

Intégration des simulations numériques dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques dans les établissements secondaires de la région du Kuilsé : difficultés et perspectives

Integration of numerical simulations in the teaching and learning of physical sciences in secondary schools in the Kuilsé region: difficulties and perspectives.

Auteur 1 : ZONGO Mahamadi

Auteur 2 : TRAORE ZIDA Rihanata

Auteur 3 : KYELEM Mathias

ZONGO Mahamadi, Maître assistant, Ecole Normale Supérieure, Burkina Faso,

TRAORE ZIDA Rihanata, Inspectrice de l'Enseignement Secondaire option sciences physiques, Direction régionale de l'Enseignement secondaire, de la Formation professionnelle et technique du Centre, Burkina Faso,

KYELEM Mathias, Maître de conférences, Ecole Normale Supérieure, Burkina Faso

Déclaration de divulgation : L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

Conflit d'intérêts : L'auteur ne signale aucun conflit d'intérêts.

Pour citer cet article : ZONGO .Z, TRAORE ZIDA .R & KYELEM .M (2026) « Intégration des simulations numériques dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques dans les établissements secondaires de la région du Kuilsé : difficultés et perspectives », African Scientific Journal « Volume 03, Num 35 » pp: 1436 – 1454.



DOI : 10.5281/zenodo.19691885

Copyright © 2026 – ASJ



Résumé

Cette étude examine l'intégration des simulations numériques dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques au sein des établissements secondaires de la région du Kulsé du Burkina Faso et vise à connaître les principales difficultés qui entravent leur usage par les enseignants. Elle s'inscrit dans un contexte marqué par les défis de l'enseignement des sciences physiques, qui, traditionnellement basé sur l'expérimentation, est entravé par le manque de laboratoires équipés et de ressources matérielles adéquates. La méthodologie adoptée est une approche mixte, combinant méthodes qualitative et quantitative et utilisant des questionnaires, des grilles d'observation et des guides d'entretien. La population d'étude comprend essentiel des enseignants de sciences physiques et leurs élèves. Les résultats révèlent que l'intégration des simulations numériques est freinée par des difficultés multiple, d'ordre technologique, pédagogique et didactique. Ils soulignent l'importance d'une approche holistique pour surmonter ces obstacles et favoriser une intégration efficace des simulations numériques.

Mots clés : simulations numériques, sciences physiques, intégration, enseignement-apprentissage, difficultés.

Abstract

This study examines the integration of numerical simulations in the teaching and learning of physical sciences within secondary schools in the Kulsé region of Burkina Faso and aims to identify the main difficulties that hinder their use by teachers. It is set in a context marked by the challenges of teaching physical sciences, which, traditionally based on experimentation, is hindered by the lack of equipped laboratories and adequate material resources. The adopted methodology is a mixed approach, combining qualitative and quantitative methods and using questionnaires, observation grids, and interview guides. The study population mainly consists of physical science teachers and their students. The results reveal that the integration of digital simulations is hindered by multiple difficulties, of a technological, pedagogical, and didactic nature. They emphasize the importance of a holistic approach to overcome these obstacles and promote the effective integration of numerical simulations.

Keywords : numerical simulations, physical sciences, integration, teaching-learning, difficulties.

Introduction

Les sciences physiques, par leur nature à la fois abstraite et ancrée dans le réel, occupent une place centrale dans la formation de l'esprit scientifique. L'enseignement-apprentissage de cette discipline repose traditionnellement sur une approche expérimentale permettant aux élèves d'observer et de manipuler afin d'allier la théorie à la pratique. Cependant, cette approche se heurte à des défis majeurs. Particulièrement au Burkina Faso, elle est entravée par le manque de laboratoires équipés et de ressources matérielles adéquates (Djiguemde, 2021).

Face à ces contraintes, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) et en particulier les simulations numériques, se présentent comme une alternative prometteuse pour enrichir l'enseignement des sciences physiques (Muller et al., 2008). Au Burkina Faso, des initiatives ont été mises en place pour encourager l'intégration des TIC dans l'enseignement, à travers le Plan d'Action pour la Stabilisation et le Développement (PA-DS, 2023) et la cyberstratégie sectorielle e-Éducation (2014). Ainsi, la région du Koulé a initié en janvier 2023 une formation visant à outiller des enseignants de sciences physiques sur les nouvelles techniques d'enseignement, notamment l'utilisation des simulations numériques en classe.

Toutefois, malgré cette formation, l'application effective de ces outils en classe suscite encore des interrogations sur les obstacles de leur intégration. Cette étude intitulée « Intégration des simulations numériques dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques dans les établissements secondaires de la région du Koulé : difficultés et perspectives » a pour objectif d'identifier les difficultés rencontrées par les enseignants et les élèves dans l'usage de ces outils, ainsi qu'à proposer des perspectives pour améliorer leur adoption. Elle comporte une problématique qui présente le contexte et les constats à l'origine de l'étude et la formulation du problème de recherche, un cadre théorique de référence sur lequel s'appuie l'étude, une méthodologie de la recherche, les résultats et leurs discussions ainsi des suggestions formulées.

1. Problématique

Au Burkina Faso, les programmes de sciences physiques recommandent une approche expérimentale qui permet aux élèves de manipuler, de relier la théorie à des situations concrètes et de développer des compétences pratiques. Cependant, l'enseignement de cette discipline reste confronté à de nombreuses contraintes dont l'insuffisance de laboratoires équipés. Les conclusions du rapport de synthèse de la commission d'enquête parlementaire sur le système d'enseignement au Burkina Faso de Juillet 2017 a révélé que des laboratoires n'existent pas dans la majorité des établissements secondaires et ceux qui existent sont mal construits, non équipés ou complètement en ruine. Le manque de laboratoires empêche la mise en œuvre de l'approche expérimentale préconisée par les programmes officiels. L'enseignement de cette discipline privilégie le plus

souvent la démarche inductiviste qui consiste à analyser en classe, une expérience prototypique à partir de laquelle sont mis en évidence les lois et les concepts (Zongo, 2016). Cette situation se traduit par les difficultés d'appropriation des concepts scientifiques par les élèves et la faiblesse de leurs notes aux évaluations, une désaffection pour cette discipline (Zerbo, 2022 ; Ilboudo et Kiemdé, 2023).

