

Dispositif CAFOP Virtuel : conception et évaluation préliminaire d'un dispositif de formation des enseignants de sciences

DJIEH Bi tah de sales

CY Cergy Paris Université (France)

NOUHOU Abdoul Massalabi

Université Djibo Hamani (Niger)

Résumé

Face au déséquilibre entre théorie et pratique dans la formation des enseignants scientifiques, un dispositif hybride a été conçu et évalué. Celui-ci visait à moderniser l'enseignement des sciences physiques en intégrant des plateformes de formations et des simulations interactives PhET pour favoriser une pédagogie expérimentale. L'objectif était d'analyser la capacité du dispositif à renforcer la professionnalisation des futurs enseignants.

L'étude a impliqué 14 participants et combiné méthodes quantitatives et qualitatives avec un pré-tests et un post-test, un questionnaire de satisfaction, une analyse des traces d'apprentissage sur Moodle et des échanges via outils numériques.

L'expérimentation du dispositif a montré une amélioration des connaissances et un fort engagement des participants. Les retours ont souligné la clarté des contenus, la pertinence des modules et la qualité de l'encadrement. Les participants ont acquis de nouvelles compétences numériques et une confiance dans l'usage des simulations PhET. Le principal défi reste technique, notamment l'accès hors ligne.

Mots-clés : *Formation des enseignants, enseignements des sciences, dispositif hybride, CAFOP Virtuel, PhET, évaluation.*

Abstract

Faced with the imbalance between theory and practice in the training of science teachers, a hybrid system was designed and evaluated. Its purpose was to modernize the teaching of physics by integrating training platforms and PhET interactive simulations to promote an experimental pedagogy. The

objective was to analyze the system's ability to strengthen the professionalization of future teachers. The study involved 14 participants and combined quantitative and qualitative methods, including a pre-test and post-test, a satisfaction questionnaire, analysis of learning traces on Moodle, and exchanges through digital tools. The experimentation showed an improvement in knowledge and strong participant engagement. Feedback emphasized the clarity of content, the relevance of modules, and the quality of support. Participants acquired new digital skills and confidence in using PhET simulations. The main challenge remains technical, particularly ensuring offline access.

Keywords: *Teacher training, science teaching, hybrid learning model, Virtual CAFOP, PhET, evaluation.*

Introduction

L'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans les systèmes éducatifs constitue, depuis la fin des années 1990, un impératif croissant des politiques éducatives mondiales. Reconnues comme leviers stratégiques d'innovation pédagogique et de modernisation des pratiques d'enseignement (Bibeau, 2005; Peraya, 2018), les TIC transforment en profondeur les modalités de transmission et d'acquisition des savoirs, en particulier dans les disciplines scientifiques. À l'échelle mondiale, leur intégration vise à améliorer la qualité des apprentissages, à diversifier les modalités d'enseignement et à préparer les enseignants aux exigences éducatives du XXI^e siècle. Cependant, dans de nombreux contextes africains, la formation initiale des enseignants du primaire demeure marquée par un déséquilibre persistant entre apports théoriques et activités pratiques, limitant significativement la capacité des futurs enseignants à concevoir des séquences d'apprentissage expérimentales et interactives.

En Afrique de l'Ouest, des travaux récents ont mis en lumière le potentiel des outils numériques pour renforcer l'apprentissage des sciences. Demba (2020), dans sa thèse de doctorat soutenue

à CY Cergy Paris Université, il a montré qu'un simulateur d'oscilloscope permettait d'améliorer significativement la compréhension de la physique chez des élèves de collège en Côte d'Ivoire.

Raïssouni et al. (2023), dans une étude conduite au Maroc sur la formation des futurs professeurs de sciences physiques au niveau secondaire, ont mis en évidence que l'enseignement demeure majoritairement théorique, avec un recours insuffisant aux activités expérimentales, situation qui nuit à l'engagement des apprenants et à leur développement professionnel.

Parmi les outils numériques susceptibles de répondre à ces défis, les simulations interactives PhET développées par l'Université du Colorado (Perkins et al., 2006 ; Wieman et al., 2006) se distinguent par leur capacité à permettre l'exploration de phénomènes scientifiques de façon interactive, même en l'absence de matériel de laboratoire physique.

Des recherches empiriques récentes (Rianti et al., 2024 ; Warneri et al., 2024) confirment leur efficacité pour améliorer la compréhension conceptuelle, la résolution de problèmes et l'engagement des apprenants, en particulier dans des contextes où les ressources expérimentales sont limitées.

