية بالكامل إلى الوشيعة.

اختر الإجابة الصحيحة

□ صحيح □ خطأ

تمرين:

لدينا دارة متتالية (R، L، C). يتمتع المكثف بسعة C = 0, 25µF، ويتم شحنه مبدئيًا بواسطة مولد E = 6V وبمقاومة داخلية مهملة ووشيعة مقاومتها r و ومعامل تحريضها L. باستخدام راسم التذبذبات، نعاين تطور توتر $u_C(t)$ بين قطبي مكثف ونحصل على الرسم البياني التالي:



1- ما هو نظام التذبذبات؟

2- كيف نفسر خمود التذبذبات؟

3- حدد شبه الدور للتذبذبات.

4- أعط التعبير الدور الخاص T_0 لهذه التذبذبات.

5- احسب معامل تحريض وشيعة L علما أن الدور الخاص تساوي شبه الدور.

6- للمحافظة على هذه التذبذبات نوصل على التوالي مع الدارة (R,L,C) مولد توتر بحيث $u_g = R_0.i$. ما هي قيمة R_0 التي يمكننا الحصول على تذبذبات غير مخمدة؟

Annexe 4: Post-test de l'étude des oscillations libres dans un circuit RLC à l'aide de l'ExAO

QCM

1- Dans un circuit RLC, si on double la valeur de L, la pseudo-période des oscillations sera multipliée par deux.

Choisir la réponse correcte

□ Vrai □ Faux

2- Dans un circuit RLC régime d'oscillations pseudo périodiques, L = 0, 5 H et on veut T_0 = 20 ms pour la pseudo-période des oscillations. Doit-on choisir pour la capacité du condensateur ?

Choisir la réponse correcte

□ 20 µF □ 3 µF □ 5 mF

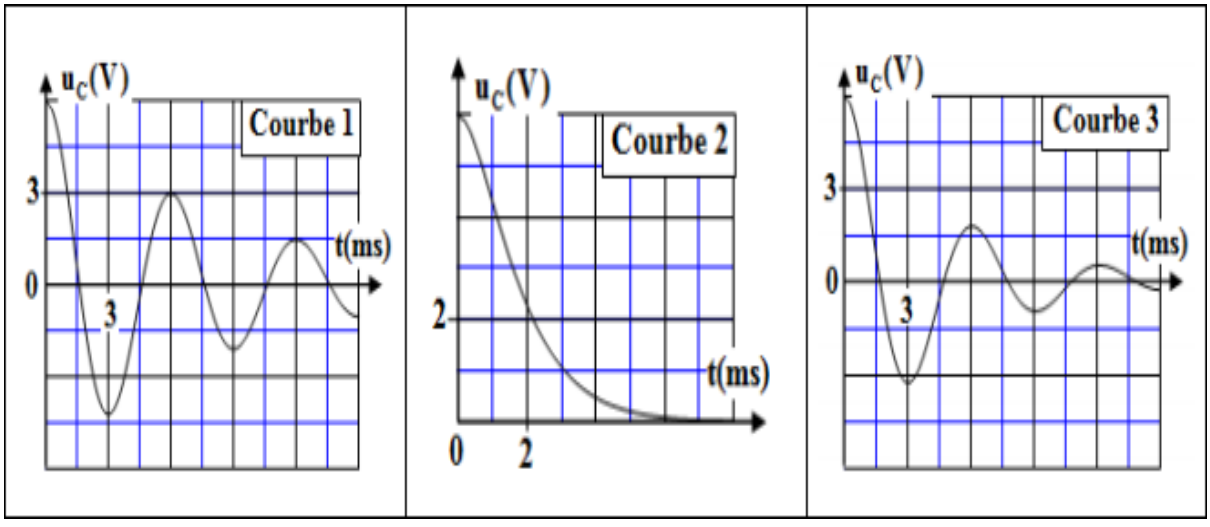
3 -Lorsque la valeur L de l'inductance d'un circuit RLC diminue, il y a diminution de l'amortissement des oscillations dans le circuit.

Choisir la réponse correcte

□ Vrai □ Faux

Exercice 1 :

On monte en série la bobine d'inductance L= 60mH et le conducteur ohmique précédents avec un condensateur de capacité C préalablement chargé. Les courbes 1, 2 et 3 représentent les variations de la tension $u_C(t)$ entre les bornes du condensateur pour différentes valeurs de la résistance du conducteur ohmique.



1- Compléter le tableau suivant en liant le numéro de la courbe à la valeur de la résistance R qui lui correspond.

	R = 10 Ω	R = 20 Ω	R = 123 Ω
numéro de la courbe	.....	.....	....

2- On considère la courbe (1) :

2-1- Donner la valeur de la pseudo période T des oscillations électriques.

2-2- En supposant que la pseudo période T est égale à la période propre T_0 des oscillations libres d'oscillateur (LC), vérifier que la valeur de la capacité est C =15 µF.

2-3-Pour entretenir ces oscillations, on branche en série un générateur de tension tel que $u_g = R_0 .i$ avec le circuit (R,L,C) . Quelle valeur de R_0 permet-elle d'obtenir des oscillations non amorties ?

Exercice 2 :

Les courbes de la figure (1) représentent les variations en fonction du temps de l'énergie électrique E_e emmagasinée dans le condensateur, l'énergie magnétique E_m emmagasinée dans la bobine et l'énergie totale E_T du circuit, tel que $E_T = E_e + E_m$.

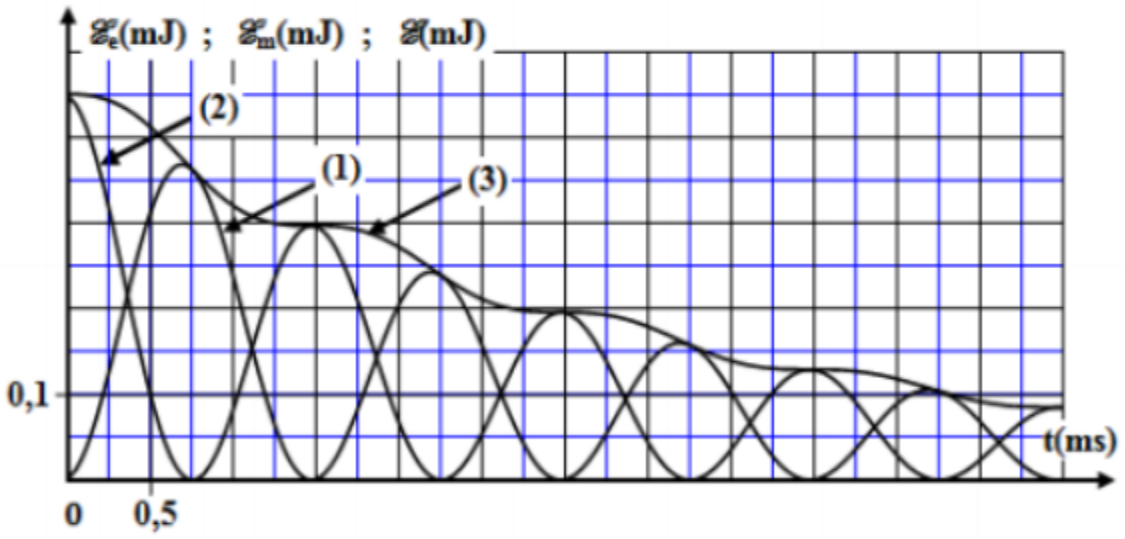


Figure (1)

1- Donner, la courbe qui correspond à l'énergie magnétique E_m en justifiant la réponse.

2- Déterminer, entre les instants t_0 =0 et t_1= 3ms, la variation ΔE de l'énergie totale du circuit.

استبيان متعدد الخيارات

1- في دارة RLC، إذا ضاعفنا قيمة L، فإن شبه الدور للتذبذبات ستتضاعف.

اختر الإجابة الصحيحة

□ صحيح □ خطأ

2 - في دارة RLC ذات تذبذبات شبه دورية، L = 0, 5 H و نريد T = 20 ms شبه الدور. ماهي سعة المكثف؟

اختر الإجابة الصحيحة

□ 5 mF □ 3 µF □ 20 µF

3 - عندما تنخفض قيمة L لمعامل تحريض في دارة RLC، يحدث انخفاض في خمود التذبذبات في الدارة.

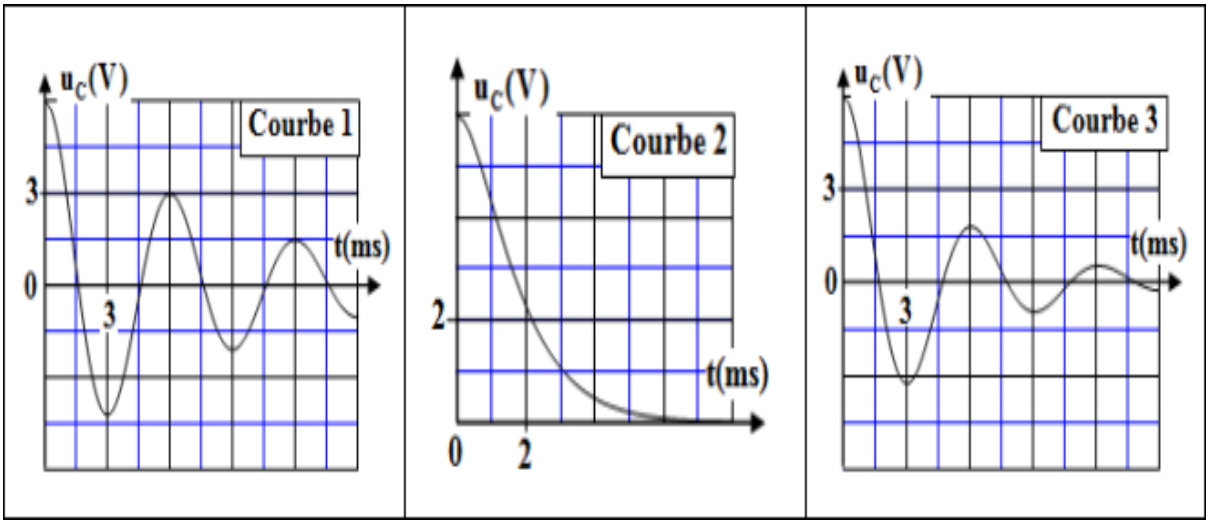
اختر الإجابة الصحيحة

□ صحيح □ خطأ

تمرين 1:

يتم توصيل وشيعة ذات معامل تحريض L=60mH والموصل الأومي على التوالي مع مكثف بسعة C مشحون مسبقًا.

تمثل المنحنيات 1 و2 و3 تغيرات التوتر $u_C(t)$ بين أطراف المكثف لقيم مختلفة لمقاومة الموصل الأومي.



1- أكمل الجدول التالي من خلال ربط رقم المنحنى بقيمة المقاومة R المقابلة له.

	R = 10 Ω	R = 20 Ω	R = 123 Ω
numéro de la courbe	.....	.....	....

2- نعتبر المنحنى (1):

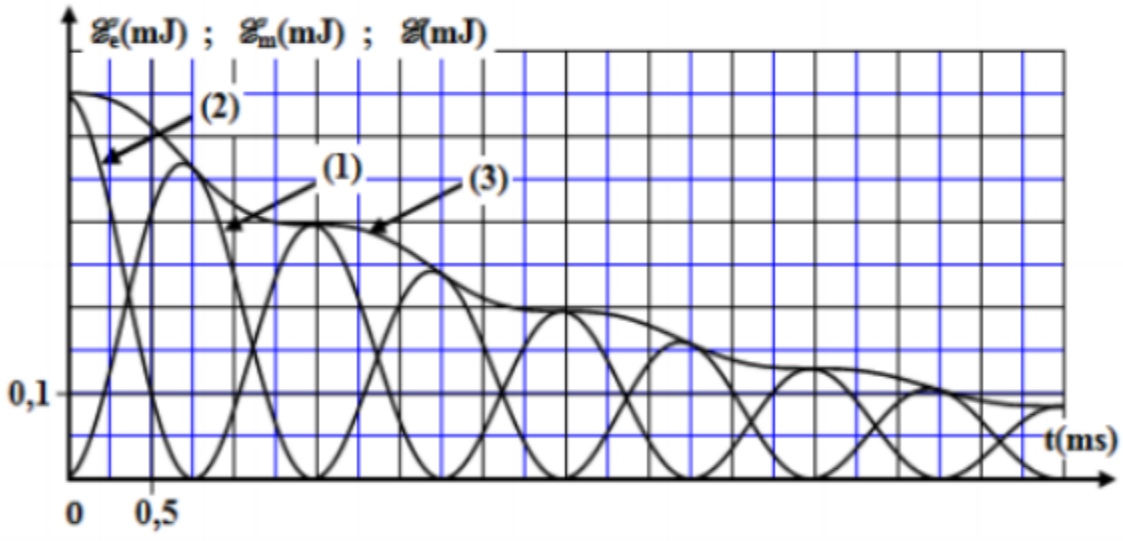
2-1- أعط قيمة شبه الدور T للتذبذبات الكهربائية.

2-2- بافتراض أن شبه الدور T تساوي الدورة الخاص T_0 لتذبذبات المذبذب الحر (LC C)، تأكد أن قيمة السعة هي C C =15 µF.

2-3- للمحافظة على هذه التذبذبات نقوم بتوصيل مولد توتر على التوالي بحيث $u_g = R_0 . i$ مع الدارة (R,L,C). ما هي قيمة R_0 التي تسمح بالحصول على تذبذبات غير مخمدة؟

تمرين 2:

تمثل المنحنيات في الشكل (1) التغيرات مع الزمن للطاقة الكهربية E_e المخزنة في المكثف والطاقة المغناطيسية E_m المخزنة في الوشيعة الطاقة الكلية E_T للدائرة الكهربية، بحيث تكون الطاقة الكهربائية $E_T = E_e + E_m$.



شكل (1)

1- أعط المنحنى الذي يوافق الطاقة المغناطيسية E_m معللا الإجابة.

2- حدد بين الزمنين $t_0 = 0$ و $t_1 = 3ms$ التغير ΔE للطاقة الكلية للدارة.

Annexe 5: Fiche technique de l'étude la modulation d'amplitude et de la démodulation d'amplitude via le simulateur Electronics WorkBench

1. Modulation d'amplitude

Pour réaliser la modulation, on utilise deux générateurs basses fréquences et un multiplieur X.

- On choisit pour la porteuse (G.B.F.1) : U_{1m} = 7 V et f_1 = 4 kHz.
- On Choisit pour le signal modulant (G.B.F.2) : U_0 = 6 V ; U_{2m} = 2 V et f_2 = 100 Hz.
- On réalise le signal modulé à l'aide du multiplieur X.