Dans ce contexte, la formation de janvier 2023 des enseignants de sciences physiques de la région du Kuilsé sur les simulations numériques et la remise de ces simulations, ainsi que les dotations antérieures en équipements informatiques semblaient réunir les conditions propices à l'utilisation des simulations numériques en classe. Chaque établissement concerné par ces dotations a reçu un kit pédagogique complet, comprenant notamment vingt ordinateurs portables pour les apprenants, un ordinateur portable pour l'enseignant, un vidéoprojecteur, un routeur Wi-Fi, une solution autonome d'alimentation (panneau solaire, batterie, convertisseur) et une licence de logiciel de gestion d'e-classe. Ces éléments visaient à créer un environnement favorable à l'utilisation pédagogique des ressources numériques. Il reste cependant pertinent d'interroger les conditions concrètes d'accès, de fonctionnement et de mobilisation de ces outils, afin de mieux connaître les dynamiques en jeu dans leur mise en œuvre sur le terrain.

Dès lors une question principale s'impose : Quelles sont les difficultés qui entravent l'utilisation des simulations numériques par les enseignants dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques dans la région du Kuilsé ?

Cette question principale de recherche se décline en deux questions secondaires :

- Quelles sont les difficultés d'ordre technologique qui entravent l'utilisation des simulations numériques par les enseignants dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques dans la région du Kuilsé ?
- Quelles sont les difficultés d'ordre pédagogique et didactique qui entravent l'utilisation des simulations numériques par les enseignants dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques dans la région du Kuilsé ?

2. Cadre théorique de référence

Legendre (1993) définit le concept d'« intégration » comme le fait de constituer un tout harmonieux de niveau supérieur, en faisant interagir divers éléments. Cette définition met l'accent sur la cohérence et la complémentarité des composantes intégrées. Dans l'enseignement-apprentissage, l'intégration peut être considéré comme étant l'introduction planifiée d'un élément nouveau dans un dispositif éducatif existant, en vue de renforcer son efficacité. Dans le système scolaire, les supports pédagogiques traditionnels (tableau, texte, cartes, etc.) sont mobilisés pour faciliter l'atteinte des objectifs d'apprentissage. Les Technologies de l'Information et de la

Communication (TIC) s'inscrivent dans cette logique, en tant que nouveaux outils dont l'usage pertinent peut enrichir les pratiques pédagogiques. Toutefois, comme le rappellent Bebell et al. (2004), l'intégration des TIC ne fait pas l'objet d'un consensus : pour certains, elle se limite à leur utilisation par l'enseignant ; pour d'autres, elle suppose une implication active des élèves dans la production ou l'appropriation des contenus.

Dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques, les TIC sont utilisées dans des simulations numériques. Selon Alessi et Trollip (1985), une simulation est une technique pédagogique puissante qui enseigne certains aspects du monde en les imitant de manière interactive. Les apprenants, en interagissant avec ces environnements simplifiés, résolvent des problèmes, apprennent des procédures et développent leur compréhension des phénomènes. Thomas et Hooper (1991) distinguent quatre types de simulations pédagogiques :

- Les simulations d'expérimentation, qui préparent cognitivement ou affectivement l'élève avant l'apprentissage formel ;
- Les simulations d'information, qui transmettent des contenus mais nécessitent un accompagnement pédagogique pour être efficaces ;
- Les simulations de renforcement, qui visent à consolider des acquis par la pratique ;
- Les simulations d'intégration, qui permettent aux élèves d'appliquer et d'articuler des savoirs pour développer des compétences diagnostiques.

Les simulations numériques en sciences physiques sont des programmes informatiques reproduisant un phénomène physique ou chimique dans des expérimentations virtuelles. Les simulations ayant fait l'objet de la formation des enseignants de sciences du Kuilsé en janvier 2023, sont issus du site PhET <https://phet.colorado.edu/en/simulations/alpha-decay> et comprennent 27 simulations en physique et 18 en chimie.

Notre analyse s'appuiera sur trois théories complémentaires pour interpréter les données collectées. Le constructivisme de Piaget (1936, 1937) nous aidera à examiner comment les simulations favorisent la construction active du savoir par l'élève. Le socioconstructivisme de Vygotsky (1985) permettra d'éclairer le rôle des interactions sociales dans leur usage pédagogique. Enfin, la théorie de la médiation instrumentale de Rabardel (1995) offrira un cadre pour comprendre les conditions d'appropriation ou de blocage de ces outils par les enseignants. Ces approches théoriques orientent ainsi notre lecture des données issues du terrain et notre compréhension des dynamiques d'intégration des simulations numériques.

Le constructivisme de Piaget (1936, 1937) postule que l'apprenant construit activement son propre savoir en interagissant avec son environnement physique. Ainsi, acquérir des connaissances suppose l'activité des apprenants, activité de manipulation d'idées, de connaissances, de

conceptions. L'élève devient alors acteur de son propre apprentissage et le rôle du professeur change ; il devient un guide, un facilitateur qui stimule, questionne, organise et accompagne les élèves dans leur démarche de construction du savoir. Selon Brooks et Brooks (2001), l'enseignement constructiviste favorise l'autonomie des apprenants et encourage leur prise d'initiative. Il repose sur des interventions pédagogiques qui intègrent les réactions des élèves tout en s'appuyant sur leurs conceptions et la construction du contenu des leçons. Dans le cadre des simulations numériques, cette perspective nous aide à examiner comment l'interaction des élèves avec les modèles virtuels peut favoriser la construction de concepts.