En Côte d'Ivoire, la formation des enseignants du primaire est assurée par les Centres d'Animation et de Formation Pédagogique (CAFOP), dont la modernisation progresse avec l'installation progressive de salles numériques. Toutefois, malgré les efforts entrepris par le Ministère de l'Éducation Nationale et de l'Alphabétisation (MENA), l'intégration pédagogique des TIC y reste insuffisante et peu structurée : les élèves-maîtres disposent rarement de dispositifs permettant de développer des compétences technopédagogiques solides et directement transférables dans leurs futures pratiques de classe.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet *CAFOP Virtuel*, un dispositif de formation hybride conçu pour renforcer la professionnalisation des futurs enseignants du primaire en sciences physiques. Ce dispositif combine une plateforme d'apprentissage en ligne (Moodle), des ressources interactives (simulations PhET, vidéos pédagogiques, activités H5P) et un accompagnement tutoral individualisé à distance, dans une approche constructiviste et socioconstructiviste.

La présente étude, issue d'un travail de recherche-développement réalisé dans le cadre d'un mémoire de master (Master ACREDITE ; Analyse, Conception et Recherche dans le Domaine de l'Ingénierie des Technologies en Éducation), vise à évaluer de manière préliminaire la pertinence et l'efficacité de ce dispositif et à répondre à la question de recherche suivante :

Comment un dispositif de formation hybride, intégrant les TIC et les simulations interactives PhET, peut-il contribuer à améliorer la professionnalisation des futurs enseignants du primaire en sciences en Côte d'Ivoire ?

1. Contexte et problématique

1.1. La formation des enseignants du primaire en Côte d'Ivoire : état des lieux

Le système de formation des enseignants du primaire en Côte d'Ivoire repose historiquement sur les CAFOP, structures dédiées à la formation initiale des instituteurs. Ces centres assurent à la fois l'enseignement des disciplines académiques et la préparation pédagogique des futurs maîtres, selon un modèle qui combine formation théorique et stages en situation réelle.

Depuis le début des années 2010, le MENAET a entrepris une modernisation progressive de ces centres, notamment via l'installation de salles numériques et l'équipement en matériels informatiques.

Cependant, les études disponibles montrent que cette modernisation reste superficielle sur le plan pédagogique. L'intégration des TIC dans les pratiques d'enseignement des formateurs de CAFOP demeure limitée, discontinue et peu outillée sur le plan didactique. Les élèves-maîtres utilisent les outils numériques principalement pour des tâches de bureautique basiques, mais rarement pour concevoir ou animer des activités d'apprentissage interactives.

Dans ce contexte, la formation à l'enseignement des sciences physiques est particulièrement affectée : les activités expérimentales restent rares, faute d'équipements et de matériaux, et l'enseignement demeure essentiellement transmissif, centré sur la mémorisation de définitions et de formules.

Une analyse des besoins conduite dans le cadre de cette recherche auprès d'un échantillon représentatif de 150 acteurs du système éducatif ivoirien (92 hommes, 58 femmes), répartis en enseignants en activité (60 %), futurs enseignants (30 %) et administrateurs pédagogiques (10 %), a permis de documenter ces lacunes à trois niveaux. Au niveau macro, la volonté politique de numérisation de l'éducation se heurte à de sérieux déficits d'infrastructures numériques, particulièrement en zones rurales où l'accès à Internet et aux équipements reste très inégal. Au niveau méso, une forte disparité entre les établissements est observable quant à la disponibilité et à la qualité des ressources numériques. Au niveau micro, les acteurs du terrain convergent vers un besoin impérieux de formations structurées sur l'intégration des outils numériques, les pédagogies actives et la conception de ressources interactives.

Ce constat rejoint les résultats d'une étude récente menée par le programme APPRENDRE (AUF) auprès des enseignants du secondaire en Afrique francophone, qui relève que malgré une utilisation croissante des TIC en classe, les besoins de formation

et les obstacles à une intégration méthodologique effective demeurent importants (Tamboura, 2010).

Au niveau continental, l'UNESCO souligne également que l'Afrique reste confrontée à des défis structurels majeurs pour une éducation scientifique de qualité, en raison d'infrastructures inadéquates et d'une pénurie d'enseignants qualifiés en sciences (UNESCO, 2024).

1.2.Défis spécifiques de l'enseignement des sciences physiques

L'enseignement des sciences physiques constitue un cas emblématique des limites du modèle de formation traditionnel. Dans de nombreuses écoles primaires ivoiriennes, les enseignants n'ont ni les équipements ni la formation suffisante pour animer des activités expérimentales.