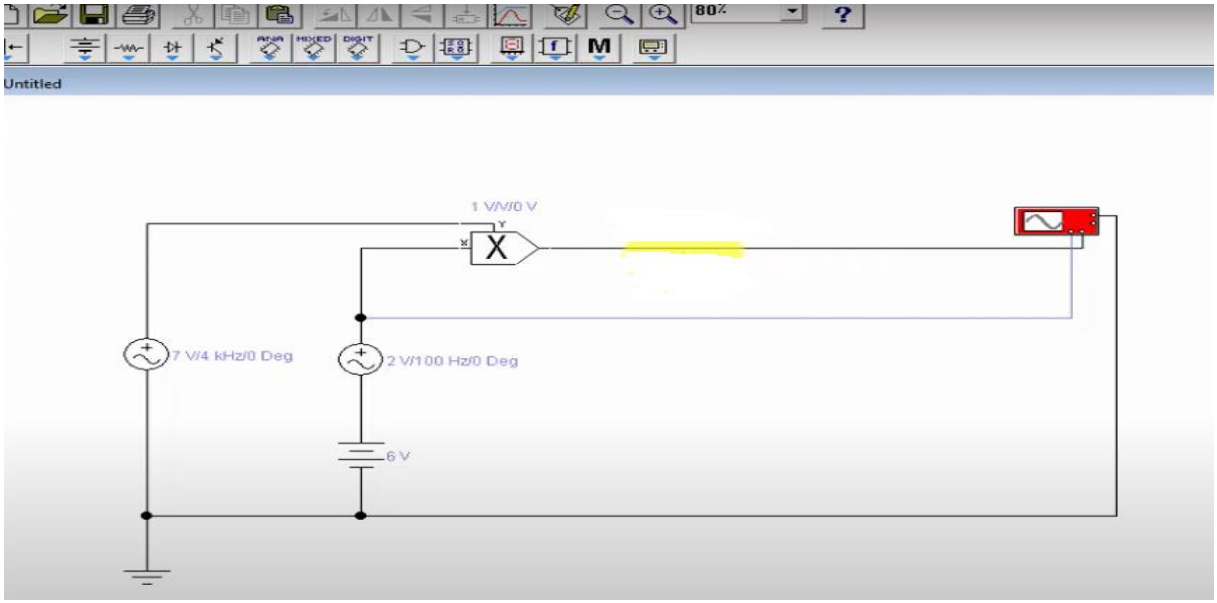


Figure 1. Schéma d'un circuit de la modulation d'amplitude

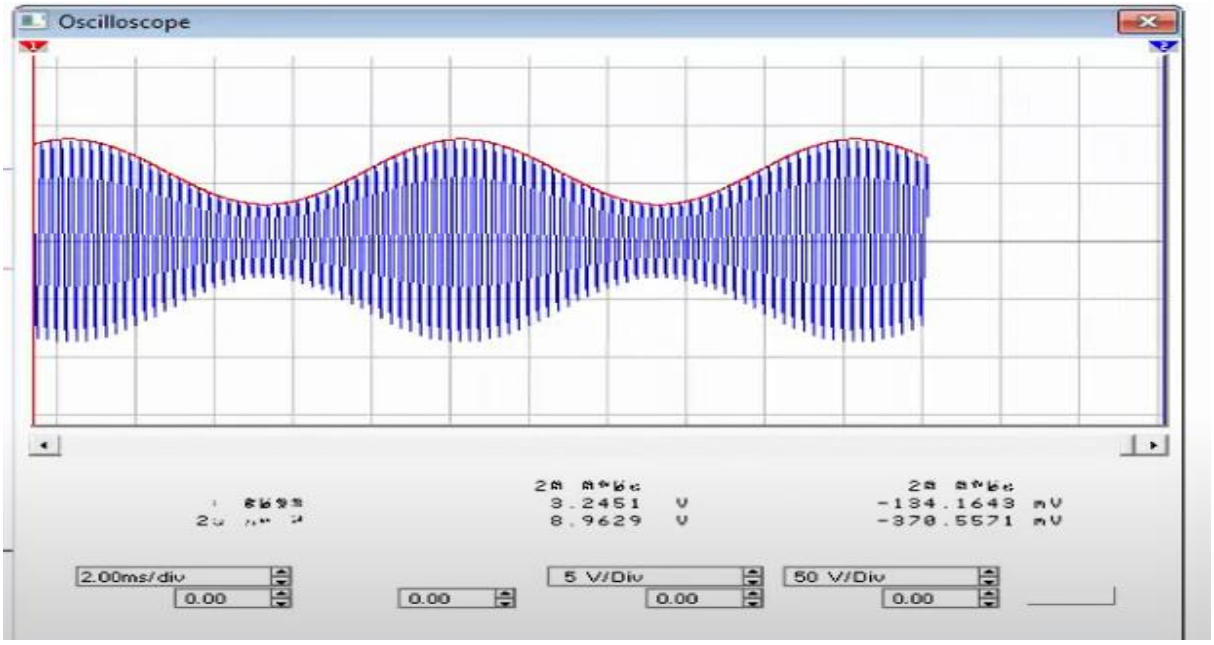


Figure 2. Résultat de la simulation de la modulation d'amplitude

2. Démodulation d'amplitude

Les étapes de la réalisation de la démodulation d'amplitude :

- Etape 1 : Rôle de la diode de détection

Après la réalisation le montage de la modulation d'amplitude. On branche en série avec le multiplieur une diode de détection et une résistance $R_1 = 2\ k\Omega$ comme indiqué sur le schéma suivant :

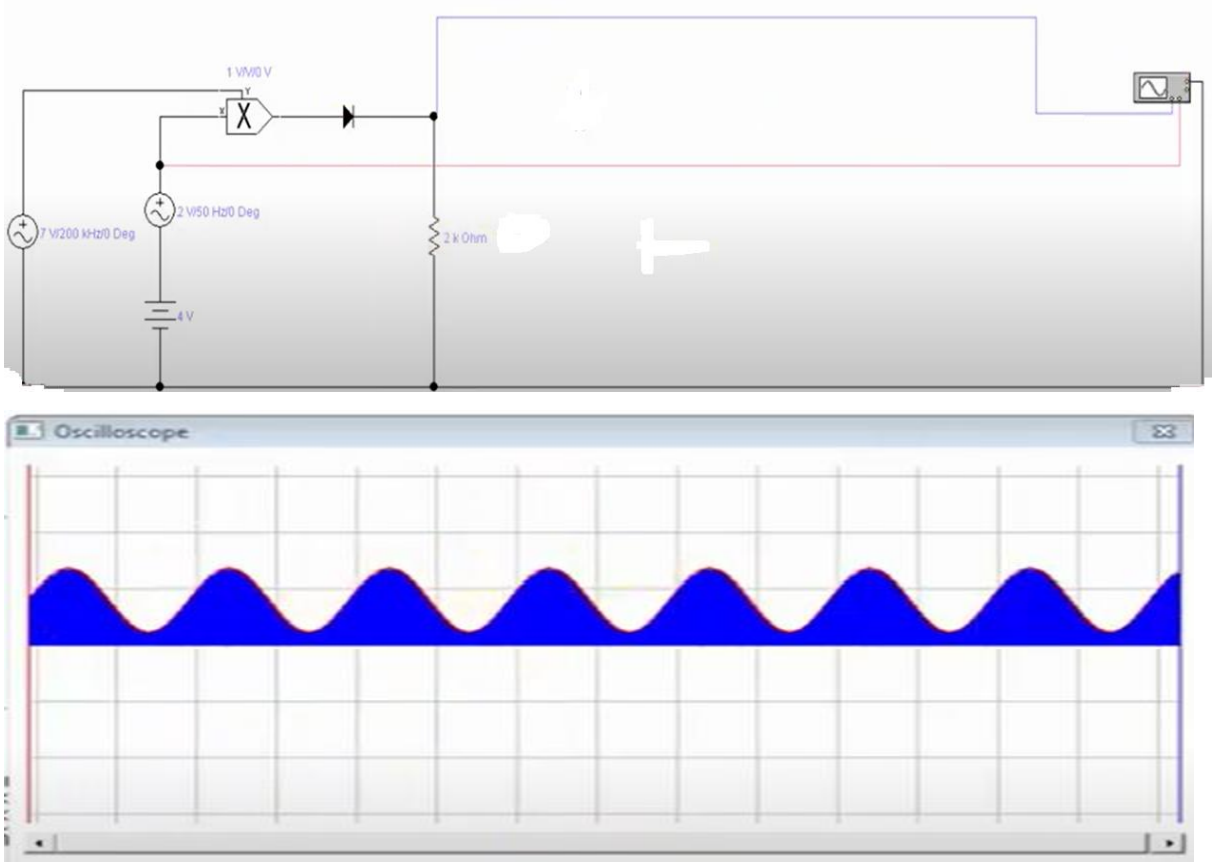
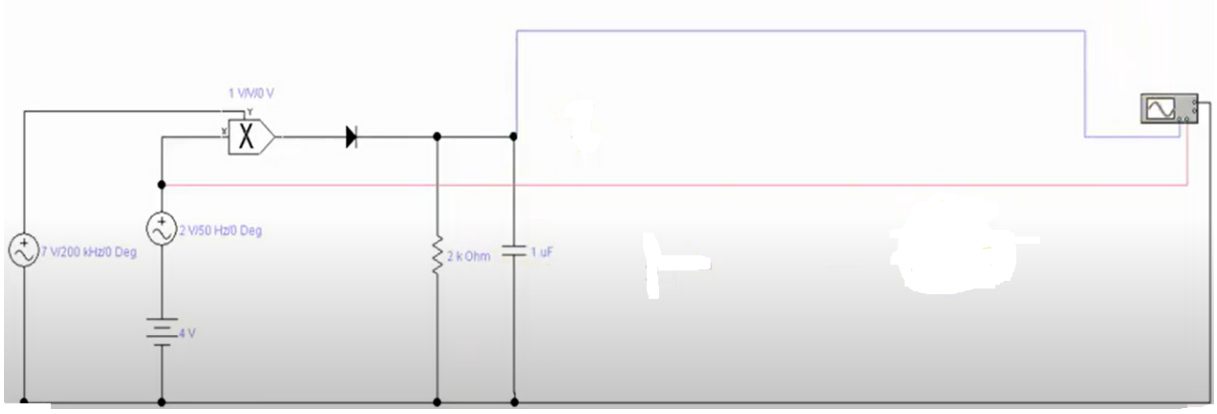


Figure 3. Le signal aux pôles de la résistance R_1

- Etape 2 : Détection de l'enveloppe par le circuit R_1C_1

On connecte le condensateur C_1 ($C_1 = 1\ \mu F$) en parallèle avec la résistance R_1 comme indiqué sur le schéma suivant :



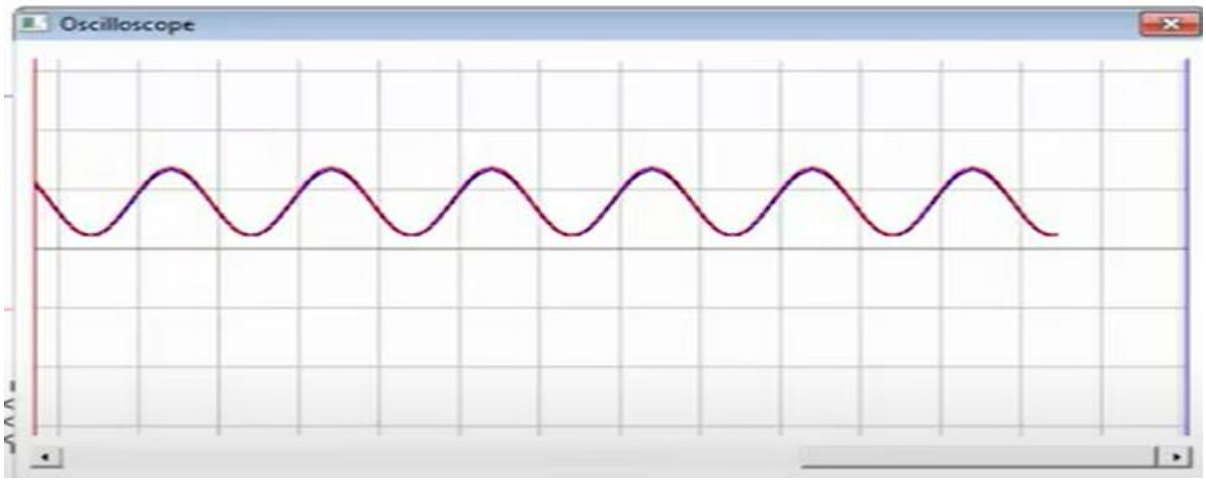


Figure 4. Le signal aux pôles du condensateur C_1

- <u>Etape 3 : Élimination de la composante continue</u>

On ajoute au montage précédent un filtre R_2C_2 (R_2 = 20 kΩ ; C_2 = 1 µF) comme indiqué sur le circuit suivant :