Le socio-constructivisme de Vygotsky (1985) complète cette vision en privilégiant l'interaction de l'apprenant avec ses pairs et en soulignant le rôle fondamental du langage dans la construction des connaissances. La compréhension des phénomènes naturels et scientifiques se développe à travers l'interaction sociale, avec le langage comme médiateur. Ainsi, la connaissance scientifique et l'apprentissage passent d'abord par un échange social avant d'être progressivement intériorisés par l'individu. La complémentarité entre constructivisme et socio-constructivisme, comme le précise Vergnaud (2000), réside dans le fait que le constructivisme met l'accent sur l'action matérielle sur les objets, tandis que le socio-constructivisme privilégie l'interaction sociale et le langage. Ainsi, un apprentissage efficace par les simulations devrait intégrer à la fois l'interaction individuelle avec l'outil et les échanges collectifs. Si ces interactions ne sont pas observées, cela signale des difficultés dans l'intégration des simulations numériques.

Enfin, la théorie de la médiation instrumentale, proposée par Rabardel (1995), constitue un cadre théorique particulièrement adapté pour analyser les processus d'appropriation des outils numériques dans un contexte d'enseignement-apprentissage. Selon lui, un artefact (matériel ou symbolique) ne devient un instrument qu'à travers un processus de transformation appelé « genèse instrumentale ». Cette genèse comprend deux dimensions complémentaires : l'instrumentalisation, par laquelle le sujet adapte l'artefact à ses objectifs, et l'instrumentation, qui renvoie à la construction de schèmes d'utilisation, c'est-à-dire des structures cognitives organisant l'action avec l'outil. L'instrument est ainsi défini comme une entité mixte, résultant de l'interaction entre l'artefact et les schèmes développés par l'utilisateur, et dépend de son appropriation progressive dans des situations d'enseignement-apprentissage réelles. Cette théorie offre donc un cadre d'analyse pour explorer les usages, les freins et les dynamiques de transformation des pratiques pédagogiques liées aux technologies. Ainsi, les difficultés observées dans notre contexte peuvent être interprétées comme les signes d'une genèse instrumentale incomplète ou empêchée.

3. Méthodologie

Ce point présente le terrain d'investigation, les critères de choix des participants à l'enquête, l'approche méthodologique utilisée et les instruments de collecte des données ainsi que les méthodes de traitements et d'analyse de ces données.

3.1. Méthodes d'investigation

Pour explorer les difficultés à l'intégration des simulations numériques, nous avons opté pour une approche mixte combinant des méthodes qualitatives et quantitatives. L'approche qualitative a permis de sonder les perceptions et les difficultés des enseignants, tandis que l'approche quantitative a mesuré l'usage des simulations et identifié les contraintes matérielles.

3.2. Population et échantillonnage

Notre univers statistique est constitué de deux groupes d'acteurs directement impliqués dans l'intégration des simulations numériques en sciences physiques : les enseignants de sciences physiques formés en janvier 2023 sur les nouvelles techniques d'enseignement et les élèves des classes observées.

Un échantillonnage raisonné a été utilisé, basé sur des critères liés à la problématique. Le critère principal retenu est la participation des enseignants à la formation de janvier 2023 sur les simulations numériques. Les cent (100) enseignants ayant suivi cette formation ont été répartis comme suit : soixante-six (66) pour le questionnaire en ligne, trente (30) pour les entretiens semi-directifs et quatre (4) pour les observations en classe. Les classes observées sont deux (2) classes de 4^{ème} et deux (2) de seconde C avec un effectif total de cent-trente-cinq (135) élèves.

Afin de garantir l'anonymat des participants et de faciliter la présentation des résultats, un système de codage a été adopté. Chaque enseignant interrogé a ainsi été identifié par un code alphanumérique du type E1, E2, E3, etc., où la lettre 'E' renvoie au terme 'Enseignant' et le chiffre indique l'ordre d'apparition ou d'enregistrement dans notre corpus de données.

3.3. Instruments de collectes et méthodes de traitement des données

Les instruments de collecte des données choisis pour cette étude incluent : une grille d'observation en classe, un guide d'entretien semi-directif avec les enseignants, un questionnaire pour les enseignants et un questionnaire pour les élèves. L'observation directe des pratiques pédagogiques a été conduite à l'aide d'une grille d'observation élaboré spécifiquement pour cette étude, combiné à la grille officielle de l'inspection de sciences physiques. Cet outil permet de relever les comportements observables en lien avec l'utilisation des simulations numériques en situation d'enseignement-apprentissage. Un guide d'entretien semi-directif a été utilisé pour mener des échanges avec les enseignants. Ce support a permis d'organiser les discussions autour de thèmes liés à l'usage des simulations numériques, tout en laissant la possibilité aux enseignants d'exprimer

librement leurs expériences, leurs perceptions et leurs pratiques. Un questionnaire en ligne, administré via Google Forms, a été élaboré et envoyé dans le groupe WhatsApp créé à l'issue de la formation des enseignants de sciences physiques sur les simulations. Un autre questionnaire est destiné aux élèves des classes observées.

Les méthodes de traitement des données sont à la fois manuelles et informatiques, adaptées en fonction de la nature des informations collectées. Les données d'observation ont été catégorisées en fonction des difficultés observées (problèmes techniques et d'équipement, contraintes pédagogiques et didactiques, réactions et engagement des élèves...). Cette catégorisation nous a permis de produire une analyse descriptive mettant en évidence les principales tendances observées sur le terrain. Les entretiens menés ont été enregistrés, retranscrits, puis soumis à une analyse thématique manuelle. Nous avons regroupé les propos des enseignants autour de grands axes : obstacles d'ordre technologique, pédagogique et didactique, ainsi que suggestions d'amélioration. Cette démarche nous a permis d'identifier des motifs récurrents, tout en mettant en lumière des situations singulières révélatrices. Les réponses au questionnaire destiné aux enseignants ont été extraites depuis Google Forms et traitées à l'aide du logiciel Microsoft Excel. Pour les élèves le dépouillement des réponses a été effectué manuellement.