Les élèves doivent imaginer les phénomènes sans jamais les observer ni les manipuler, ce qui complique durablement leur compréhension des concepts scientifiques. Prenons l'exemple des circuits électriques : enseignés à l'aide de schémas abstraits, sans possibilité de manipulation réelle, les apprenants et les futurs enseignants eux-mêmes peinent à construire une représentation mentale fonctionnelle de ces phénomènes.

Ce déficit d'activités expérimentales n'est pas propre au contexte ivoirien.

Une étude conduite en 2025 dans la région de Maradi, au Niger, confirme que les contraintes matérielles et le temps de préparation exigé par les manipulations en laboratoire limitent fortement leur mise en œuvre effective par les enseignants de sciences physiques. Ce constat fait écho à des observations similaires au Maroc, où le manque de compréhension conceptuelle des apprenants en physique-chimie est directement attribué à l'insuffisance des activités expérimentales (Ouahab, Machkour & Otmane, 2024).

C'est précisément pour résoudre ce problème structurel que le module central du CAFOP Virtuel porte sur « l'initiation à

l'utilisation des environnements technopédagogiques », avec les circuits électriques comme contenu disciplinaire support.

Le fait de former les enseignants à utiliser Moodle pour organiser leurs cours et PhET pour animer des expériences virtuelles, ce module cherche à pallier l'absence de laboratoires physiques tout en développant des compétences numériques directement mobilisables en classe.

1.3. Justification du dispositif hybride

Face à ces défis, le choix d'un dispositif hybride s'impose comme une réponse pertinente et économiquement viable. La formation hybride combinant des activités en ligne (asynchrones et synchrones) à des interactions humaines régulières présente plusieurs avantages déterminants pour le contexte ivoirien. Elle permet, d'abord, une flexibilité d'accès indispensable pour des enseignants en activité ou géographiquement éloignés des centres de formation. Elle autorise, ensuite, un apprentissage à son propre rythme, particulièrement précieux dans des environnements où les contraintes professionnelles et familiales sont nombreuses. Elle favorise, enfin, un apprentissage actif et constructiviste, en plaçant l'apprenant au cœur de sa formation plutôt que dans une posture passive de réception.

Le projet *CAFOP Virtuel* s'inscrit dans cette logique et constitue, à notre connaissance, l'une des premières tentatives de formalisation systémique d'un tel dispositif au sein du système de formation initiale ivoirien.

2. Revue de la littérature

2.1. Théories de l'apprentissage mobilisées

La conception du CAFOP Virtuel s'appuie sur deux cadres théoriques majeurs : le socioconstructivisme et la théorie de la situation didactique. Les approches pédagogiques contemporaines mettent en avant deux dimensions essentielles :

l'engagement actif des apprenants dans des projets stimulants et la coopération entre pairs. Ces axes traduisent les fondements du constructivisme : un socle psychologique inspiré des travaux de Jean Piaget et une perspective psychosociale issue des recherches de Lev S. Vygotsky. Dans cette logique, le dispositif de formation à distance CAFOP Virtuel intègre les apports du cognitivisme, du constructivisme et du socio-constructivisme, tout en incluant les situations-problèmes comme leviers pédagogiques favorisant la construction des savoirs.

2.2. Formations hybrides et professionnalisation enseignante

Les formations hybrides qui combinent apprentissage en ligne et interactions en présentiel ou synchrones ont fait l'objet d'une abondante littérature depuis les années 2000.

De nombreuses études convergent pour montrer qu'elles produisent des résultats d'apprentissage supérieurs aux modalités exclusivement présentielle ou distancielle, en particulier lorsqu'elles sont bien conçues sur le plan de l'ingénierie pédagogique (Lameul & Loisy, 2014 ; LeBrun, 2016). Peraya (2018) souligne que les technologies ne modifient pas seulement les supports d'enseignement, mais peuvent induire des transformations profondes dans les formes mêmes de la pédagogie universitaire, à condition que leur intégration soit pensée et pilotée dans le cadre d'une véritable stratégie de changement.

Dans le contexte spécifique de la formation enseignante, l'hybridation présente un intérêt particulier. Elle permet de concilier théorie et pratique de façon plus fluide, d'exposer les futurs maîtres à des environnements d'apprentissage qu'ils seront appelés à utiliser dans leur propre pratique pédagogique, et de développer leur autonomie professionnelle. Chomienne et al. (2016) et Duplâa & IsaBelle (2012) ont montré que les formations hybrides bien conçues renforcent la posture réflexive

des enseignants et favorisent le transfert de compétences dans la pratique réelle.