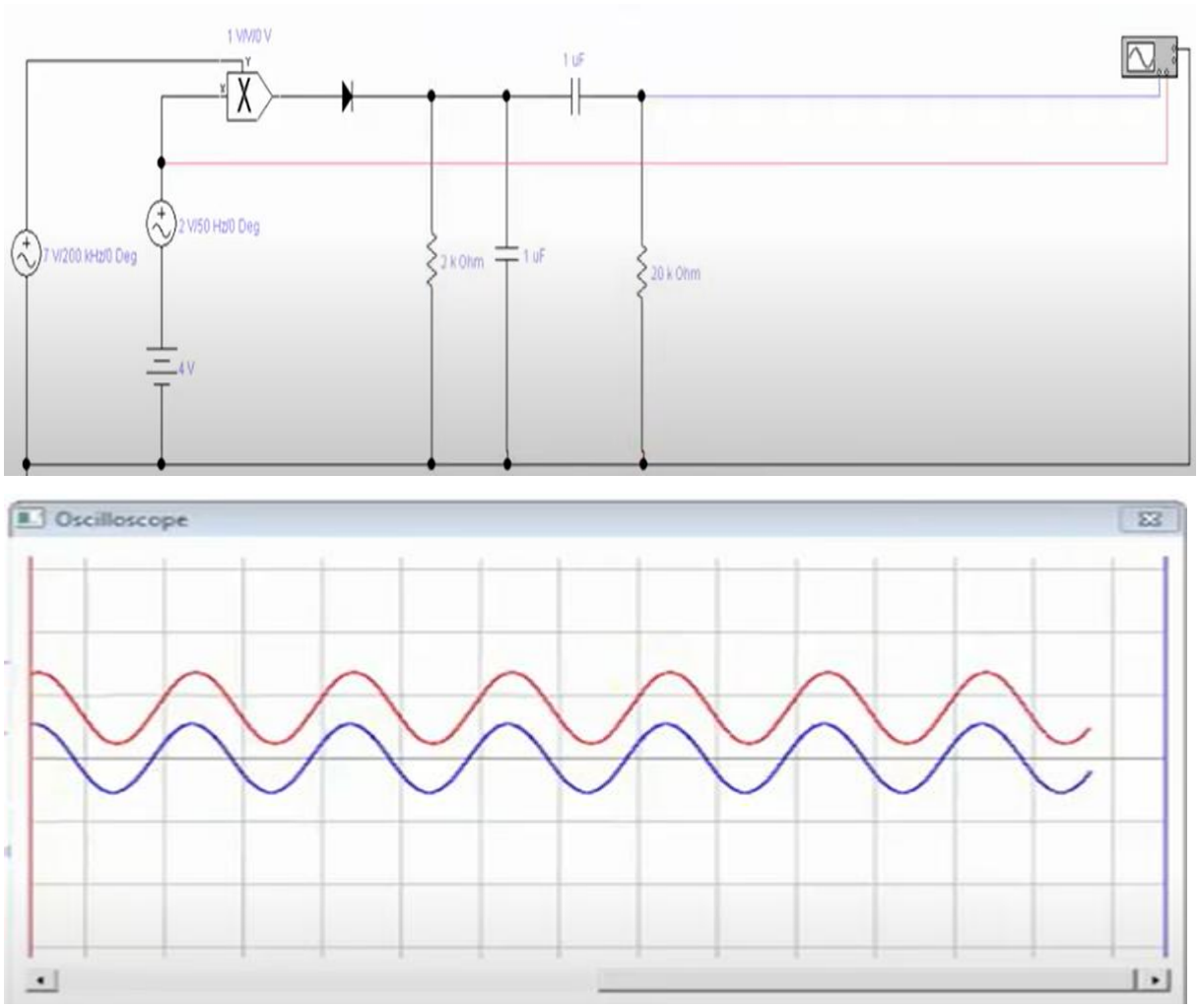


Figure 5. Le signal aux pôles de la résistance R_2

الورقة التقنية لدراسة تضمين وإزالة التضمين باستخدام محاكي Electronics WorkBench

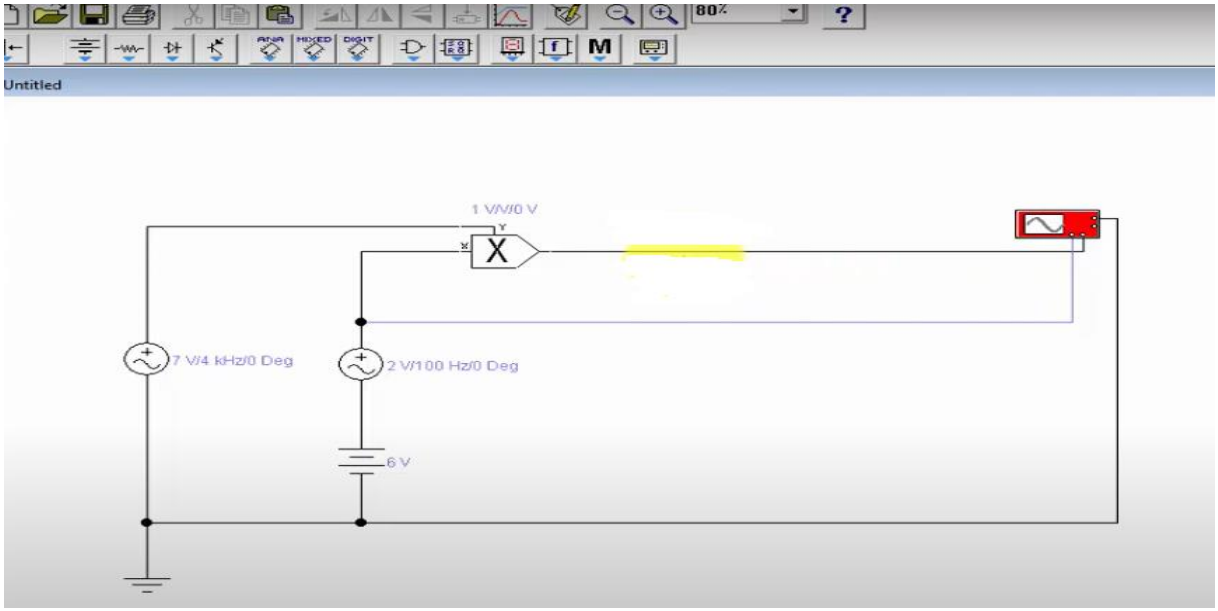
1. تضمين الوسع

لتنفيذ التضمين، يتم استخدام مولدين منخفضي التردد ومضاعف X.

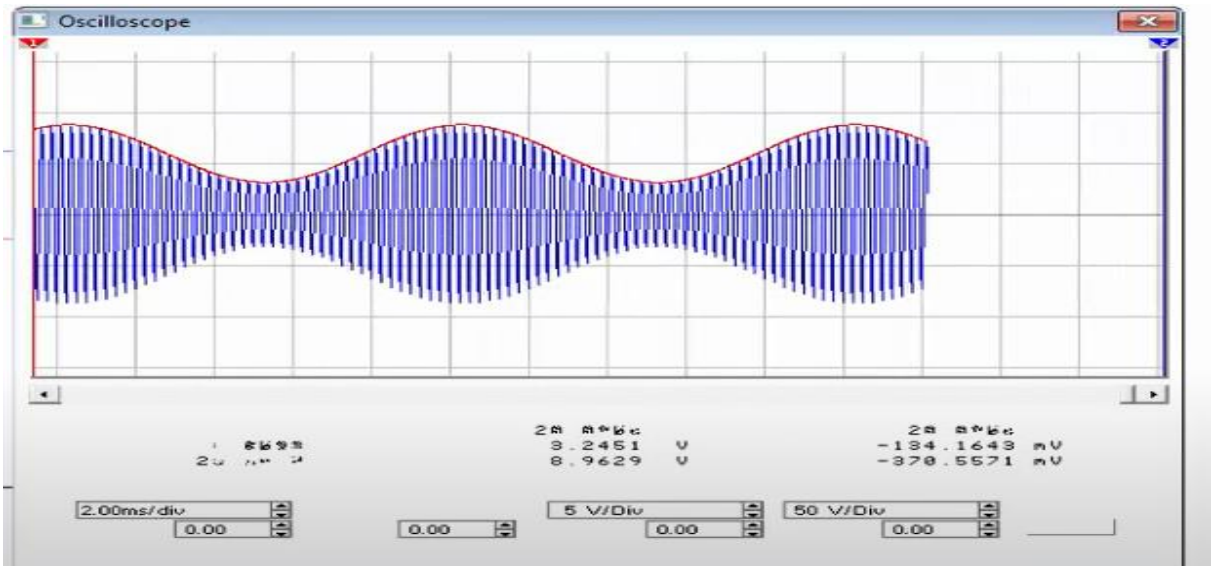
- نختار الموجة الحاملة (G.B.F.1): $U_{1m} = 7\ V$ et $f_1 = 4\ kHz$.

- نختار الإشارة المضَّمنة (G.B.F.2) : $U_0 = 6\ V$; $U_{2m} = 2\ V$ et $f_2 = 100\ Hz$.

- ننتج الإشارة المضَّـمنة باستخدام المضاعف



شكل 1. رسم لدارة تضمين الوسع



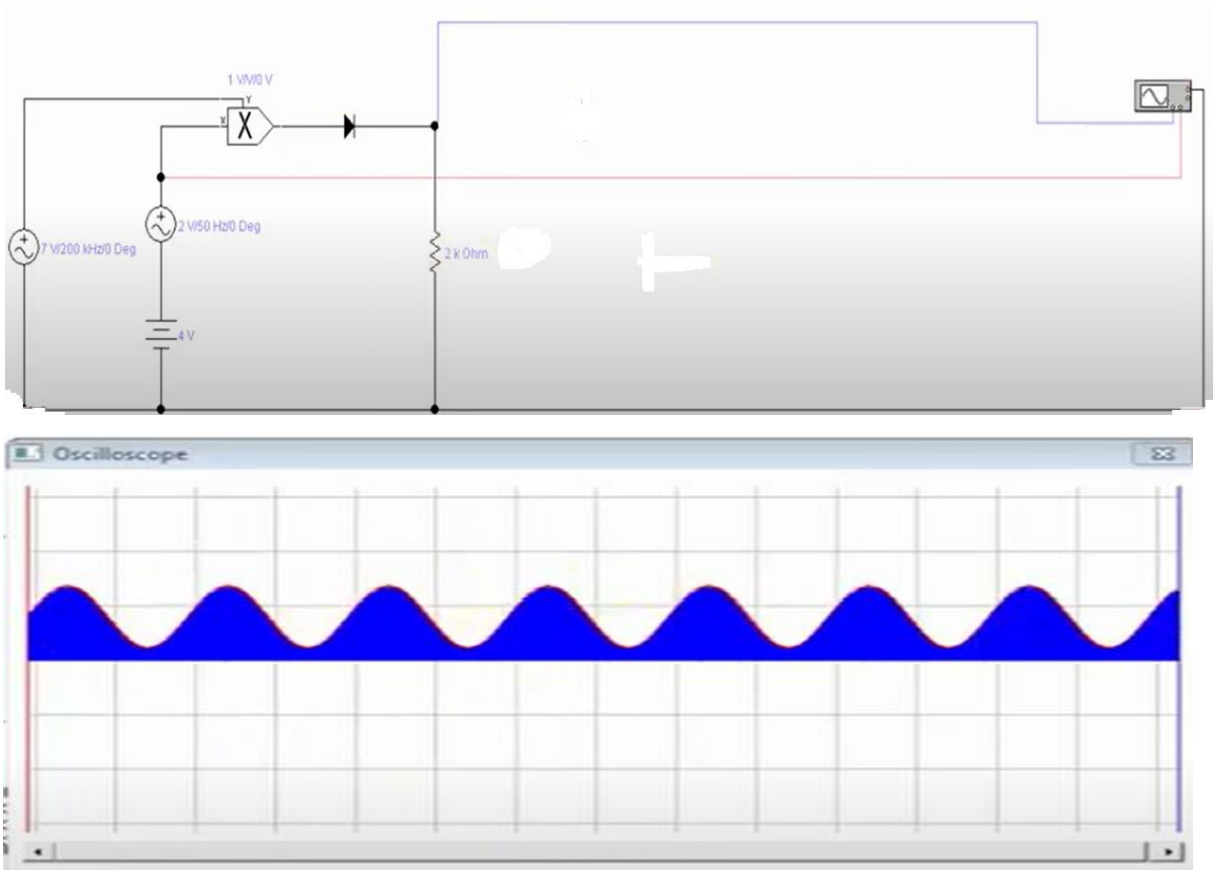
شكل 2. نتيجة محاكاة تضمين الوسع

2. إزالة التضمين

مراحل إنجاز إزالة التضمين:

- الخطوة 1: دور الصمام الثنائي للكشف

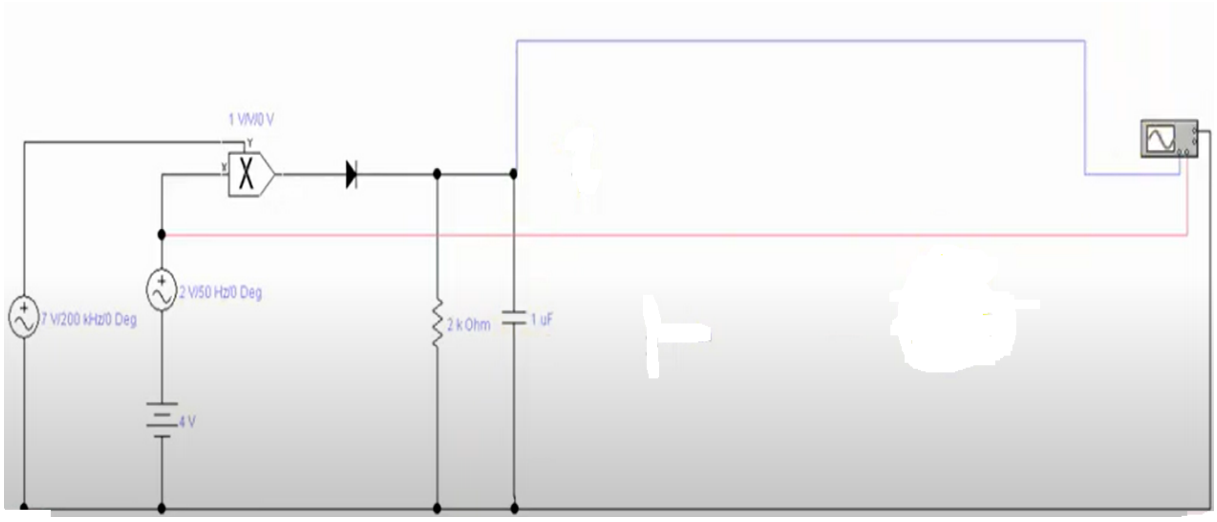
عد الانتهاء، تركيب التضمين. نقوم بتوصيل ثنائي الكشف والمقاومة $R_1 = 2\ k\Omega$ على التوالي مع المضاعف كما هو موضح في الرسم البياني التالي:

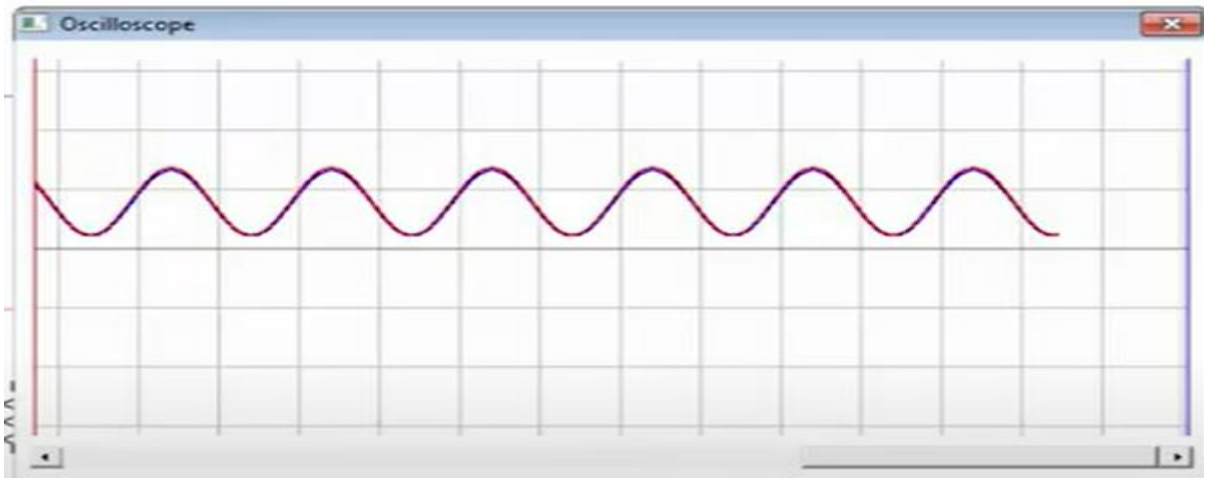


شكل 3. الإشارة عند قطبي المقاومة R_1

الخطوة 2: الكشف عن الغلاف بواسطة الدارة R_1C_1

نقوم بتوصيل المكثف ($C_1 = 1\ \mu F$) C_1 على التوازي مع المقاومة R_1 كما هو موضح في الرسم البياني التالي:

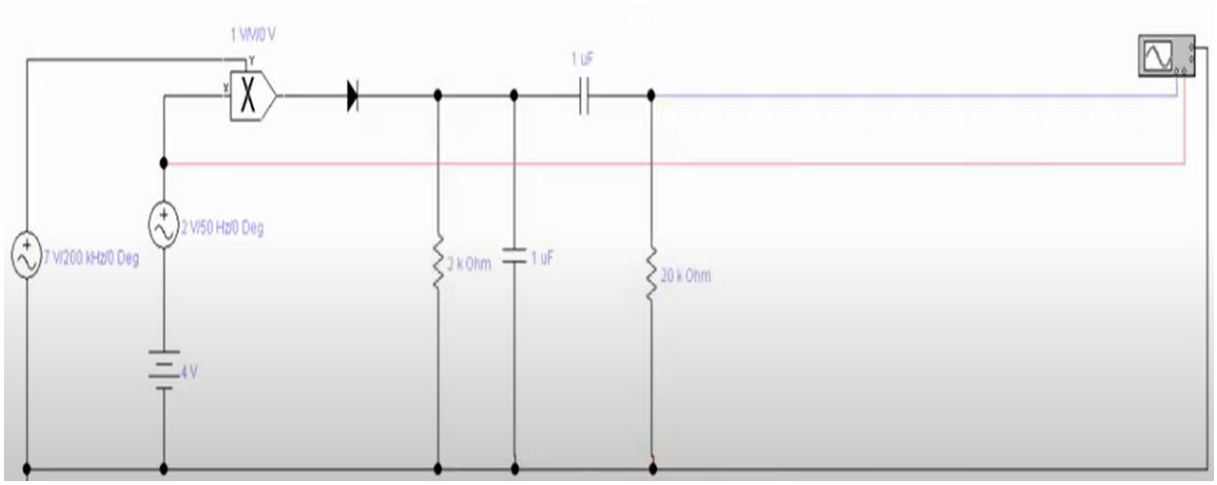


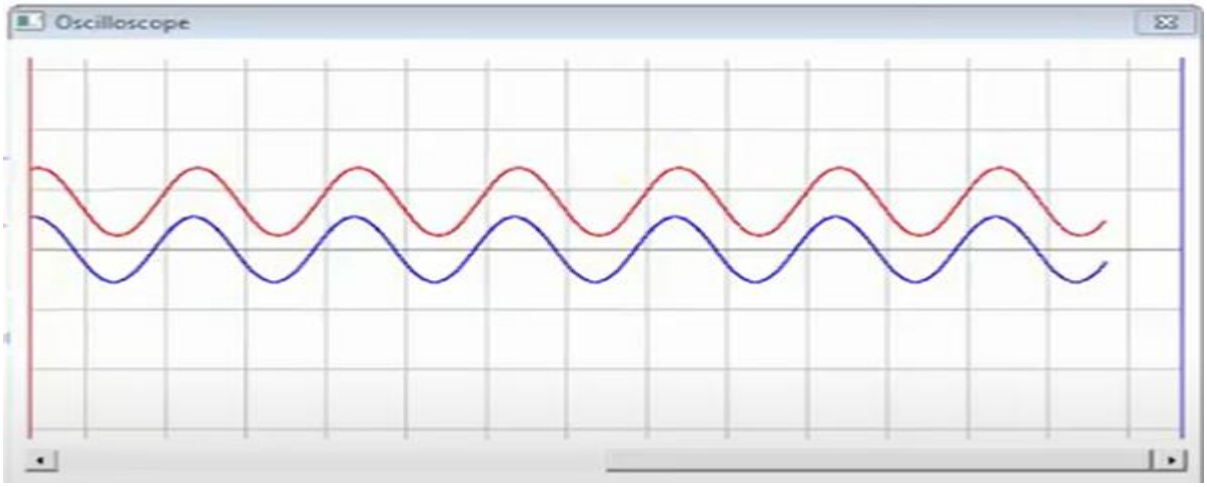


شكل 4 .الإشارة عند قطبي المكثف C_1

- الخطوة 3: إزالة مركبة التيار المستمر

نضيف إلى التركيب السابق مرشح R_2C_2 ($R_2 = 20\ k\Omega$; $C_2 = 1\ \mu F$) كما هو موضح في الدارة التالية:



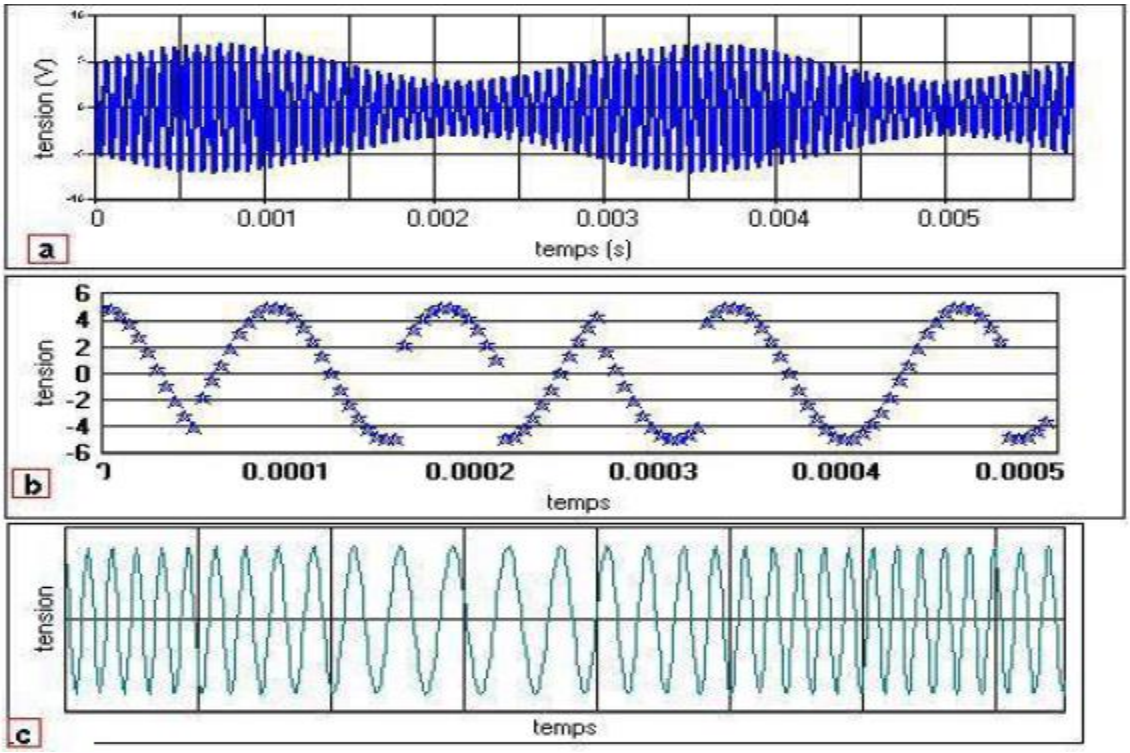


شكل 5 .الإشارة عند قطبي المقاومة R_2

Annexe 6: Pré-test de l'étude de la modulation d'amplitude et de la démodulation d'amplitude

QCM

1- Parmi les oscillogrammes représentés, lequel correspond à celui d'une tension modulée en amplitude :

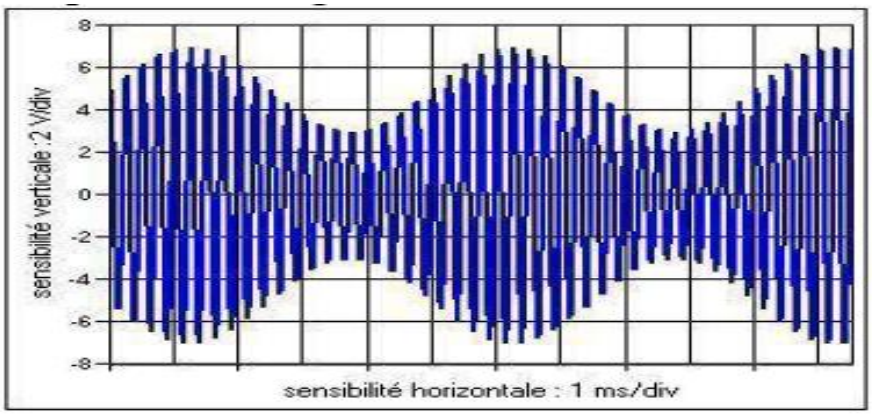


□ a

□ b

□ c

2- D'après l'oscillogramme d'une tension modulée en amplitude représenté :



□ La fréquence du signal modulant est voisine de 4000Hz

□ La fréquence de la porteuse est voisine de 4000Hz

Exercice

1. Émission du signal.

Le montage de modulation d'amplitude, utilisé pour l'émission et réalisé à l'aide d'un multiplieur, est représenté sur la figure 1 :

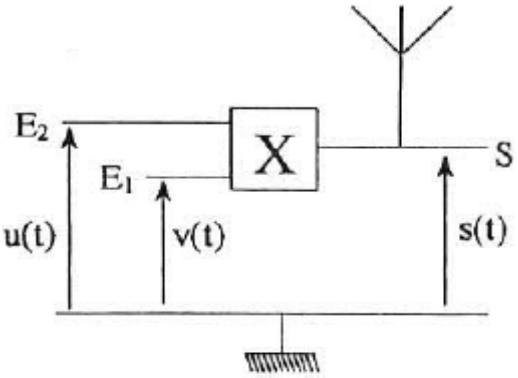


Figure 1

Pour engendrer l'onde porteuse de fréquence F, on envoie sur l'entrée E_1 du multiplieur la tension $v(t) = V_m\cos(2\pi F t)$.

Le signal à transmettre, de fréquence f et d'amplitude Um est $u_1(t) = U_m\cos(2\pi f t)$. On lui ajoute une tension continue U_0, appelée tension de décalage ou tension offset.

On obtient alors $u(t) = U_0 + u_1(t) = U_0 + U_m\cos(2\pi f t)$ qu'on envoie sur l'entrée E_2.

À l'aide d'un dispositif d'acquisition de données, branché sur la sortie S du multiplieur, on observe sur l'écran de l'ordinateur, la courbe s(t) représentée ci-dessous (fig. 2)

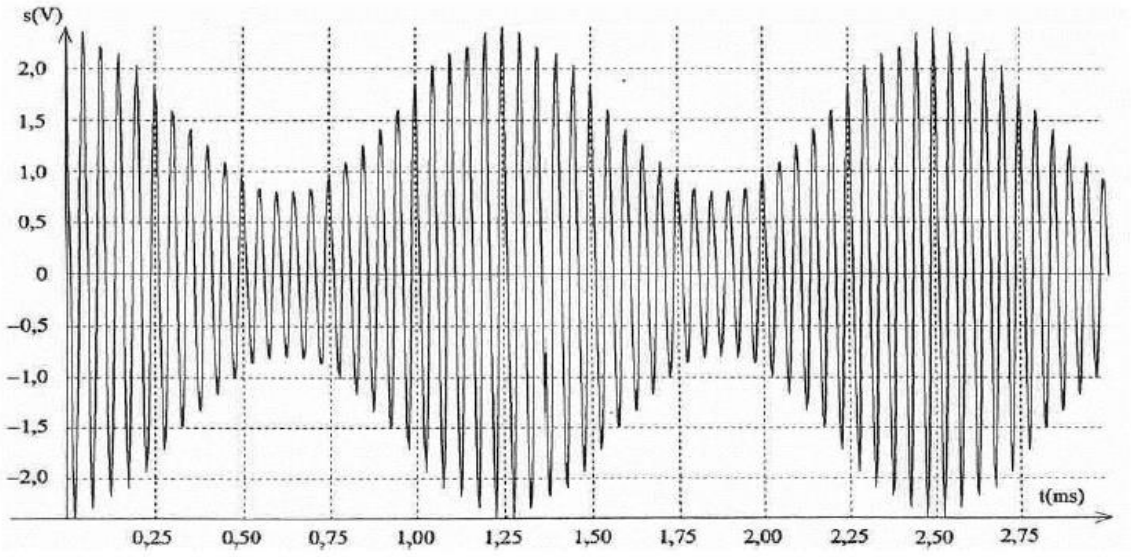


Figure 2

1.1.1. Pourquoi faut-il ajouter une tension de décalage au signal à transmettre ?

1.1.2. Quelle condition doit vérifier le rapport $m = \frac{U_m}{U_0}$ pour réaliser une bonne modulation ? (m est appelé taux de modulation).

1.2. Le multiplieur donne en sortie une tension s(t) proportionnelle au produit des tensions appliquées sur les entrées : $s(t) = k.u(t).v(t)$.

Le coefficient k est une constante qui ne dépend que du multiplieur.

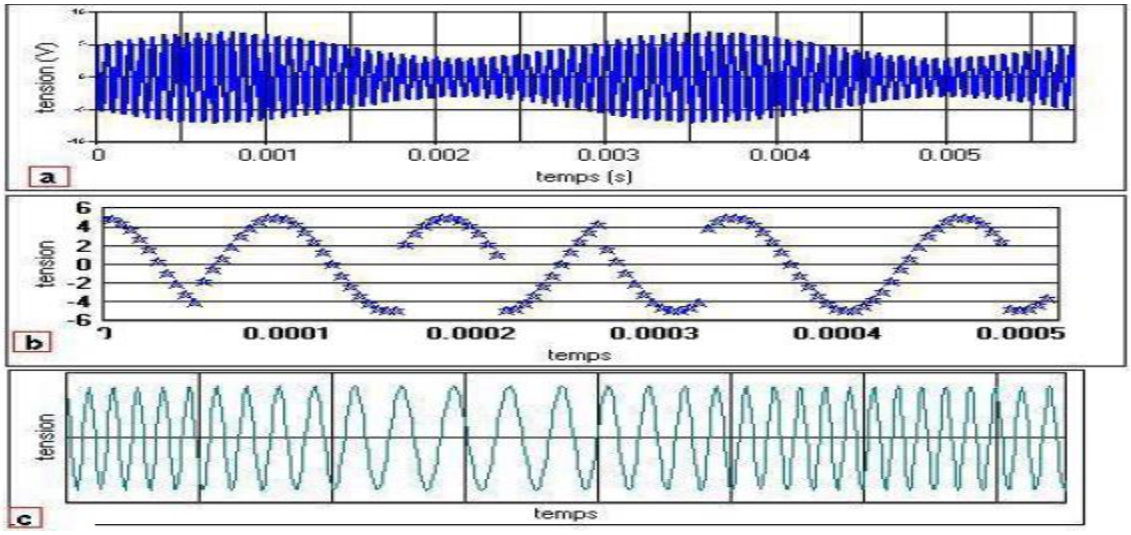
1.2.1. Montrer que s(t) peut se mettre sous la forme $s(t) = A\,[1 + m\cos(2\pi f t)]\cos(2\pi F t)$ dans laquelle A est une constante.