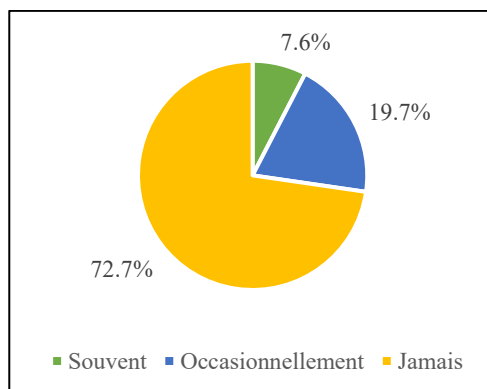
4. Résultats

De nos investigations sur l'intégration des simulations dans l'enseignement apprentissage des sciences physiques dans les établissements secondaires de la région du Kailsa, des données sur l'expérience et l'intégration des simulations par les enseignants, les difficultés des élèves et des enseignants ont été recueillies.

4.1. Expérience et intégration des simulations dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques

Le graphique 1 illustre la disponibilité des ressources matérielles et techniques dans les établissements scolaires enquêtés.

Graphique N°1 : Résultat de l'expérience et de l'intégration des simulations par les enseignants



Source : Données issues de nos enquêtes

Ce graphique indique que 27,3 % des enseignants affirment avoir eu recours aux simulations numériques de manière ponctuelle à l'issue de la formation reçue contre 73,7 % qui disent n'avoir jamais intégré les simulations numériques dans leurs pratiques pédagogiques. Les raisons évoquées par ces derniers sont la perte des clés USB avec les simulations, la non fonctionnalité des simulations reçues, le manque de temps, le non suivi après la formation. A l'entretien, l'enseignant E12 rapporte : « Avec la charge des cours, les corrections, franchement, je n'ai pas eu le temps de revenir sur la clé USB après la formation. Ça demande de bien s'asseoir, de tester, de comprendre comment ça fonctionne... Et honnêtement, avec le programme qu'on doit finir à temps, je n'arrive pas à caser ça dans mon emploi du temps. » Les enseignants ayant déclaré avoir eu recours aux simulations affirment avoir mobilisé leurs ordinateurs personnels et utilisé le vidéoprojecteur de leur établissement pour mettre en œuvre ces ressources. L'enseignant E5 affirme : « Oui, j'utilise parfois des vidéos YouTube. Mais pour les simulations, c'était ma première fois en classe. »

4.2. Difficultés de compréhension des concepts par les élèves à travers les simulations

Le tableau 1 présente les principales difficultés de compréhension conceptuelle rencontrées par les élèves lors de l'utilisation des simulations numériques.

Tableau N°1 : Types de difficultés des élèves

Type de difficulté	Pourcentage d'élèves	Illustrations issues du terrain
Difficulté à faire le lien simulation-concept	84,4 %	Un élève (4 ^{ème}) : « Donc la lumière va plus vite dans l'eau que dans l'air ? »
Confusion entre simulation et réalité	2,2 %	- Élève (4e) : « Est-ce que c'est ça qu'on appelle disjoncter ? » (Après une simulation sur le court-circuit)

		- (Élève, 4e) : « C'est comme ça en vrai ? » - Un autre de 4e : « Pourquoi le rayon change-t-il de direction dans l'eau ? C'est la simulation ou c'est vrai ? »
Non-manipulation des simulations par les élèves	100 %	Une élève (2nde) : « Moi, je veux essayer aussi. Je n'ai pas compris comment on fait

Source : Données issues de nos enquêtes

Ce tableau révèle que malgré l'intérêt suscité par les simulations, les élèves éprouvent des difficultés à en tirer une compréhension correcte des concepts scientifiques, soulignant la nécessité d'un accompagnement pédagogique structuré pour guider leur interprétation.

4.3. Difficultés d'adaptation pédagogique des simulations numériques

Les données mettent en évidence plusieurs difficultés relatives à l'adaptation pédagogique des simulations numériques. Aucun des enseignants interrogés n'a affirmé que les simulations utilisées sont pleinement conformes aux prescriptions du programme. Parmi les enseignants questionnés, 26,1 % considèrent qu'elles ne couvrent les objectifs que de manière partielle, tandis que 72,3 % déclarent ne pas être en mesure d'évaluer leur conformité, ce qui indique un manque de repères clairs. De plus, 16,7 % des enseignants mentionnent avoir éprouvé des difficultés à identifier une simulation correspondant exactement aux objectifs visés, et 12,1 % des enseignants signalent une contrainte temporelle. Enfin, la quasi-totalité des enseignants souligne l'absence de guide d'utilisation ou de ressources explicatives.

Ces constats convergent avec les propos recueillis lors des entretiens individuels. Un enseignant a par exemple déclaré : « Il n'y avait pas de guide clair, j'ai dû deviner moi-même ce que je pouvais faire avec la simulation... et au final, j'ai juste montré, sans aller plus loin. » Un autre a souligné : « Franchement, j'ai bien aimé la simulation, mais pour trouver exactement celle qui colle avec mes objectifs, c'est la galère. Il faut fouiller partout et parfois tu ne trouves même pas. »

Ces témoignages illustrent les contraintes concrètes rencontrées par les enseignants dans le processus de sélection, de planification et d'intégration pédagogique des simulations numériques.

4.4. Difficultés à relier la simulation aux exercices et aux évaluations

Sur l'ensemble des enseignants enquêtés, 27,3 % déclarent avoir utilisé les simulations numériques après la formation de manière occasionnelle. Parmi eux, E3, E5, E8 et E9 ont été observés en situation de classe, tandis que E2, E4, E6 et E11 ont partagé leur expérience en entretiens. Ces enseignants ont relevé plusieurs obstacles pour établir une continuité entre la simulation et les

activités d'évaluation ou d'application écrite. Des enseignants enquêtés, 24,2 % signalent des difficultés des élèves à passer de l'observation visuelle à une rédaction structurée, renforcée par l'absence de supports d'exercices directement liés aux simulations. L'enseignant E2 a confié : « Le problème, c'est que la simulation montre bien, mais pour faire un vrai exercice avec, tu dois inventer toi-même un énoncé. Et ce n'est pas évident. » Lors des entretiens avec les enseignants, 21,2 % estiment que la mobilisation des concepts via les simulations reste difficile pour les élèves en résolution autonome. L'enseignant E11 résume : « Pendant la simulation, ça va. Les élèves suivent. Mais dès qu'on passe aux exercices écrits, c'est comme si ce qu'ils ont vu n'a laissé aucune trace. Ils ne font pas le lien. » Les observations confirment que les simulations sont souvent projetées en mode frontal, sans scénarisation pédagogique claire.