L'accompagnement tutoral constitue un facteur-clé de réussite dans ces dispositifs. Des études convergentes ont établi que la qualité du soutien humain disponibilité du tuteur, qualité des rétroactions personnalisées, guidance technique détermine largement le niveau d'engagement et le taux de complétion des formations hybrides. Mangenot (2002) et Walckiers & De Praetere (2004) insistent sur l'importance des interactions tutorales dans la régulation et la motivation des apprenants distanciels. Cette dimension s'avère d'autant plus critique dans des contextes numériques contraints, où les difficultés techniques peuvent rapidement décourager les apprenants peu familiarisés avec les environnements en ligne.

2.3. La classe inversée comme modalité d'hybridation

La classe inversée constitue l'une des modalités d'hybridation les plus documentées dans la littérature récente. Ce modèle, qui délocalise les contenus théoriques hors du temps de classe via des supports numériques (vidéos, podcasts, ressources interactives), libère les interactions en présentiel ou en synchrone pour les activités pratiques et collaboratives. Boubih et al. (2023), dans une étude sur la formation des futurs enseignants de sciences en contexte arabophone, ont démontré que la classe inversée améliorerait l'engagement des étudiants en les rendant acteurs de leur propre apprentissage et favorisait une assimilation plus approfondie des concepts. LeBrun (2016) confirme que ce modèle est particulièrement pertinent pour la formation enseignante, car il permet une gestion plus efficace du temps et une concentration des efforts sur des activités de haut niveau cognitif.

Dans le cadre du CAFOP Virtuel, la classe inversée a été intégrée comme stratégie pédagogique centrale : les participants

accèdent aux contenus théoriques sur Moodle avant les sessions synchrones hebdomadaires via Google Meet, qui sont réservées aux échanges, aux questions et à la mise en situation.

2.4. Outils numériques collaboratifs et apprentissage en réseau

Les outils numériques collaboratifs tels que les forums, chats, plateformes de partage de documents, messageries instantanées jouent un rôle essentiel dans la modernisation des formations à distance et hybrides. D'après Salliot (2017) et Rodrigues (2014), ces outils permettent une interaction constante entre les enseignants et les apprenants, favorisant l'engagement et la participation active. Ils facilitent également la collaboration entre pairs, développant ainsi des compétences sociales et professionnelles cruciales dans un environnement éducatif à distance.

Walckiers & De Praetere (2004) ont identifié huit avantages distincts de l'apprentissage collaboratif en ligne, parmi lesquels la construction collective de sens, la diversification des points de vue et le développement d'une communauté de pratique.

Dans le cadre du CAFOP Virtuel, WhatsApp a joué un rôle particulièrement inattendu et déterminant. Non prévu initialement comme outil pédagogique à part entière, il s'est imposé comme le principal canal de communication informelle, permettant au tuteur de maintenir un lien quotidien avec les participants, de résoudre rapidement les difficultés techniques et de prévenir les abandons par des relances personnalisées. Cette observation confirme des travaux récents sur l'intégration des messageries instantanées dans les formations à distance (Duplâa & IsaBelle, 2021), qui soulignent leur capacité à créer un sentiment de présence sociale et à réduire l'isolement des apprenants distanciels.

2.5.Simulations interactives PhET : une ressource pour l'enseignement des sciences

Les simulations PhET (Physics Education Technology), développées par l'Université du Colorado depuis 2002, sont des environnements numériques libres et interactifs qui permettent aux apprenants d'explorer des phénomènes physiques, chimiques, biologiques et mathématiques par manipulation de variables et observation de résultats en temps réel (Perkins et al., 2006 ; Wieman et al., 2006). Primitivement conçues pour les étudiants du supérieur, elles ont progressivement été adaptées pour tous les niveaux scolaires et sont aujourd'hui disponibles en plus de 90 langues, dont le français.

Plusieurs recherches empiriques récentes attestent de leur efficacité pédagogique dans des contextes variés. Rianti et al. (2024), dans une étude quantitative conduite en Indonésie, ont démontré que l'intégration des simulations PhET dans un modèle d'apprentissage par problèmes (Problem-Based Learning) améliorerait de manière significative la compréhension conceptuelle des élèves en physique. Warneri et al. (2024) confirment, dans un autre contexte asiatique, que les simulations PhET renforcent les résultats d'apprentissage et la capacité de résolution de problèmes, notamment en facilitant la visualisation de phénomènes abstraits. Ces résultats convergent avec ceux d'Ahassanne Demba (2020) en Côte d'Ivoire, qui a montré l'impact positif d'un simulateur d'oscilloscope sur la compréhension des concepts d'électricité au collège.