1.2.2. Donner l'expression de A en fonction de k, V_m et U_0.

1.3. En utilisant la courbe de la figure 2, déterminer f et F. Justifier la méthode utilisée.

استبيان متعدد الخيارات

1- من بين مخططات التذبذبات الممثلة والتي تتوافق مع توتر مضَّـمن :

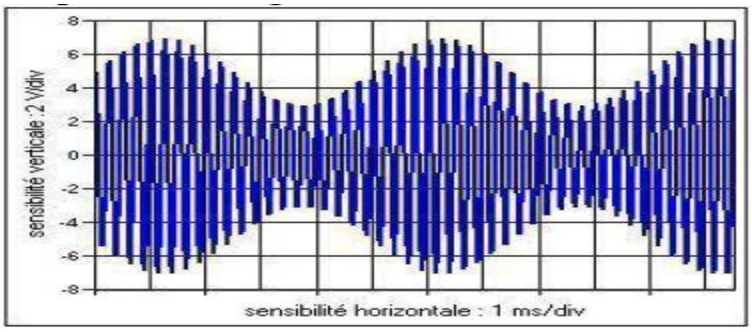


a □

b □

c □

2- من مخطط التذبذبات لتوتر مضَّـمن الموضح:



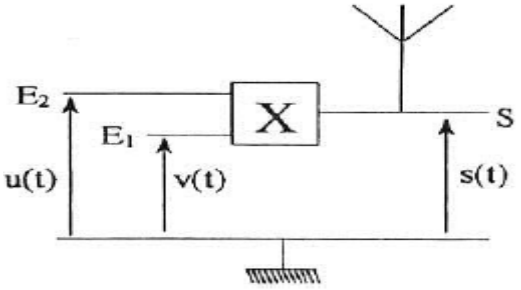
□ تردد إشارة مضَّمنة قريب من 4000Hz

□ تردد الموجة الحاملة حوالي 4000Hz

تمرين:

1. إرسال الإشارات

يظهر في الشكل 1 إعداد تضمين، المستخدم للإرسال ويتم إنتاجه باستخدام المضاعف:



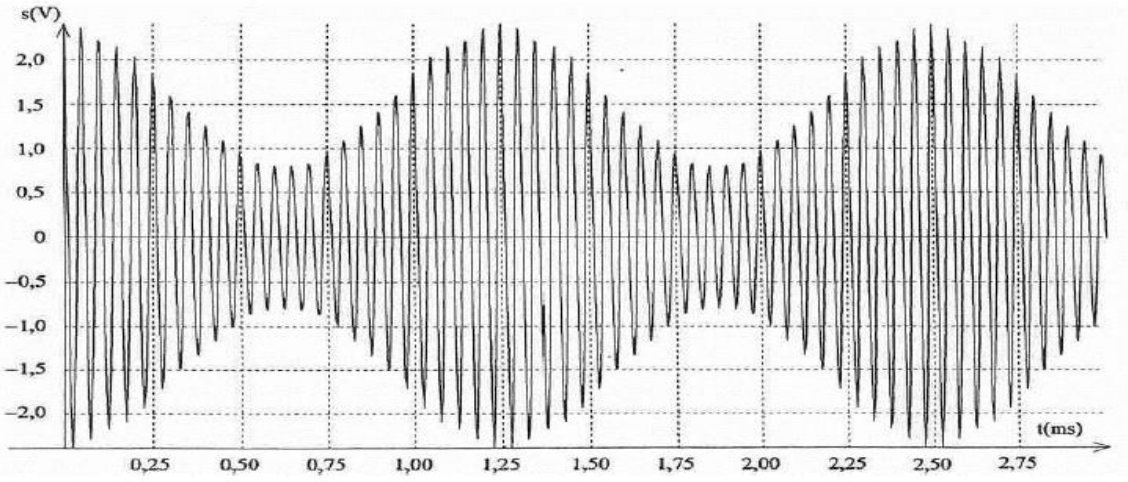
شكل 1

لتوليد موجة حاملة ذات تردد F، يتم إرسال التوتر $v(t) = V_m\cos(2\pi F t)$ إلى دخل E_1 للمضاعف.

الإشارة المراد إرسالها، بالتردد f والسعة U_m، هي $u_1(t) = U_m\cos(2\pi f t)$. ويضاف إليه توتر مستمر U0، يسمى توتر الإزاحة.

نحصل بعد ذلك على $u(t) = U_0 + u_1(t) = U_0 + U_m\cos(2\pi f t)$ الذي نرسله إلى المدخل E_2.

باستخدام جهاز الحصول على البيانات، المتصل بمخرج S للمضاعف، نلاحظ على شاشة الكمبيوتر المنحنى s(t) الممثل أدناه (الشكل 2)



شكل 2

1.1.1. لماذا يجب إضافة توتر إزاحة إلى الإشارة المراد إرسالها؟

1.1.2. ما الشرط الذي يجب أن تحققه النسبة $m = \frac{U_m}{U_0}$ لتحقيق التضمين الجيد؟

(تسمى m نسبة التضمين).

1.2. يُخرج المضاعف توترًا s(t) يتناسب مع حاصل ضرب التوترات المطبقة على المدخلات: $s(t) = k.u(t).v(t)$.

المعامل k هو ثابت يعتمد فقط على المضاعف.

1.2.1. وضح أنه يمكن كتابة s(t) على الصورة $s(t) = A[1 + m \cos(2 \pi f t)] \cos(2 \pi F t)$ حيث A ثابت.

1.2.2. أعط التعبير لـ A بدالة k وV_m وU_0.

1-3 باستخدام المنحنى في الشكل 2، أوجد f و F. علل الطريقة المستخدمة.

Annexe 7: Post-test de l'étude de la modulation d'amplitude et de la démodulation d'amplitude via le simulateur Electronics WorkBench

Exercice

Réception de l'onde modulée

Pour capter l'onde électromagnétique émise par l'antenne placée en S, on utilise le dispositif représenté ci-dessous (figure 1) où on considère que la diode D est idéale. Il s'agit d'un récepteur d'ondes hertziennes, qui constitue une chaîne électronique dont on va étudier certains étages.

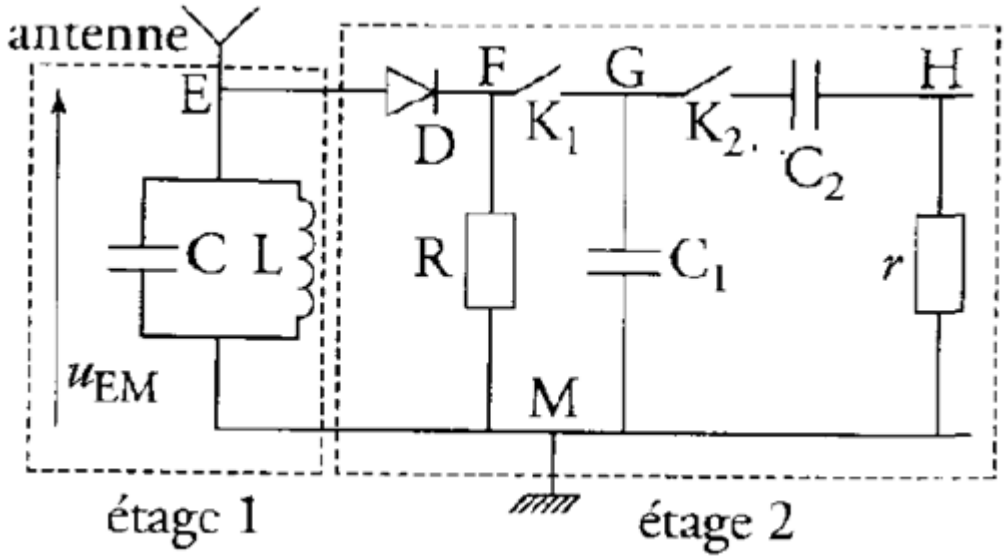


Figure 1

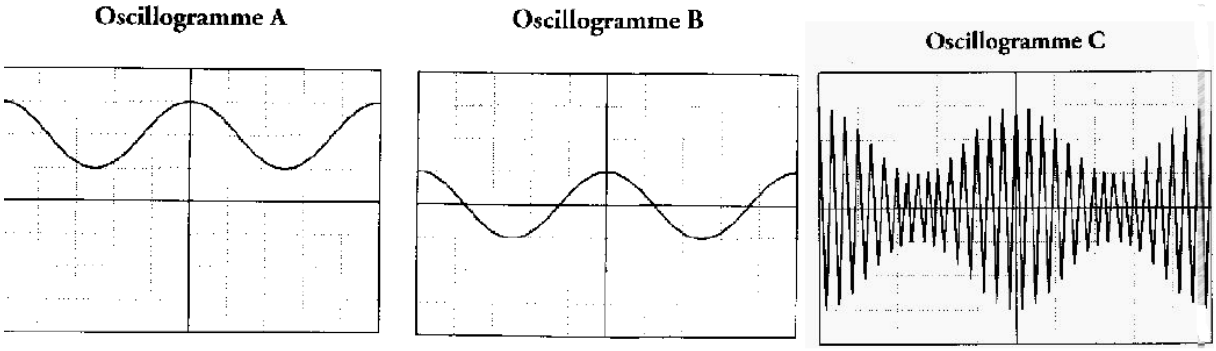
1.1. L'étage 1 étudié est un circuit constitué par une association condensateur - bobine en parallèle.

1.1.1. Quel est le rôle du dipôle LC parallèle utilisé ici comme filtre passe-bande pour la tension ?

1.1.2. La théorie montre que l'amplitude de la tension u_{EM} est maximale pour une fréquence de l'onde captée f_0 telle que $4.\pi^2 \times f_0^2 \times L \times C = 1$. Sachant que la valeur de la capacité C est 0,47 nF, déterminer la valeur à donner à l'inductance L de la bobine pour capter France Inter grandes ondes (fréquence de la station : 160 kHz). La réception de l'onde émise sera alors optimale.

.2. Après réception du signal modulé, il faut le démoduler. Cette démodulation est réalisée par l'étage 2. Pour comprendre les rôles de chaque partie de cet étage, on va les étudier à l'oscilloscope. On relie donc successivement l'entrée de l'oscilloscope aux bornes E, G et H du montage ci-dessus. On visualise successivement les trois tensions u_{EM}, u_{GM} et u_{HM} sur un

oscilloscope, M étant la masse du circuit. Les oscillogrammes des trois tensions sont obtenus en utilisant le mode DC de l'oscilloscope. En l'absence de signal appliqué aux voies, les traces obtenues sur l'écran coïncident avec la ligne horizontale.



En l'absence de signal appliqué aux voies, les traces obtenues sur l'écran coïncident avec la ligne horizontale médiane.

1.2.1. Les deux interrupteurs K_1 et K_2 étant ouverts, identifier u_{EM} en indiquant l'oscillogramme A, B ou C correspondant. Justifier.

1.2.2. K_1 étant fermé et K_2 étant ouvert, identifier u_{GM} en indiquant l'oscillogramme A, B ou C correspondant. Quel est le rôle de l'ensemble diode D et circuit RC_1 parallèle ?

1.2.3. Les deux interrupteurs K_1 et K_2 étant fermés, identifier u_{HM} en indiquant l'oscillogramme A, B ou C correspondant. Quel est le rôle du dipôle r C_2 série utilisé ici comme filtre passe-haut ?

1.2.4. On souhaite obtenir une démodulation de bonne qualité en choisissant la valeur de la capacité C_1 adaptée. La constante de temps RC_1 doit alors satisfaire aux conditions suivantes : $RC_1 < T_s$ avec T_s période du signal modulant. $RC_1 > T_P$ avec T_P période de la porteuse.

Application : la période T_s du signal sonore à transporter est égale à 100 μs, et la période T_P de la porteuse est égale à 6,25 μs. Le conducteur ohmique a une résistance R = 10 kΩ .

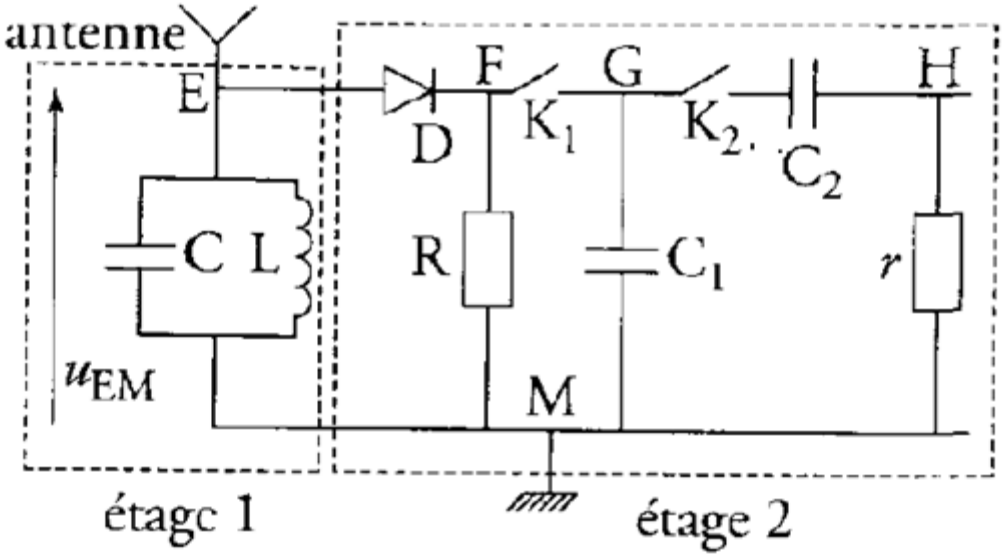
Déterminer alors, dans la liste suivante, la valeur de la capacité C_1 permettant d'obtenir la meilleure démodulation possible.

Liste des valeurs des capacités disponibles : 220 pF - 2,2 nF - 22 nF - 220 nF.

تمرين:

استقبال الموجة المضَّـمنة

لالتقاط الموجة الكهرومغناطيسية المنبعثة من الهوائي الموجود في S، نستخدم الجهاز الموضح أدناه (الشكل 1) حيث نعتبر أن الصمام الثنائي D مثالي. وهو جهاز استقبال موجات الراديو وهو عبارة عن سلسلة إلكترونية سندرس مراحل معينة منها.



شكل1

1.1. المرحلة الأولى التي تمت دراستها عبارة عن دارة مكونة من مكثف ووشيعة متصلين على التوازي.

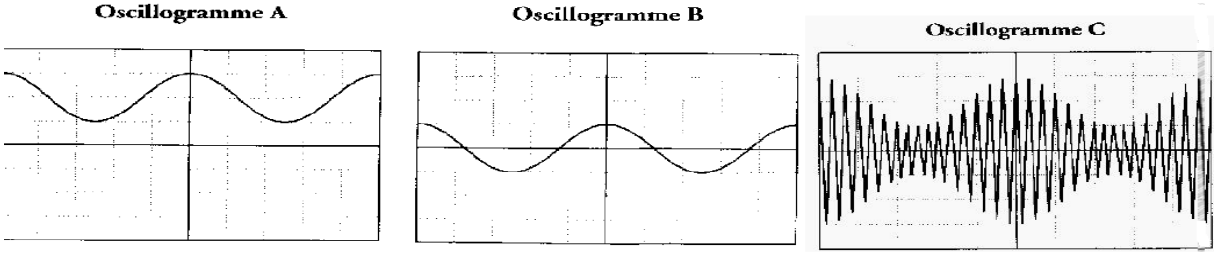
1.1.1. ما هو دور ثنائي القطب LC المتوازي المستخدم هنا كمرشح ممر للتوتر؟

1.1.2. تظهر النظرية أن وسع التوتر u_{EM} هي الحد الأقصى لتردد الموجة الملتقطة f_0 بحيث تكون $4.\pi^2\times f_0^2\times L\times C = 1$.