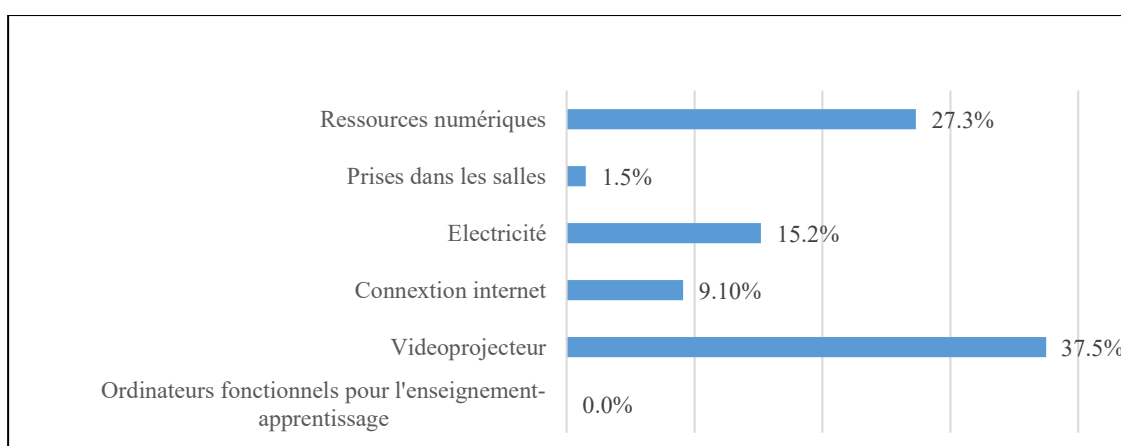
Des signes de confusion chez les élèves ont été constatés. Pendant les observations de classe, un élève demande « Monsieur, on doit recopier ce qu'on a vu ou c'est une autre question ? », et un autre s'exclame : « Mais dans la vidéo, le rayon ne faisait pas comme ça. » Sur l'ensemble des élèves questionnés, 74,1 % ont coché « Je ne sais pas comment utiliser ce qu'on a vu » pour répondre au questionnaire.

Ces résultats mettent en évidence la nécessité d'un accompagnement pédagogique renforcé pour aider les élèves à tirer pleinement profit des simulations dans l'apprentissage des concepts scientifiques.

4.5. Disponibilité et fonctionnalité des infrastructures technologiques

Le graphique 2 illustre la disponibilité des ressources matérielles et techniques dans les établissements scolaires enquêtés.

Graphique N°2 : Résultat de la disponibilité des infrastructures technologiques



Source : Données issues de nos enquêtes

Ce graphique révèle une insuffisance des infrastructures. Aucun enseignant n'a déclaré disposer d'ordinateurs fonctionnels ou de service informatique ; seuls 37,5 % des enseignants ont accès à

un vidéoprojecteur. Une absence quasi totale de connexion internet, une disponibilité très limitée de l'électricité et une rareté des prises électriques en salle de classe sont également constatées. Tous les enseignants interrogés ont souligné ce manque. L'enseignant E3 explique : « Notre salle informatique est devenue la direction provinciale ». L'enseignant E9 mentionne : « Même le vidéoprojecteur, c'est un seul appareil pour tout le lycée ». L'enseignant E6 témoigne : « Franchement, on bricole. Moi j'utilise mon ordinateur personnel... Et si le matériel tombe en panne, il n'y a personne pour le réparer ».

Les contraintes matérielles étaient manifestes lors des observations. Les enseignants utilisaient leurs propres ordinateurs portables. L'enseignant E8 a dû s'interrompre pour relancer la simulation à cause du dysfonctionnement de son ordinateur. Dans une classe de 4^{ème} avec soixante-huit (68) élèves, l'écran était difficilement visible, provoquant des remarques des élèves. L'enseignant E3 a dû abandonner une simulation en raison d'un matériel défectueux.

4.6. Difficultés de manipulation des simulations numériques

Les résultats révèlent que 15,2 % des enseignants ont signalé des difficultés liées aux réglages et à la configuration des paramètres, 4,5 % ont mentionné la lenteur de chargement des simulations, 7,6 % ont indiqué des blocages ou bugs techniques et 72,3 % ne se sont pas prononcés.

Les entretiens ont mis en lumière des frustrations. L'enseignant E6 a déclaré : « Moi-même j'ai dû m'y reprendre à plusieurs fois pour comprendre où cliquer. » L'enseignant E11 a partagé une expérience où la simulation s'est plantée en plein cours. L'enseignant E5 a souligné les limitations des paramètres préconçus dans les simulations.

Une séance observée avec l'enseignant E9 a illustré les limites lors des montages virtuels. Après plusieurs tentatives infructueuses pour un montage électrique en série, il a demandé aux élèves : « De quel montage s'agit-il ? », un élève a répondu : « C'est un montage en dérivation. », ce à quoi l'enseignant a répondu : « Ça, c'est un montage en dérivation ? Ou bien c'est parce que c'est condolé ? », témoignant d'un flottement dans la maîtrise des notions électriques. Toutefois, l'enseignant E9 a ensuite renforcé le lien entre virtuel et concret en amenant du matériel réel : « J'ai amené le matériel pour que vous touchiez à la réalité ».

Tous les élèves ont indiqué ne pas avoir manipulé les simulations eux-mêmes. Une élève a demandé : « Monsieur, on peut essayer nous aussi ? », et l'enseignant E9 a répondu : « Pas aujourd'hui, on n'a pas assez d'ordinateurs, ni de temps. »

5. Discussion des résultats

La discussion des résultats de cette étude permet d'interpréter les difficultés observées à l'aune de notre cadre théorique, offrant une compréhension approfondie des freins à l'intégration des simulations numériques dans l'enseignement des sciences physiques.