Du point de vue pédagogique, les simulations PhET s'inscrivent dans une approche d'apprentissage par investigation (inquiry-based learning), où l'apprenant construit activement sa compréhension par l'exploration et l'expérimentation, plutôt que par la réception passive de savoirs transmis. Cette posture

épistémologique est particulièrement cohérente avec les principes constructivistes et socioconstructivistes qui fondent la conception du CAFOP Virtuel.

Dans les contextes où les activités expérimentales en laboratoire sont impossibles faute de matériel ce qui est la norme dans la grande majorité des écoles primaires ivoiriennes PhET offre une solution alternative efficace, accessible depuis un simple navigateur web ou une application mobile, et sans contrainte de coût ni de sécurité.

3. Méthodologie

3.1. Approche de recherche

Cette étude s'inscrit dans une démarche de recherche-développement (R&D) à visée pragmatique, qui articule une phase de conception d'un artefact pédagogique innovant, une phase de mise en œuvre expérimentale et une phase d'évaluation empirique. Ce type de démarche, reconnu comme particulièrement adapté à l'ingénierie pédagogique (Lameul & Loisy, 2014), vise à produire simultanément une innovation éducative et des connaissances scientifiques sur les conditions de son efficacité. L'évaluation préliminaire présentée dans cet article constitue la dernière phase de cette démarche itérative.

Le protocole mobilise une approche mixte, associant méthodes quantitatives et qualitatives afin d'assurer une triangulation rigoureuse des données. Cette double approche permet de dépasser les limites inhérentes à chaque méthode prise isolément.

Il s'agit des données quantitatives (scores aux tests, taux de complétion, statistiques d'engagement sur Moodle) qui fournissent des mesures objectivables de la progression, tandis que les données qualitatives (questionnaire de satisfaction, échanges documentés, traces d'apprentissage) permettent de

comprendre les processus d'apprentissage et les perceptions subjectives des participants.

3.2. Participants

L'étude a impliqué 14 participants, désignés comme « testeurs », recrutés sur la base du volontariat parmi les membres d'un réseau professionnel d'enseignants et de formateurs d'Afrique francophone. Le recrutement s'est effectué via un sondage de disponibilité horaire et une phase de sensibilisation préliminaire, permettant de s'assurer de la motivation et de l'engagement des participants avant le démarrage de la formation. Le consentement éclairé de tous les participants a été obtenu, et ils ont été informés de la possibilité de se retirer à tout moment.

Tableau 1 : Répartition des testeurs par genre et pays d'origine

Critère	Modalité	Effectif
Genre	Hommes	13 (92,9 %)
	Femmes	1 (7,1 %)
Pays	Côte d'Ivoire	9 (64,3 %)
	Burkina Faso	3 (21,4 %)
	Niger	1 (7,1 %)
	Maroc	1 (7,1 %)

Le groupe présentait un déséquilibre de genre significatif (13 hommes pour 1 femme), reflet d'une réalité socioprofessionnelle à prendre en compte dans les déploiements futurs pour assurer une représentation plus équilibrée. La majorité des participants provenait de Côte d'Ivoire (n = 9, 64,3 %), avec une présence notable de testeurs d'autres pays d'Afrique francophone (Burkina

Faso, Niger, Maroc), ce qui témoigne l'intérêt régional potentiel pour le dispositif.

En termes d'expérience professionnelle, les participants présentaient une diversité notable : des enseignants débutants (18-24 ans) aux enseignants expérimentés (41 ans et plus), couvrant l'ensemble du spectre de l'ancienneté dans l'enseignement des sciences physiques.

Ce profil mixte constitue à la fois une richesse les enseignants expérimentés apportent une lecture pédagogique critique et un défi les niveaux de familiarité numérique initiale sont très hétérogènes.

Sur le plan du profil numérique, tous les participants disposaient d'un smartphone (17 unités au total dans le groupe), mais seuls six possédaient un ordinateur et deux un projecteur. Douze participants utilisaient principalement les données mobiles (connexion de qualité variable), et trois seulement bénéficiaient d'une connexion Wi-Fi régulière et stable. Cette configuration d'accès a fortement conditionné les choix techniques et pédagogiques du dispositif.