مع العلم أن قيمة السعة C هي 0,47 nF،

حدد القيمة L للوشيعة لالتقاط موجات France Inter Grandes (تردد المحطة: 160 kHz). سيكون استقبال الموجة المرسلة هو الأمثل.

2. بعد استقبال الإشارة المضَّـمنة، يجب إزالة التضمين. تتم عملية إزالة التضمين هذه من خلال المرحلة الثانية. لفهم أدوار كل جزء من هذه المرحلة، سوف نقوم بدراستها باستخدام التذبذبات. لذلك نقوم بتوصيل مدخلات راسم التذبذبات بالمحطات الطرفية E وG وH للتجميع أعلاه. يتم عرض التوترات الثلاثة u_{EM} وu_{GM} وu_{HM} على التوالي على راسم التذبذبات. يتم الحصول على مخططات التذبذبات للتوترات الثلاثة باستخدام وضع التيار المستمر في راسم التذبذبات. في حالة عدم وجود إشارة مطبقة على القنوات، فإن الآثار التي يتم الحصول عليها على الشاشة تتزامن مع الخط الأفقي.



في حالة عدم وجود إشارة مطبقة على القنوات، فإن الآثار التي تم الحصول عليها على الشاشة تتزامن مع خط الوسط الأفقي.

1.2.1. مع فتح المفتاحين K_1 و K_2، حدِّد u_{EM} بالإشارة إلى مخطط التذبذبات A أو B أو C. برر ذلك.

1.2.2. مع إغلاق K_1 وفتحK_2 ، حدِّد مخطط التذبذبات Aأو B أوC . ما دور الصمام الثنائي D والدارة المتوازيةRC_1 ؟

1.2.3. مع إغلاق المفتاحين K_1 وK_2، حدد u_{HM} من خلال الإشارة إلى مخطط التذبذبات المقابل A أو B أو C. ما هو دور ثنائي القطب من سلسلة C_2 r المستخدم هنا كمرشح تمرير عالي؟

1.2.4. نرغب في الحصول على إزالة التضمين ذات نوعية جيدة عن طريق اختيار قيمة سعة مكثف C_1. يجب أن يستوفي الثابتة الزمن RC_1 الشروط التالية:

$RC_1 < T_s$ مع دور الموجة المضَّمنةT_P > RC_1 . مع T_P دور الموجة الحاملة.

التطبيق: الدور T_s للإشارة الصوتية المراد نقلها تساوي100 µs، والدورT_P للموجة الحاملة تساوي 6,25 µs. للموصل الأومي مقاومة $R = 10\ k\Omega$.

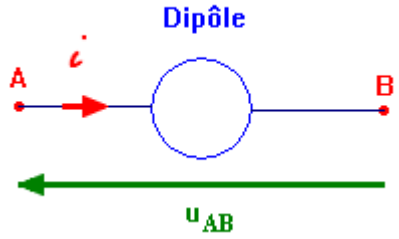
ثم حدد في القائمة التالية قيمة السعة C_1 التي تسمح بالحصول على أفضل عملية إزالة التضمين ممكنة.

قائمة قيم السعة المتاحة: 220 nF - 22 nF - 2,2 nF - 220 pF.

Annexe 8: Pré-test de l'étude du circuit RC

QCM

1 - On considère le dipôle suivant :



Dans ce cas présent, on a :

a- La convention générateur

b- La convention récepteur

c- La loi d'Ohm

2- Le courant constant passe par un condensateur avec une intensité I = 30 mA pendant une durée Δt = 4 min. La charge du condensateur est :

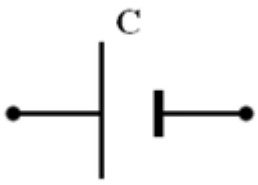
a- Q =130 C

b- Q = 7,2C

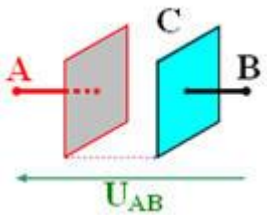
c- Q =5 C

3- le symbole du condensateur est donnée par la figure :

a-

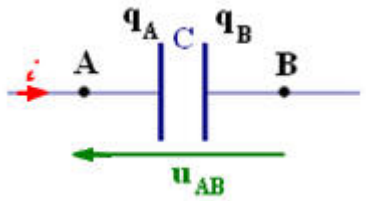


b-



4-

On considère le dipôle suivant :



Choisir la bonne réponse :

a-

$$u_{AB} = \frac{q}{C}$$

b-

$$u_{AB} = -\frac{q_B}{C}$$

Exercice :

Le circuit du schéma N°1 constitué d'un condensateur, d'un générateur de courant, d'un interrupteur et d'un ampèremètre. Le condensateur est préliminairement déchargé à l'instant, on ferme l'interrupteur K. L'ampèremètre affiche une valeur constante pour l'intensité I = 12 µA.

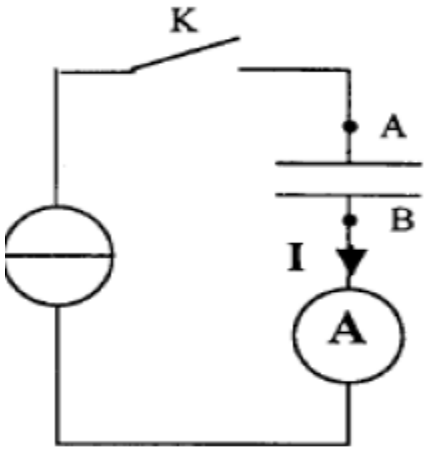


Schéma n°1

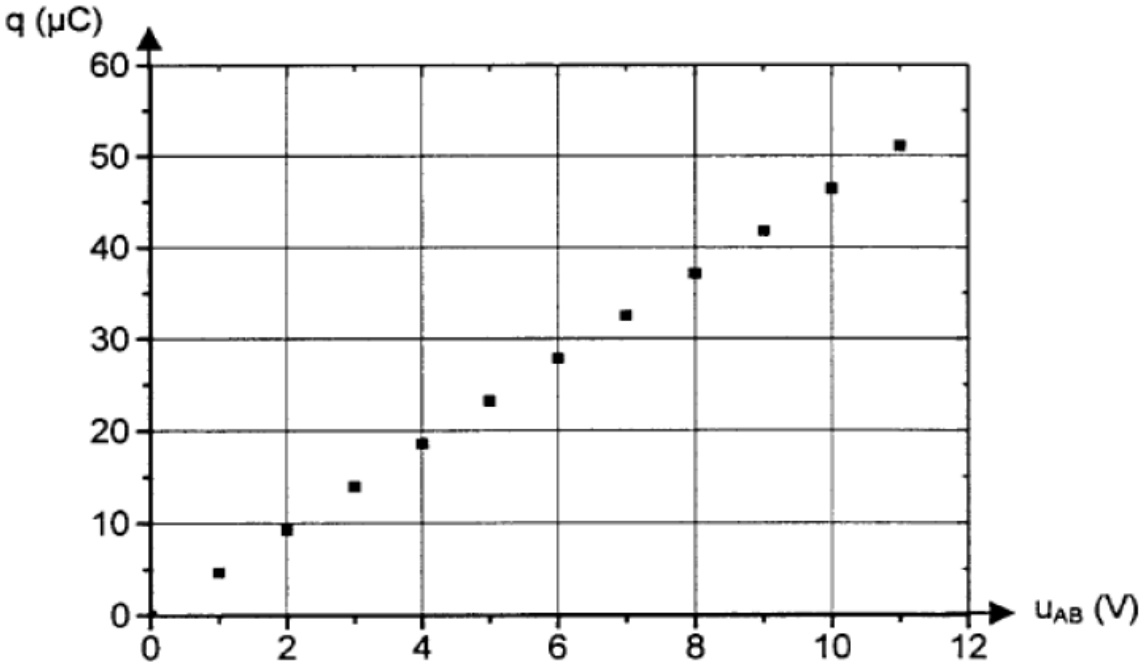
La tension u_{AB} aux bornes du condensateur. On obtient les résultats suivants :

t (s)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
u_{AB} (V)	0,00	1,32	2,64	4,00	5,35	6,70	7,98	9,20	10,6

1. Donner la charge q du condensateur en fonction de I.

Calculer q à la date t = 4 s.

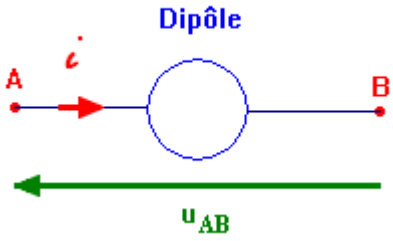
2. La représentation de la graphe N°1 donne la charge q du condensateur en fonction de u_{AB} . Déterminer la valeur de la capacité C du condensateur.



graphe n°1

استبيان متعدد الخيارات

1 - نعتبر ثنائي القطب التالي:



في هذه الحالة، لدينا:

أ- اصطلاح المولد

ب- اصطلاح المستقبِل

ج- قانون أوم

2- يمر تيار ثابت في مكثف شده I = 30 mA لمدة Δt = 4 min. شحنة المكثف هي:

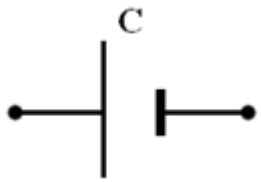
أ- Q =130 C

ب- Q = 7,2C

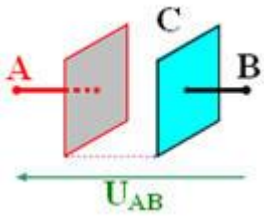
ج- Q =5 C

3- رمز المكثف موضح بالشكل:

أ-



ب-



4- نعتبر ثنائي القطب التالي:

اختر الاجابة الصحيحة:

أ-

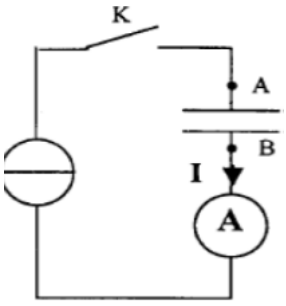
$$u_{AB} = \frac{q}{C}$$

ب-

$$u_{AB} = -\frac{q_B}{C}$$

تمرين

تتكوَّن الدارة في الشكل 1 من مكثِّف ومولِّد تيار ومفتاح وأمبير متر. يُفرَّغ المكثِّف أولًا عند اللحظة $t = 0\ s$، ويُغلَق المفتاح K. يعرض الأمبير متر قيمة ثابتة لشدة التيار $I = 12\ \mu A$.



شكل 1

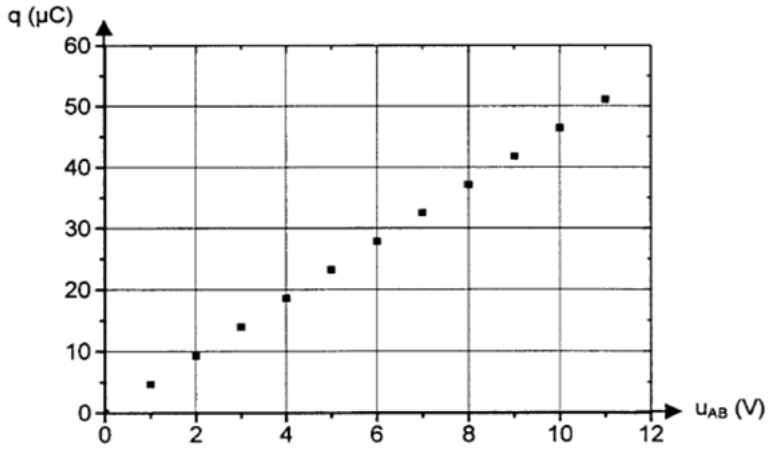
u_{AB} التوتر بين مربطي المكثف. نحصل على النتائج التالية:

t (s)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
u_{AB} (V)	0,00	1,32	2,64	4,00	5,35	6,70	7,98	9,20	10,6

1. أعط الشحنة q للمكثف بدالة I

احسب q في اللحظة $t = 4\ s$

2. تمثيل الشكل 2 يعطي الشحنة q للمكثف بدالة u_{AB}. تحديد قيمة السعة C للمكثف



شكل 2

Annexe 9: Post-test de l'utilisation du simulateur crocodile Physics pour l'étude du circuit RC

QCM

Choisir la réponse correcte

1- Lorsque de la charge d'un condensateur augmente :

a- La tension aux bornes du condensateur augmente.

b- La tension aux bornes du condensateur est constante.

c - La tension aux bornes du condensateur diminue.

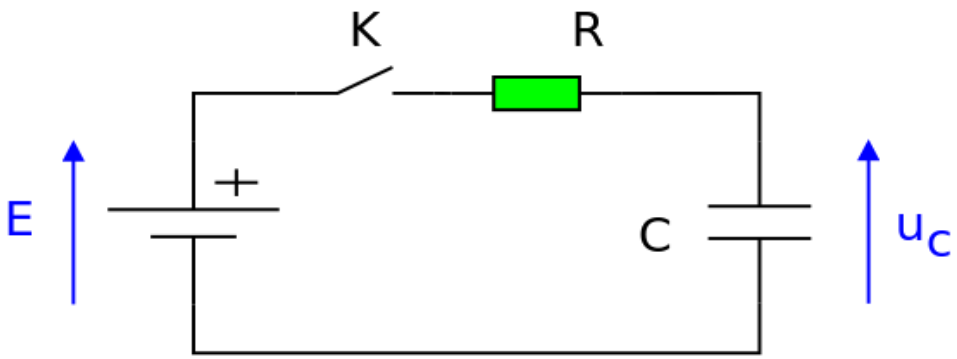
2- Lorsque de la charge d'un condensateur augmente :

a- L'intensité du courant dans le condensateur est constante.

b- L'intensité du courant dans le condensateur augmente.

c- L'intensité du courant dans le condensateur diminue.

3- E est la tension continue de 6 V.