5.1. Obstacles technologiques et la genèse instrumentale incomplète

Les résultats mettent en évidence des carences technologiques majeures, telles que l'absence d'ordinateurs fonctionnels, une connectivité internet limitée et des problèmes d'alimentation électrique. Ces obstacles sont critiques au regard de la théorie de la médiation instrumentale de Rabardel (1995). Un artefact (la simulation numérique et l'équipement associé) ne peut devenir un instrument pleinement intégré que par une "genèse instrumentale" complète. Ici, le manque criard d'artefacts fonctionnels et disponibles rend le processus d'instrumentalisation (adaptation de l'artefact aux objectifs de l'enseignant) et d'instrumentation (construction de schèmes d'utilisation) incomplet ou empêché. Les témoignages des enseignants, contraints d'utiliser leur matériel personnel ou de "bricoler", illustrent cette difficulté à développer des schèmes d'utilisation stables et efficaces en raison de la fragilité de l'artefact lui-même. La situation où l'enseignant E3 doit abandonner une simulation faute de matériel est un exemple flagrant d'une genèse instrumentale interrompue avant même de commencer.

5.2. Difficultés pédagogiques, didactiques et processus constructiviste et Socio-constructiviste

Les observations révèlent que les simulations sont souvent réduites à de simples démonstrations frontales, sans manipulation directe par les élèves, et avec une faible articulation entre la simulation et les activités d'évaluation ou d'exercices. Cependant, cet outil soulève des défis constructivistes et socio-constructivistes qui méritent d'être explorés.

Les théories constructivistes et socio-constructivistes postulent que l'apprentissage est un processus actif où les apprenants construisent leurs connaissances à travers des expériences pratiques et des interactions avec leurs enseignants et pairs. Dans cette optique, les simulations offrent des opportunités aux apprenants de s'engager dans des expériences immersives, les plaçant au centre de leur apprentissage. Mais la non-manipulation des simulations par les élèves entrave la "construction active du savoir" prônée par ces théories. Si l'élève ne peut "essayer aussi" ou "toucher à la réalité", la simulation reste une expérience passive. Cela ne favorise pas l'engagement cognitif nécessaire à la réorganisation des connaissances. La confusion entre simulation et réalité ("C'est la simulation ou c'est vrai ?") montre que la construction de schémas mentaux adéquats est compromise sans une interaction plus profonde et une réflexion guidée.

Le manque de temps et de ressources pour l'élaboration de fiches de leçon adaptées et le déficit de formation continue limitent les interactions structurées. Alors que le socio-constructivisme souligne l'importance de ces interactions et du langage pour la médiation de l'apprentissage. L'absence de discussion approfondie, de "scénarisation pédagogique claire" et la difficulté des

élèves à "faire le lien" entre ce qu'ils ont vu et les questions posées indiquent un manque de médiation sociale et langagière essentielle à l'appropriation des concepts.

Les simulations doivent également s'inscrire dans un cadre d'évaluation adapté. Les difficultés des enseignants à aligner les simulations avec les objectifs du programme, à les intégrer dans leurs planifications ou à les relier aux évaluations reflètent également une genèse instrumentale incomplète. L'outil (la simulation) n'est pas encore pleinement maîtrisé comme instrument didactique.

5.3. Persistance des conceptions erronées et changement conceptuel

Bien que l'étude se concentre sur l'intégration des simulations, elle met en lumière les conditions qui favorisent la persistance des conceptions erronées. La difficulté des élèves à "utiliser ce qu'on a vu pour répondre aux questions" (Questionnaire élèves) et leur confusion entre simulation et réalité suggèrent que les simulations, telles qu'utilisées, ne provoquent pas un "changement conceptuel" efficace. Si les "conceptions préalables que les élèves développent à partir de leurs expériences quotidiennes" ne sont pas confrontées et réorganisées par une activité cognitive structurée autour de la simulation, elles ont toutes les chances de persister.

Pour que l'intégration des simulations opère un véritable changement conceptuel, il est impératif que les élèves manifestent une insatisfaction vis-à-vis de leurs conceptions initiales, rendant ainsi les concepts scientifiques nouveaux intelligibles, plausibles et féconds (Thouin, 2020). Elle doit donc être menée de manière à créer un conflit cognitif chez l'apprenant, l'amenant à remettre en cause ses modèles mentaux préexistants et à construire de nouvelles représentations compatibles avec les concepts scientifiques (Nertivich, 2023).

5.4. Implications et défis pour la didactique des sciences physiques

Les résultats de cette étude soulignent que l'intégration des simulations numériques, malgré son potentiel, est loin d'être effective. Les difficultés ne sont pas que techniques, mais profondément liées aux pratiques pédagogiques et didactiques et nécessitent fondamentalement de nouvelles approches pour exploiter pleinement le potentiel des simulations. Pour que les simulations deviennent des outils d'apprentissage efficaces, il est impératif d'associer simultanément l'accessibilité et la fiabilité technologique, la formation continue des enseignants et le rôle actif des élèves. Cette discussion met en lumière la complexité de l'intégration des technologies éducatives et la nécessité d'une approche holistique pour surmonter les obstacles identifiés.

6. Suggestions

Au regard des résultats auxquels nous sommes parvenus et pour que les simulations ne soient pas de simples outils de démonstration, mais des instruments d'investigation active permettant aux

élèves de construire leur compréhension des phénomènes physiques (Demba, 2000), nous formulons les suggestions suivantes :

- **Renforcement de l'accompagnement pédagogique entre pairs**

L'une des difficultés relevées est le manque d'accompagnement pratique pour l'intégration des simulations numériques dans les séquences pédagogiques alors que la question de l'appropriation technologique est un processus complexe impliquant de multiples acteurs (Touré, 2020 ; Chandini, 2023). Ainsi donc, à travers les conseils d'enseignement de sciences physiques qui fonctionnent dans les établissements, nous proposons d'intégrer un accompagnement entre pairs au sein des activités de ce conseil. Plus précisément, que les enseignants ayant déjà expérimenté l'usage des simulations accompagnent ceux qui ne les ont pas encore utilisées. Ces partages d'expériences pourraient prendre la forme de démonstrations, d'échanges de pratiques ou de retours d'expérience, lors des réunions périodiques du conseil. Cette approche valorise l'expertise locale, ne nécessite pas de moyens supplémentaires, et s'inscrit dans une logique de solidarité professionnelle. Elle renforcerait progressivement l'appropriation des outils numériques, tout en consolidant les dynamiques de collaboration déjà présentes dans les établissements secondaires de la région du Kulsé.