Tableau 2 : Profil numérique des participants au démarrage de la formation

Indicateur	Résultat
Niveau TIC déclaré : faible	4 participants (28,6 %)
Niveau TIC déclaré : intermédiaire	8 participants (57,1 %)
Niveau TIC déclaré : élevé	2 participants (14,3 %)
Connaissance préalable de Moodle (oui)	5 participants (35,7 %)
Connaissance préalable de PhET (oui)	2 participants (14,3 %)
Accès à un ordinateur	6 participants (42,9 %)

Connexion Internet principalement via données mobiles	12 participants (85,7 %)
---	--------------------------

Description du dispositif CAFOP Virtuel

3.3. Architecture générale

Le *CAFOP Virtuel* est un dispositif de formation hybride hébergé sur la plateforme Moodle (domaine : moodleformation.com), configurée et personnalisée par le concepteur-tuteur qui est moi-même.

Il s'organise autour de cinq phases temporelles progressives sur cinq semaines, selon une logique de montée en compétence graduelle :

- Semaine 0 : Phase de préformation et d'acculturation numérique : familiarisation avec Moodle et PhET, pré-test, forum de présentation, sondage d'entrée.
- Semaine 1 : Unité 1 (fondements théoriques) : consolidation des connaissances scientifiques en circuits électriques, lecture guidée, carte mentale, résumé de module.
- Semaine 2 : Unités 2 et 3 (exploration et conception) : manipulation des simulations PhET (circuits en série et en parallèle), conception d'une fiche pédagogique intégrant PhET, évaluation entre pairs.
- Semaine 3 : Unités 4 et 5 (mise en situation et évaluation) : simulation de cours, observation collective, post-test, questionnaire de satisfaction.
- Phase de clôture : session bilan en visioconférence, forum de retour d'expérience, remise de certificats.

Le parcours est entièrement configuré avec des conditions d'achèvement automatisées sur Moodle : chaque activité doit

être validée pour accéder à la suivante, garantissant une progression structurée et contrôlée. Cette approche séquentielle assure la cohérence pédagogique du dispositif tout en préservant la flexibilité de rythme propre à l'apprentissage à distance.

3.3.1. Outils et ressources mobilisés

Le dispositif s'appuie sur un écosystème d'outils numériques complémentaires, sélectionnés selon des critères de pertinence pédagogique, d'accessibilité technique et de compatibilité avec les contraintes de connectivité des participants. Moodle constitue la plateforme centrale : elle structure les modules, héberge les ressources (vidéos, PDF, quiz, fiches), assure le suivi pédagogique via les rapports de progression, et offre des espaces de communication (forums, messagerie interne, chat). Les simulations PhET, notamment « Circuit Construction Kit : DC », constituent le cœur technologique du module de sciences physiques. H5P et LearningApps ont été utilisés pour créer des activités interactives (glisser-déposer, quiz enrichis, cartes mémoire).

Canva a servi à la conception de supports visuels attrayants. Pour la communication synchrone et le tutorat, Google Meet a été utilisé pour les rencontres hebdomadaires (une session par semaine en début de soirée, selon les disponibilités des participants). WhatsApp, outil informel non initialement prévu comme composante pédagogique s'est imposé comme le canal de communication le plus réactif et le plus efficace pour les relances quotidiennes, le soutien technique de premier niveau et la création d'un sentiment de communauté apprenante. La messagerie électronique a complété ce dispositif de communication pour les informations officielles et le partage de documents. Des appels téléphoniques ont été réalisés ponctuellement pour les participants en situation de décrochage ou confrontés à des difficultés techniques importantes.

Tableau 3 : Synthèse des outils mobilisés dans le dispositif CAFOP Virtuel

Outil	Usage principal	Modalité
Moodle	Plateforme LMS : structuration, ressources, suivi	Asynchrone
PhET	Simulations interactives de sciences physiques	Asynchrone
H5P / LearningApps	Activités interactives et évaluations formatives	Asynchrone
Google Meet	Sessions synchrones hebdomadaires	Synchrone
WhatsApp	Communication informelle, relances, soutien technique	Synchrone / Asynchrone
Messagerie électronique	Communications officielles, partage de documents	Asynchrone
Google Drive	Hébergement et partage des vidéos pédagogiques	Asynchrone
Canva	Conception de supports visuels	Asynchrone

3.3.2. Rôle du tuteur

Le concepteur du dispositif en a également assuré le tutorat, dans le cadre de son projet personnel de master. Ce double rôle (concepteur-tuteur) a permis une adaptation continue du dispositif aux besoins émergents des participants, mais constitue également une limite à l'objectivité de l'évaluation, qui devra être prise en compte dans l'interprétation des résultats.