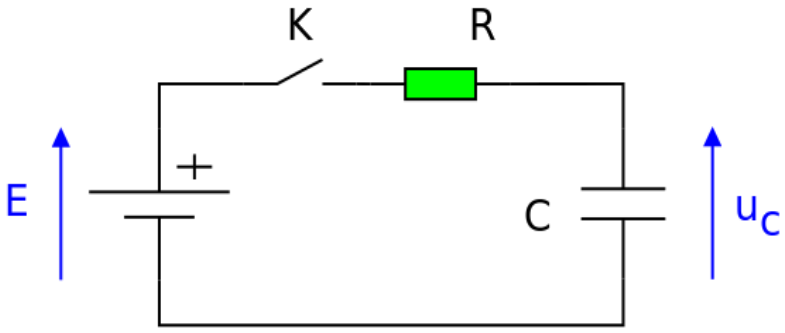
le condensateur se charge. Lors le condensateur est totalement chargé, quelle est la tension u_C à ses bornes ?

a- 6 V

b- 4V

c- 5V

4-



Le condensateur se charge plus rapidement si :

a- On augmente la résistance R

b -On diminue la résistance R

5- R = 2 kΩ, C = 2000 nF

La constante de temps τ = RC du circuit égale :

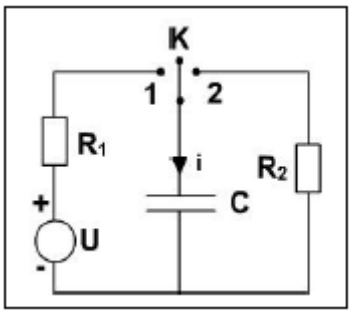
a- 4 µs

b -4 ms

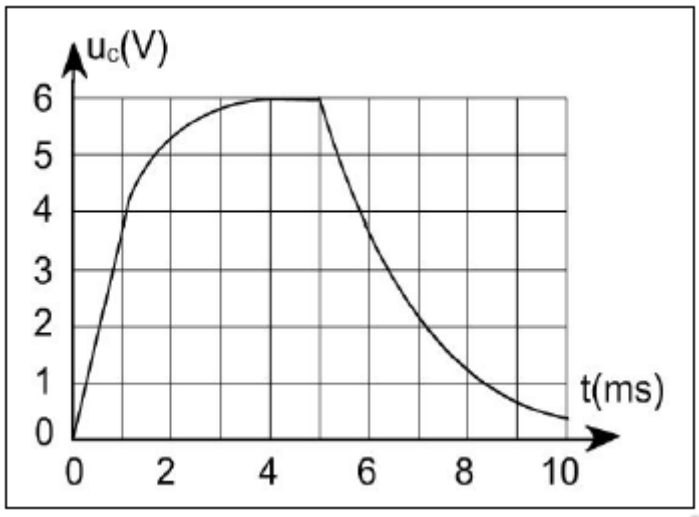
c- 2 s

Exercice 1:

On réalise le montage à l'aide d'un générateur de tension idéale, de deux résistors et d'un condensateur, représenté par la figure ci-dessous :



On enregistre la charge d'un condensateur de capacité C en utilisant l'oscilloscope, à travers le résistor de résistance $R_1 = 21\ \Omega$ puis sa décharge à travers le résistor de résistance R_2 on a la courbe suivante :



1-

a- Expliquer comment doit-on procéder pour obtenir la courbe précédente.

b- Donner la valeur de E du générateur de tension.

c-Trouver la valeur de C et de R_2.

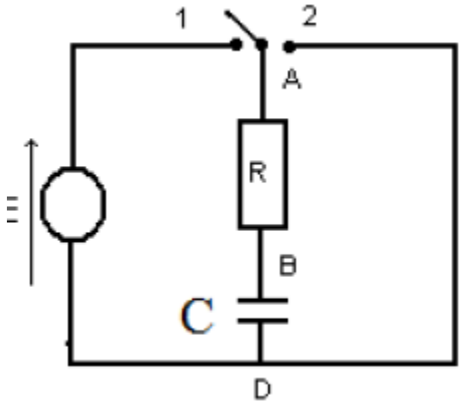
2-

a- $U_C(t)$ présente-t-elle une discontinuité lorsqu'on passe de la charge à la décharge ?

b- la même question pour l'intensité du courant i(t) qui parcourt le circuit .

Exercice 2 :

On considère le circuit ci-dessous.



I. L'interrupteur est en position 1.

1- Le condensateur préliminairement déchargé, on bascule l'interrupteur en position 1 à l'instant t=0. Quelle est la valeur de la tension U_{BD} à l'instant t=0 ?

2- Calculer la valeur numérique de la constante de temps.

3- Donner la courbe $U_{BD}=f(t)$ que l'on peut visualiser à l'aide d'un simulateur crocodile.

II. Lorsque le condensateur est chargé, on bascule l'interrupteur en position 2.

1- Calculer la valeur de l'énergie emmagasinée dans le condensateur à l'instant t=0.

Données : E=6 V ; R=11kΩ et C=101nF

استبيان متعدد الخيارات

اختر الاجابة الصحيحة

1- عندما تزداد الشحنة المكثف:

أ- يزداد التوتر بين مربطي المكثف.

ب- يكون التوتر بين مربطي المكثف ثابتًا.

ج- ينخفض التوتر بين مربطي المكثف.

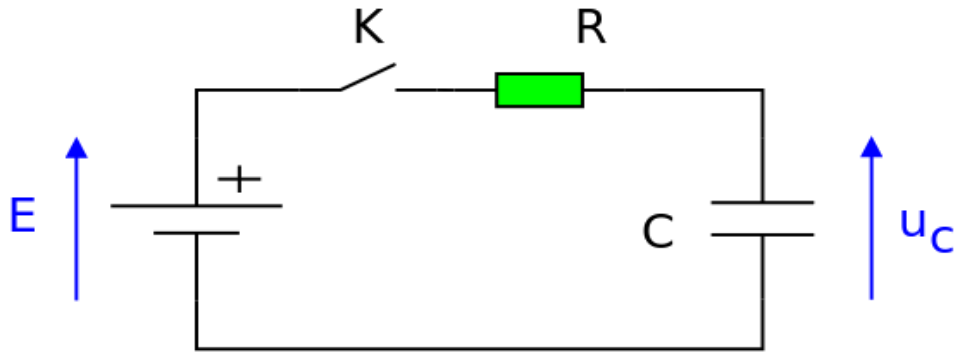
2- عند زيادة شحنة المكثف:

أ- شدة التيار المار في المكثف ثابتة.

ب- تزداد شدة التيار المار في المكثف.

ج- تقل شدة التيار المار في المكثف.

3- E=6 V هو التوتر المستمر.



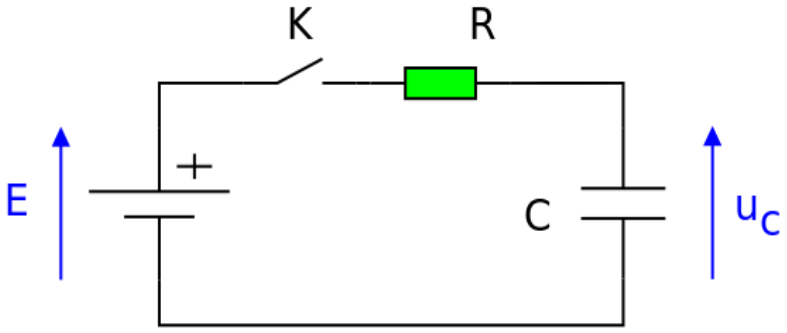
عندما يكون المكثف مشحونًا بالكامل، ما التوتر u_C عبر طرفيه؟

أ- 6 V

ب- 4V

ج- 5V

-4



شحن المكثف بشكل أسرع إذا:

أ- نزيد المقاومة R

ب - نقوم بتقليل المقاومة R

5- $R = 2\ k\Omega$، $C = 2000\ nF$

ثابتة الزمن $\tau = RC$ للدارة يساوي:

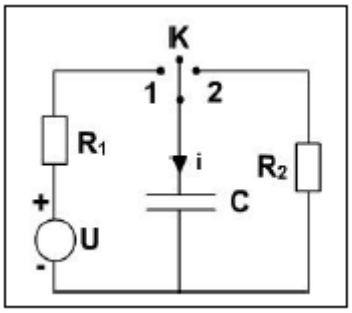
أ- 4 µs

ب- 4 ms

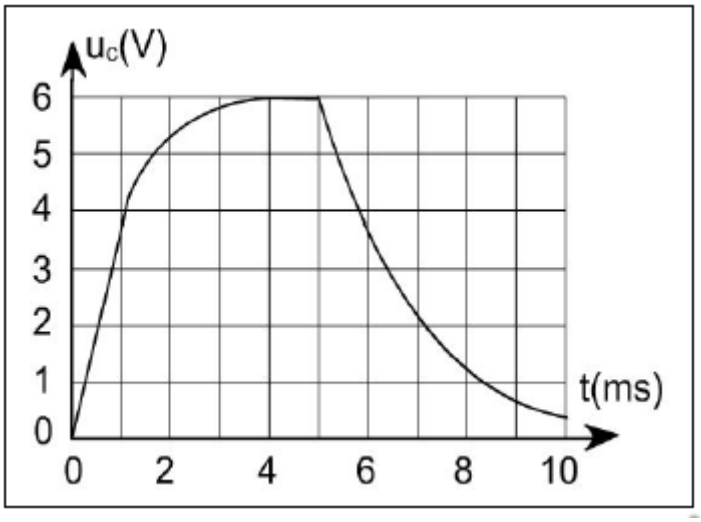
ج- 2 s

تمرين 1:

يتم تنفيذ التركيب باستخدام مولد توتر مثالي ومقاومتين ومكثف، كما هو موضح في الشكل أدناه:



نسجل شحنة مكثف سعة C باستخدام راسم التذبذبات، من خلال المقاومة $R_1 = 21\ \Omega$ ثم تفريغها من خلال المقاومة R_2 لدينا المنحنى التالي:



-1

أ- اشرح كيفية الحصول على المنحنى أعلاه.

ب- أعط قيمة E لمولد الجهد.

ج-أوجد قيمة C وR_2.

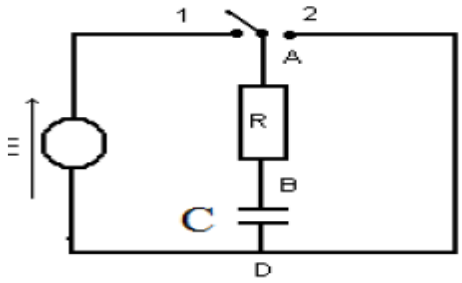
-2

أ- هل يمثل $U_C(t)$ انقطاعًا عند الانتقال من الشحن إلى التفريغ؟

ب- نفس السؤال عن شدة التيار i(t) الذي يمر عبر الدارة.

تمرين 2:

نعتبر الدارة أدناه.



I. المفتاح في الموضع 1.

1- مع تفريغ المكثف مسبقًا، بدّل المفتاح إلى الوضع 1 عند اللحظة t=0. ما هي قيمة التوتر U_{BD} في اللحظة t=0؟

2- احسب القيمة العددية للثابتة الزمن.

3- أعط المنحنى $U_{BD}=f(t)$ الذي يمكن تعاينته باستخدام محاكي crocodile.

II. عند شحن المكثف، بدّل المفتاح إلى الموضع 2.

1- احسب الطاقة المخزنة في المكثف.

المعطيات: E=6V؛ R=11kΩ و C=101nF.

Annexe 10: Pré-test de l'étude de la propagation d'une onde lumineuse

QCM

Choisir les réponses correctes

1. La célérité d'une onde mécanique progressive

- ☐ Est constante au cours de la propagation si le milieu est homogène
- ☐ Diminue au cours de la propagation
- ☐ Dépend du milieu de propagation

2. L'onde créée à la surface de l'eau par une pierre jetée dans un étang est :

- ☐ Longitudinale
- ☐ Transversale

3. Le son est une onde :

- ☐ Longitudinale
- ☐ Transversale

4. La célérité du son dans l'air, à température ordinaire et à pression normale est de l'ordre de :

- ☐ 250 m/s
- ☐ 350 m/s
- ☐ 450 m/s

5. La célérité du son dans l'air :

- ☐ Diminue quand la température augmente
- ☐ Augmente quand la température augmente
- ☐ Diminue quand la pression augmente
- ☐ Augmente quand la pression augmente

6. D'une façon générale, la célérité d'une onde est :

- ☐ Plus grande dans un liquide que dans un solide
- ☐ Plus grande dans un solide que dans un liquide
- ☐ Plus grande dans un gaz que dans un solide
- ☐ Plus grande dans un solide que dans un gaz
- ☐ Plus grande dans un liquide que dans un gaz

7. Deux points séparés d'un nombre entier de longueurs d'onde sont :

☐ En phase

☐ En opposition de phase

8. Pour une onde mécanique progressive périodique, la relation qui relie la longueur d'onde λ, la célérité c et la période T est :

☐ $\lambda = \frac{c}{T}$.

☐ $\lambda = c + T$.

☐ $\lambda = c.T$.

☐ $\lambda = c.T^2$.

9. Lorsque deux points A et B d'un milieu sont séparés qu'une distance d, et qu'une onde se propage dans ce milieu à la célérité v, le point B va répéter le mouvement du point A avec un retard qui vaut :

☐ $\frac{\lambda}{v}$.

☐ $\frac{d}{v}$.

☐ $v.d$.

☐ $\frac{v}{d}$.

☐ $\frac{\lambda}{d}$.

Exercice 1 :

Sur une cuve à ondes, on crée des ondes rectilignes grâce à une réglette plane menue d'un vibreur réglé à une fréquence $N = 50Hz$. Ces ondes se propagent sur la surface d'eau sans atténuation et sans réflexion.

La figure 1 représente l'aspect de la surface de l'eau à un instant donné, tel que d = 15mm.

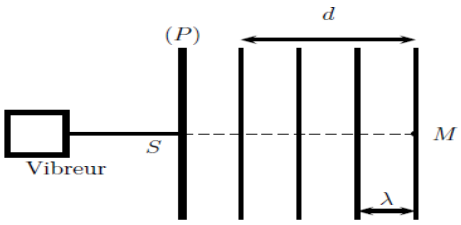


figure 1

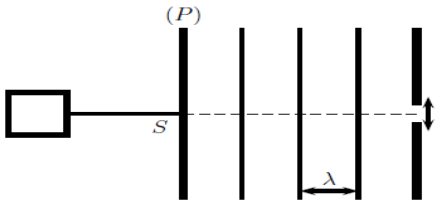


figure 2

1. a. À l'aide de la figure 1, déterminer la valeur de la longueur d'onde λ

   b. En déduire V la vitesse de propagation des ondes sur la surface de l'eau.

   c. On considère un point M de la surface de propagation (figure 1). Calculer le retard τ de la vibration du point M par rapport à la source S .

   d. On double la valeur de la fréquence N′= 2N, la longueur d'onde est λ′ =3mm. Calculer V' la valeur de la vitesse de propagation dans ce cas. L'eau est-elle un milieu dispersif ? Justifier.

2. On règle à nouveau la fréquence du vibreur à la valeur 50Hz. On place dans la cuve un obstacle contenant une ouverture de largeur a. Voir figure. Représenter, en justifiant la réponse, l'aspect de la surface d'eau lorsque les ondes dépassent l'obstacle dans les deux cas : a = 4mm et a = 10mm.