- **Mutualisation d'un kit numérique mobile avec l'appui de la Direction de l'Éducation numérique et de la Digitalisation (DEND)**

Le manque d'équipements technologiques dans les établissements secondaires constitue une des difficultés de l'intégration des simulations numériques dans l'enseignement des sciences physiques. Dans un contexte de fortes contraintes budgétaires, une solution réaliste consisterait à mettre en place, au sein de chaque établissement, un kit numérique mobile mutualisé. Ce kit pourrait contenir un ordinateur, un mini vidéoprojecteur, une batterie externe, ainsi que des supports de simulation utilisables hors ligne. Il serait souhaitable que la Direction de l'Éducation Numérique et de la Digitalisation (DEND) puisse coordonner la dotation progressive des établissements en kits numériques. En lien avec les inspections locales et les directions régionales, cette direction pourrait faciliter la mise à disposition du matériel selon les besoins du terrain. La gestion locale du kit pourrait s'inspirer d'une organisation déjà en place à Kaya : dans plusieurs établissements, le conseil d'enseignement a instauré un système de rotation pour l'usage du laboratoire. Ce fonctionnement, basé sur une planification entre enseignants, pourrait être transposé à l'utilisation du kit numérique. Un référent désigné au sein de l'équipe pédagogique pourrait en assurer le suivi et garantir une utilisation équitable, selon un calendrier établi. Ce dispositif, inspiré des réalités locales, favoriserait une utilisation partagée et rationnelle des ressources, tout en répondant à des besoins ponctuels d'expérimentation. Il s'inscrit dans une

logique de mutualisation et d'efficacité pragmatique, sans exiger une transformation immédiate des infrastructures.

- **Intégration progressive des simulations dans la planification pédagogique**

Nous proposons une intégration progressive des simulations numériques, à raison d'une ou de deux séances par trimestre dans un premier temps. Cette approche graduelle permettrait aux enseignants de se familiariser avec les outils, de tester leur pertinence selon les chapitres, et de les intégrer à leur rythme dans leurs pratiques habituelles. Une telle planification permet de réduire la pression liée à l'innovation pédagogique, tout en garantissant une certaine continuité dans l'appropriation des outils. Elle offre également une marge d'ajustement en cas de difficulté technique ou d'indisponibilité du matériel, particulièrement fréquentes dans les établissements de la région.

- **Constitution d'une vidéothèque éducative locale à partir de pratiques enseignantes contextualisées**

Les entretiens menés avec les enseignants de sciences physiques à Kaya ont révélé que, malgré la rareté des ressources, plusieurs parviennent à réaliser des manipulations simples à l'aide de matériel local ou de quelques équipements disponibles. Certains utilisent des objets de récupération comme des bouteilles en plastique, des fils de récupération, des ampoules, des lames de rasoir pour illustrer concrètement des phénomènes physiques. Dans cette dynamique de contextualisation, il serait pertinent de promouvoir la création d'une vidéothèque éducative locale, nourrie par des vidéos téléchargeables (PhET, YouTube Éducation, etc.) mais surtout par des productions originales réalisées par les enseignants avec leur téléphone portable. Ces vidéos documenteraient des expérimentations contextualisées, exécutées avec les moyens du bord, illustrant de manière vivante des phénomènes enseignés. En se filmant lors de ces expériences, les enseignants contribueraient à valoriser les pratiques locales tout en créant une ressource mutualisable. Les vidéos pourraient être diffusées dans les établissements, stockées sur clés USB, cartes mémoire ou téléphones, puis projetées en classe sans connexion internet. Dans les classes surchargées ou en l'absence de matériel, elles offriraient un support visuel, facilitant l'ancrage des concepts en établissant un lien entre théorie et réalité locale. Cette initiative participe à une logique d'autonomie pédagogique, en renforçant les pratiques collaboratives tout en tenant compte des contraintes du milieu.

- **Intégration du suivi de l'innovation dans les activités pédagogiques des directions déconcentrées**

L'un des constats de notre enquête est l'absence de suivi pédagogique structuré après les formations à l'usage des simulations numériques. Les enseignants ont exprimé un sentiment d'abandon, marqué par un manque d'accompagnement sur le terrain dans la phase de mise en

œuvre des outils. Pourtant, la Direction provinciale et la Direction régionale du Kulsé mènent chaque année des visites de classes dans le cadre des suivis pédagogiques. Ces visites constituent un levier qu'il serait pertinent de mobiliser pour intégrer l'observation et l'accompagnement des pratiques liées à l'innovation pédagogique, notamment l'usage des simulations numériques. Il est recommandé que les encadreurs pédagogiques intègrent systématiquement, dans leur programme annuel, un volet consacré à l'évaluation de la mise en œuvre des outils numériques introduits en formation. Cela permettrait de valoriser les enseignants engagés, de repérer les obstacles et d'apporter un appui ciblé à ceux en difficulté. Une telle intégration renforcerait la continuité entre formation initiale et pratique en classe, tout en rapprochant les politiques nationales de leur application sur le terrain. Elle contribuerait aussi à construire une mémoire institutionnelle des usages pédagogiques des outils numériques, en vue de leur amélioration progressive et contextualisée.

Ces axes d'intervention sont cruciaux pour surmonter la fracture numérique et les obstacles à l'intégration efficace des simulations, en particulier dans les contextes où l'accès aux laboratoires traditionnels au Burkina Faso est limité.