Le tuteur a exercé des missions sur trois plans : pédagogique (conception et révision des ressources en trois formats : synthétique, abrégé interactif et développé), technique (assistance à la connexion, réinitialisation des mots de passe, guidage dans l'utilisation de Moodle et PhET) et relationnel

(relances personnalisées, messages d'encouragement, création d'une dynamique de groupe via WhatsApp).

3.4. Instruments de mesure et collecte de données

Le protocole d'évaluation s'appuie sur cinq instruments complémentaires, permettant une triangulation des données :

Le pré-test (test d'entrée), administré en Semaine 0, comprend 10 questions (QCM et vrai/faux) portant sur les notions de circuits électriques et l'usage pédagogique des outils numériques. Il vise à établir le niveau initial des participants et à identifier les besoins de remédiation différenciée. Noté sur 20, il a été réalisé via Moodle, avec une durée moyenne de réponse d'environ 5 minutes.

Le post-test (évaluation finale), administré en Semaine 3, comprend des QCM, des mises en situation pratiques, une activité de conception pédagogique intégrant PhET et un retour réflexif sur l'expérience de formation. Il vise à mesurer l'atteinte des objectifs pédagogiques et la progression par rapport au pré-test.

Le questionnaire de satisfaction, rempli sur Moodle en fin de formation, collecte les perceptions des participants sur la clarté des contenus, le rythme de la formation, la pertinence des modules pour la pratique professionnelle, la qualité de l'encadrement tutoral, l'utilisabilité des outils, les compétences acquises et les améliorations souhaitées. Il combine des questions fermées (échelles de Likert) et des questions ouvertes.

L'analyse des traces d'apprentissage sur Moodle exploite les rapports de progression automatiquement générés par la plateforme : taux de complétion des activités, temps passé sur chaque ressource, scores aux quiz interactifs, volume et qualité des contributions aux forums. Ces données comportementales

fournissent une image objective de l'engagement réel des participants, indépendamment de leurs déclarations.

Les échanges qualitatifs documentés (captures d'écran des échanges WhatsApp, productions pédagogiques des participants, comptes-rendus des sessions Google Meet) permettent d'appréhender les dynamiques d'apprentissage, les difficultés contextuelles et les pratiques émergentes dans leur dimension qualitative.

3.5.Déroulement de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée du 4 avril au 2 mai 2025. La phase de préformation a débuté le 4 avril 2025 par une session de lancement via Google Meet (durée : 30 minutes ; taux de participation : 72 %), complétée par un message de bienvenue diffusé via WhatsApp et par e-mail.

Un sondage de disponibilité horaire préalable avait permis de fixer les sessions synchrones à 20h pour 9 participants et à 21h pour 1 participant, garantissant une participation maximale malgré les contraintes professionnelles et familiales.

Les inscriptions sur Moodle ont été réalisées via l'importation automatique d'un fichier CSV, permettant à chaque participant de recevoir ses identifiants par e-mail. Des difficultés d'activation de compte ont été rencontrées par plusieurs participants dès cette phase, nécessitant une assistance technique personnalisée via WhatsApp et téléphone. Cet épisode a mis en évidence l'importance d'une phase de préformation dédiée à l'acculturation numérique et d'un soutien technique proactif.

Les trois semaines de formation principale (11 avril - 2 mai 2025) ont suivi l'organisation prévue : Unité 1 (fondements théoriques) en Semaine 1, Unités 2 et 3 (exploration et conception avec PhET) en Semaine 2, Unités 4 et 5 (mise en situation et évaluation) en Semaine 3. Des ajustements de délai ont été nécessaires pour certains participants en retard sur le

calendrier prévu, conformément aux principes de flexibilité du dispositif hybride.

4. Résultats

4.1. Indicateurs de participation et d'engagement

Sur les 14 participants initialement inscrits, 12 ont participé au pré-test (taux de participation : 85,71 %), et 10 sont demeurés actifs jusqu'à la Semaine 3. Six participants ont complété le post-test (60 % des participants encore actifs en fin de formation). Deux abandons ont été documentés en cours de parcours, motivés par des contraintes externes (instabilité de la connexion Internet, obligations professionnelles imprévues) et non par une insatisfaction vis-à-vis du dispositif.