استبيان متعدد الخيارات

اختر الإجابات الصحيحة

1. سرعة الانتشار الموجة الميكانيكية المتوالية

□ تكون ثابتة أثناء الانتشار إذا كان الوسط متجانسًا

□ تتناقص أثناء الانتشار

□ تتعلق بوسط الانتشار

2. الموجة التي تنشأ على سطح الماء نتيجة إلقاء حجر في البركة

□ طولية

□ مستعرضة

3. الصوت موجة:

□ طولية

□ مستعرضة

4. تكون سرعة الانتشار الصوت في الهواء عند درجة الحرارة العادية والضغط العادي من رتبة:

□ 250 m/s

□ 350 m/s

□ 450 m/s

5. سرعة الانتشار الصوت في الهواء:

□ تنخفض عند ارتفاع درجة الحرارة

□ تزداد عند ارتفاع درجة الحرارة

□ تتناقص مع زيادة الضغط

□ تزداد عند زيادة الضغط

6. بشكل عام، سرعة الانتشار الموجة هي:

□ أكبر في السائل منه في الصلبة

□ أكبر في المادة الصلبة منه في السائل

□ أكبر في الغاز منه في الحالة الصلبة

□ أكبر في الحالة الصلبة منه في الغاز

□ أكبر في السائل منه في الغاز

7. نقطتان يفصل بينهما عدد صحيح من الأطوال الموجة هما:

□ توافق في الطور

□ تعاكس في الطور

8. بالنسبة لموجة ميكانيكية متوالية دورية، فإن العلاقة التي تربط الطول الموجة λ والسرعة الانتشار الضوء في الفراغ c والدورT هي:

□ $\lambda = \frac{c}{T}$

□ $\lambda = c + T$

□ $\lambda = c.T$

□ $\lambda = c.T^2$

9. عندما تفصل بين نقطتين A وB من وسط ما مسافة d، وتنتشر موجة في هذا الوسط بسرعة v، فإن النقطة B تكرر حركة النقطة A مع تأخر زمني يساوي:

□ $\frac{\lambda}{v}$

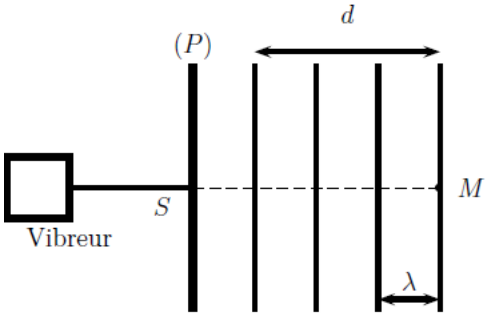
□ $\frac{d}{v}$

□ $\frac{v}{d}$

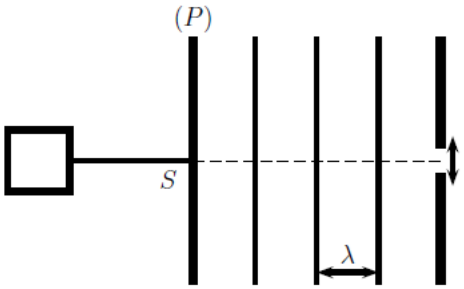
□ $\frac{\lambda}{d}$

تمرين 1:

في حوض الموجات، يتم إنشاء موجات مستقيمة باستخدام شريط مسطح صغير من الهزاز عند تردد N = 50Hz. وتنتشر هذه الموجات على سطح الماء دون انعكاس. يمثل الشكل 1 مظهر سطح الماء في وقت معين، حيث d = 15mm.



شكل1



شكل2

1.أ. باستخدام الشكل 1، حديد قيمة الطول الموجي λ

ب. استنتج V سرعة انتشار الموجات على سطح الماء.

ج. افترض نقطة M على سطح الانتشار (الشكل 1). احسب التأخر الزمني τ لاهتزاز النقطة M بالنسبة إلى المصدر S

د. نضاعف قيمة التردد N'= 2N، الطول الموجة هو $\lambda' = 3mm$. احسب V' قيمة سرعة الانتشار في هذه الحالة. هل الماء وسط مبدد؟ علل.

2. يتم ضبط تردد الهزاز مرة أخرى على 50Hz. يوضع حاجز يحتوي على فتحة عرضها a في الحوض. انظر الشكل. علل إجابتك وبيّن كيف يبدو سطح الماء عندما تمر الموجات من الحاجز في الحالتين: a = 4mm و a = 10mm .

Annexe 11: Post-test de l'utilisation de la simulation interactive eduMedia pour de l'étude de la propagation d'une onde lumineuse

QCM

Choisir les réponses correctes

1. La lumière est une onde :

- ☐ Mécanique
- ☐ Electromagnétique

2. La lumière blanche est une lumière polychromatique.

- ○ Vrai
- ○ Faux

3. Quand la lumière passe d'un milieu à un autre d'indice de réfraction n différent :

- ☐ La fréquence de la lumière est modifiée
- ☐ La longueur d'onde de la lumière est modifiée
- ☐ La couleur de la lumière est modifiée
- ☐ La célérité de la lumière est modifiée

4. Dans l'eau, la longueur d'onde d'une radiation de fréquence 5,09E14 Hz vaut 442 nm. Quelle est l'indice de réfraction de l'eau ? (Donnée : Vitesse de la lumière dans le vide : $c=3.\ 10^8$ m/s)

- ○ 0,76
- ○ 1,1
- ○ 1,3
- ○ 1,5

5. L'étendue en longueurs d'onde du spectre visible est :

- ○ De 300 nm à 500 nm
- ○ De 300 micromètres à 500 micromètres
- ○ De 400 nm à 800 nm
- ○ De 400 micromètres à 800 micromètres

6. Le lien entre les couleurs des lumières et les longueurs d'onde dans le vide est :

- ○ Le rouge correspond aux grandes longueurs d'onde, le violet aux petites longueurs d'onde
- ○ Le rouge correspond aux petites longueurs d'onde, le violet aux grandes longueurs d'onde

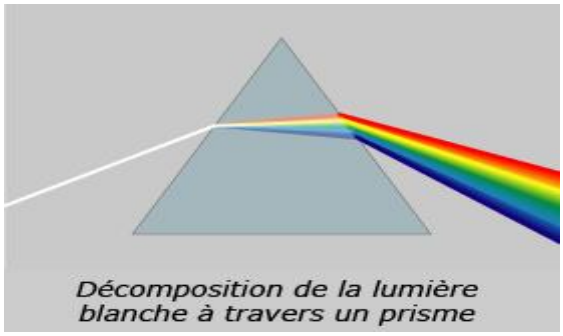
7. Les ultraviolets sont des radiations :

- ☐ De longueur d'onde plus petite que le violet
- ☐ De longueur d'onde plus grande que le violet
- ☐ De fréquence plus petite que le violet
- ☐ De fréquence plus grande que le violet

8. Lorsque l'on réalise la décomposition de la lumière blanche à l'aide d'un prisme afin d'observer le spectre de la lumière blanche :

- ☐ Cette expérience met en jeu le phénomène de réfraction
- ☐ Cette expérience met en jeu le phénomène de diffraction
- ☐ Cette expérience met en jeu le phénomène de dispersion

9. Cette expérience montre:

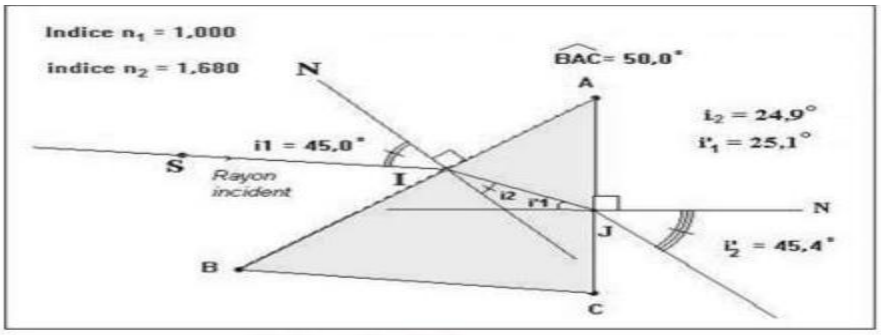


Décomposition de la lumière blanche à travers un prisme

- ☐ que le prisme est dispersif
- ☐ que le prisme est dissipatif
- ☐ que le prisme est directif
- ☐ la lumière blanche arrivant sur le prisme est monochromatique

Exercice

On dispose d'étudier les conditions de dispersion de la lumière blanche par un prisme pour lequel l'indice de réfraction est 1,680 à 470 nm (radiation bleue) et 1,596 nm (radiation rouge). Les notations adaptées pour les angles sont données sur le schéma ci-après.



On envoie sur une face du prisme d'angle Â = 50° un mince faisceau de lumière blanche d'indice $\boldsymbol{i_1} = \mathbf{45}$.

1- Calculer l'angle de réfraction $\boldsymbol{i_{2B}}$ pour la radiation bleue puis l'angle de réfraction $\boldsymbol{i_{2R}}$ Pour la radiation rouge.

2- Pour les deux radiations, en déduire la déviation due à la première surface de séparation traversée.

3- Dans le cas de la radiation bleue, l'angle d'indice sur la face de sortie du prisme, $\boldsymbol{i_{1'}}$ vérifie la relation : Â =$\boldsymbol{i_2}$+$\boldsymbol{i_{1'}}$. En déduire la valeur numérique de $\boldsymbol{i_{1'}}$ pour chaque radiation étudiée.

4- Quels sont les valeurs des angles de sortie du prisme $\boldsymbol{i_{2B'}}$ $\boldsymbol{et}$ $\boldsymbol{i_{1R'}}$ pour chaque radiation.

5- Calculer la déviation D subie par le pinceau incident à sa sortie du prisme en fonction de $\boldsymbol{i_1}$, $\boldsymbol{i_{2'}}$ et A

En déduire les déviations subies respectivement par la lumière bleue et par la lumière rouge.

استبيان متعدد الخيارات

اختر الإجابات الصحيحة

1. الضوء موجة:

□ الميكانيكية

□ الكهرومغناطيسية

2. الضوء الأبيض هو ضوء متعدد الألوان:

□ صحيح

□ خطأ

3. عندما ينتقل الضوء من وسط إلى آخر بمعامل الانكسار مختلف n:

□ يتغير تردد الضوء

□ يتغير الطول الموجة للضوء

□ يتغير لون الضوء

□ تتغير سرعة الضوء

4. في الماء، الطول الموجة للإشعاع بتردد 5,09E14 Hz هو 442 nm. ما هو معامل الانكسار الماء؟ (سرعة الضوء في الفراغ:$c=3.\ 10^8$ m/s)

□ 0,76

□ 1,1

□ 1,3

□ 1,5

5. مجال الطول الموجة للطيف المرئي هو:

□ من 300 nm إلى 500 nm

□ من 300 µm إلى 500 µm

□ من 400 nm إلى 800 nm

□ من 400 µm إلى 800 µm

6. العلاقة بين ألوان الضوء والأطوال الموجة في الفراغ هي:

□ يتوافق اللون الأحمر مع الأطوال الموجة الطويلة، والبنفسجي مع الأطوال الموجة القصيرة

□ يتوافق اللون الأحمر مع الأطوال الموجة القصيرة، والبنفسجي مع الأطوال الموجة الطويلة

7. الأشعة فوق البنفسجية هي إشعاع:

□ الطول الموجة أقصر من اللون البنفسجي

□ الطول الموجة أطول من اللون البنفسجي

□ ذات تردد أقل من اللون البنفسجي

□ ذات تردد أكبر من اللون البنفسجي

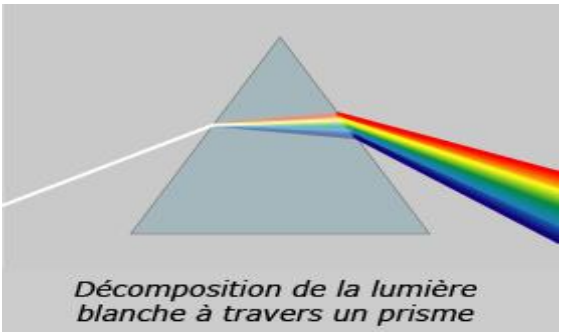
8. عندما نقوم بتحليل الضوء الأبيض باستخدام الموشور من أجل ملاحظة طيف الضوء الأبيض:

□ تتضمن هذه التجربة ظاهرة الانكسار

□ تتضمن هذه التجربة ظاهرة الحيود

□ هذه التجربة تلعب دور ظاهرة التبدد

9. تظهر هذه التجربة:



□ أن الموشور مبدد

□ أن الموشور مشتت

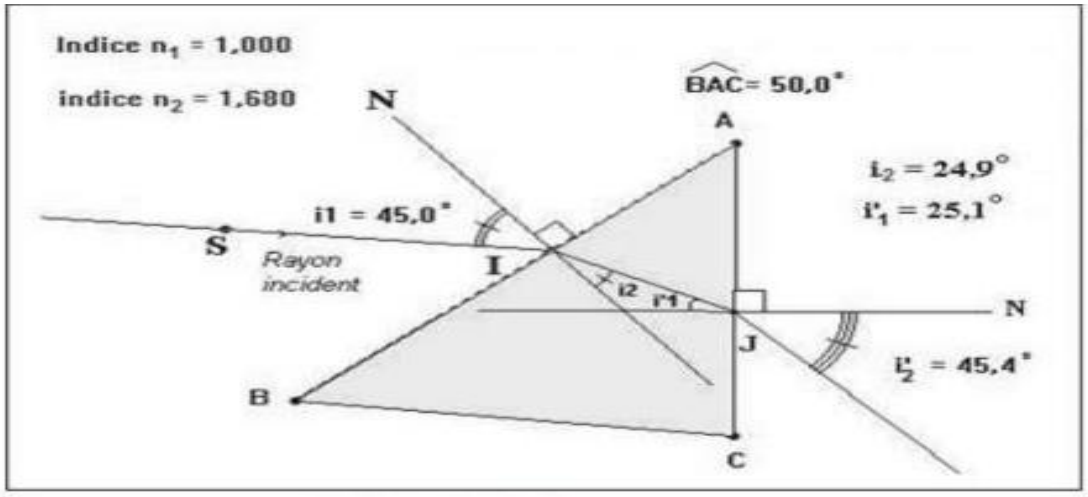
□ أن الموشور موجه

□ الضوء الأبيض الذي يصل إلى الموشور أحادي اللون

تمرين:

ندرس شروط تبدد الضوء الأبيض بواسطة موشور يساوي معامل انكساره 1,680عند 470 nm(الإشعاع الأزرق) و1,596 nm (الإشعاع الأحمر).

يوضِّح الشكل التالي الرموز المناسبة للزوايا.



نرسل على أحد وجهي موشور الزاوية Â = 50° شعاعًا رفيعًا من الضوء الأبيض ذي الزاوية $i_1 = 45°$.

1- احسب زاوية الانكسار i_{2B} للإشعاع الأزرق ثم زاوية الانكسار i_{2R} للإشعاع الأحمر

2- بالنسبة لكلا الإشعاعين، استنتج الانحراف الناتج عن عبور سطح الفصل الأول.

3- في حالة الإشعاع الأزرق فإن الزاوية الورود على وجه الخروج للموشور $i_{1'}$ تتحقق من العلاقة: $\hat{A} = i_2 + i_{1'}$ استنتج القيمة العددية $i_{1'}$ لكل إشعاع تمت دراسته.

4- ما هي قيم زوايا خروج الموشور $i_{2B'}$ et i_{1R} لكل إشعاع.

5- احسب الانحراف D عند خروجه من الموشور بدلالة i_1 و$i_{2'}$ و A

استنتج الانحرافات التي يتعرض لها الضوء الأزرق والضوء الأحمر على التوالي.