Conclusion

Cette recherche a permis d'explorer les conditions d'intégration des simulations numériques dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques dans les établissements secondaires de la région du Kuisé. En combinant les méthodes quantitatives et qualitatives, l'étude a révélé que, malgré un intérêt croissant pour ces outils, leur utilisation effective en classe reste marginale. Plusieurs difficultés ont été identifiées. Sur le plan technologique, les établissements souffrent d'un manque d'équipements informatiques, de vidéoprojecteurs, de connexions internet et de dispositifs d'alimentation électrique fiables. Sur le plan pédagogique, les enseignants sont confrontés à l'absence de ressources explicatives, au manque de temps pour concevoir des séquences adaptées, ainsi qu'à un déficit d'accompagnement post-formation. D'un point de vue didactique, les simulations sont souvent réduites à de simples démonstrations, sans réelle manipulation des outils par les élèves ni articulation avec les évaluations. Ces conditions limitent fortement la portée éducative de ces outils. L'analyse des données, éclairée par le constructivisme, le socio-constructivisme et la théorie de la médiation instrumentale, a permis de comprendre que l'efficacité des simulations numériques dépend non seulement de leur accessibilité technique, mais surtout de leur intégration dans une pratique pédagogique structurée. Cette intégration nécessite un accompagnement renforcé, une formation continue contextualisée et la mise à disposition d'outils adaptés aux réalités du terrain. Ces résultats ouvrent des perspectives pour des recherches futures. Sur l'impact des formations des enseignants, une étude longitudinale pourrait être menée pour évaluer l'impact à long terme de formations spécifiques sur les pratiques pédagogiques des enseignants et la performance des élèves. A travers les mécanismes de changement conceptuel, les conceptions erronées des élèves suite à l'utilisation des simulations peuvent être explorées.

BIBLIOGRAPHIE

- Alessi, S. M. & Trollip, S R. (1985). *Computer-Based Instruction : Methods and Development*. Prentice Hall.
- Assemblée Nationale (2017). *Commission d'enquête parlementaire sur le système d'enseignement. Rapport de synthèse*. Burkina Faso.
- Bebell, D., Russell, M., & O'Dwyer, L. (2004). Measuring teachers' technology uses: Why multiple-measures are more revealing. *Journal of Research on Technology in Education*, 37(1), 45–63. <https://doi.org/10.1080/15391523.2004.10782425>
- Brooks, J. G., & Brooks, M. G. (2001). *In Search of Understanding: The Case for Constructivist Classrooms*. Merrill/Prentice Hall
- Chandini, M. (2023). *Appropriation des nouvelles médiations technopédagogiques. Enjeux, contraintes et perspectives pour une éducation de qualité pour tous en Afrique*. *Éducation et socialisation*, 69. <https://doi.org/10.4000/edso.24720>
- Demba, H. A. (2020). *L'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de physique dans une salle de classe entière au collège en Côte d'Ivoire. Étude de cas d'un simulateur d'oscilloscope*. [Thèse de doctorat, CY Cergy Paris Université].
- Djiguemde, K. (2021). *L'expérimentation dans l'enseignement/apprentissage des sciences physiques au post-primaire: difficultés et perspectives. Cas de l'enseignement général au Burkina Faso en général et de la ville de Koudougou en particulier*. [Mémoire de fin de formation d'Inspecteur de l'Enseignement Secondaire option : Sciences Physiques, École Normale Supérieure, Burkina Faso].
- Ilboudo, W., & Kiemdé, I. (2023). *Pratiques expérimentales et appropriation des savoirs scientifiques des élèves du post-primaire au Burkina Faso*. *PLURAXES/MONDE*, 254-270.
- Legendre, R. (1993). *Dictionnaire actuel de l'éducation (2e éd.)*. Guérin.
- Muller, D. A., Bewes, J., Sharma, M. D., & Reimann. (2008). Saying the wrong thing : Improving learning with multimedia by including misconceptions. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(2), 144-155.
- Nertivich, D. (2023). *L'approche des concepts à l'enseignement et l'apprentissage des sciences*. *European Journal of Education Studies*, 10(4), 19-27. <http://dx.doi.org/10.46827/ejes.v10i4.4738>
- PA-DS. (2023). *Plan d'action pour la stabilisation et le développement*. <https://www.presidencedufaso.bf/wp-content/uploads/2024/01/PA-SD-2023-2.pdf>.
- Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1937). La construction du réel chez l'enfant. La construction du réel chez l'enfant. Delachaux et Niestlé.

Rabardel, P. (1995). Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains. Armand Colin.

Thomas, R., & Hooper, E. (1991). Simulations : An opportunity we are missing. *Journal of Research on Computing in Education*, 23(4), 497–513.
<https://doi.org/10.1080/08886504.1991.10781978>

Thouin, M. (2020). La didactique: essentielle, mais menacée. *Didactique*, 1(1), 61-86.
<https://doi.org/10.37571/2020.0104>

Touré, K. (2020). L'appropriation pédagogique des technologies : Un processus socioculturel. In T. Karsenti, K. Touré, M. Lepage, & S. A. Attenoukon (Éds.), *Usages et appropriation des technologies éducatives en Afrique : Quelques pistes de réflexion* (p. 43-78). Langaa RPCIG.
<https://muse.jhu.edu/book/76000>

Vergnaud, G. (2000). *Lev Vygotski pédagogue et penseur de notre temps*. Hachette Éducation.

Vygotski, L.-S. (1985). *Pensée et langage*. Editions sociales.

Zerbo, S. (2022). Enseignement-apprentissage des ombres en classe de quatrième : Identification de quelques difficultés et propositions de solutions. [Mémoire de fin de formation d'Inspecteur de l'Enseignement Secondaire option : Sciences Physiques), École Normale Supérieure, Burkina Faso].

Zongo, M. (2016). Contribution de la démarche Questionnement Hypothèse Argumentation à l'enseignement expérimental de la mécanique en classe de seconde C au Burkina Faso. [Thèse de doctorat unique, Université de Koudougou, Burkina Faso].