Tableau 4 : Indicateurs de complétion et de participation active

Indicateur	Valeur
Taux de complétion global de la formation	78 %
Taux de participation active (activités, forums, sessions synchrones)	63 %
Taux d'abandon	22 %
Taux de participation au pré-test (n = 12 / 14)	85,71 %
Taux de participation au post-test (n = 6 / 10 actifs)	60 %

L'analyse des traces d'apprentissage sur Moodle révèle un engagement comportemental substantiel : contributions régulières aux forums thématiques, soumission des travaux pratiques dans les délais ou avec de légères demandes de prolongation, participation aux sessions synchrones

hebdomadaires. Les statistiques de la plateforme confirment que les participants les plus actifs ont consulté les ressources en dehors des heures de cours, notamment tard le soir, après leurs obligations professionnelles ce qui atteste d'une motivation intrinsèque réelle et de l'adéquation du modèle flexible à leur réalité quotidienne.

4.2. Progression des compétences : analyse comparative pré-test / post-test

Les résultats quantitatifs constituent le point central de l'évaluation préliminaire du dispositif.

La comparaison systématique des performances au pré-test et au post-test révèle une progression remarquable et statistiquement significative au regard de la taille de l'échantillon.

Tableau 5 : Évolution des résultats globaux entre le pré-test et le post-test

Indicateur statistique	Pré-test (n = 12)	Post-test (n = 6)
Moyenne générale (/20)	15,33	19,33
Écart-type estimé	≈ 2,53	≈ 1,47
Note minimale obtenue	12,00 / 20	16,00 / 20
Note maximale obtenue	20,00 / 20	20,00 / 20
Nombre de scores parfaits (20/20)	2	5
Participants ayant obtenu un score < 14/20	3 (25 %)	0 (0 %)

La progression de 15,33 à 19,33 sur 20 représente un gain moyen de 4 points (soit +26 % du score maximal), ce qui constitue un

résultat particulièrement encourageant au regard de la durée limitée de la formation (5 semaines). La réduction de l'écart-type (de 2,53 à 1,47) témoigne d'une homogénéisation des performances.

Les participants initialement les moins avancés ont progressé de manière disproportionnée, suggérant que le dispositif a bénéficié à l'ensemble du spectre de niveaux. L'élimination totale des scores inférieurs à 14/20 au post-test contre trois participants dans cette situation au pré-test illustre concrètement l'impact homogénéisant de la formation.

L'analyse par item révèle des progrès constants sur l'ensemble des dix questions, avec des niveaux d'amélioration variables selon les domaines de compétences évalués.

Tableau 6 : Évolution des scores moyens par question entre pré-test et post-test

Question	Domaine évalué	Pré-test (/2)	Post-test (/2)	Évolution
Q1	Notions de base sur les circuits électriques	1,67	1,67	=
Q2	Composants d'un circuit électrique simple	1,50	2,00	▲ +0,50
Q3	Fonctionnement d'un circuit en série	1,50	2,00	▲ +0,50
Q4	Fonctionnement d'un circuit en parallèle	1,50	2,00	▲ +0,50
Q5	Usage pédagogique des	1,17	1,67	▲ +0,50

	simulations numériques			
Q6	Fonctionnalités de Moodle	1,67	2,00	▲ +0,33
Q7	Navigation sur PhET	2,00	2,00	=
Q8	Intégration de PhET dans un cours	1,67	2,00	▲ +0,33
Q9	Conception d'un scénario pédagogique numérique	1,17	2,00	▲ +0,83
Q10	Évaluation de l'impact des TIC sur les apprentissages	1,50	2,00	▲ +0,50

Deux questions (Q1 et Q7) n'ont pas connu d'amélioration, les participants ayant déjà atteint ou approché le plafond au pré-test. À l'inverse, les questions Q9 (conception d'un scénario pédagogique numérique, +0,83) et Q5 (usage pédagogique des simulations numériques, +0,50) ont enregistré les progressions les plus importantes précisément les items portant sur les compétences les plus innovantes et les plus directement liées aux objectifs spécifiques du CAFOP Virtuel.

Cet effet différentiel suggère que le dispositif a été particulièrement efficace pour développer les compétences de haut niveau (conception pédagogique, intégration didactique des TIC) plutôt que les compétences de base, qui étaient souvent déjà acquises au départ.

4.3. Utilisation des outils et engagement dans les activités

4.3.1. Activités réalisées sur Moodle

L'analyse des traces d'activité sur Moodle révèle un parcours riche et varié. Les participants ont progressé à travers six types d'activités structurées, chacune conçue pour développer une dimension spécifique des compétences technopédagogiques visées.

Tableau 7 : Types d'activités réalisées sur Moodle et taux de complétion estimés

Type d'activité	Description	Format
Activités d'ouverture	Forum de présentation, sondage d'entrée, exploration de la plateforme	Forum, Sondage
Modules théoriques	Vidéos pédagogiques, PDF, fiches, quiz formatifs	Vidéo, PDF, Quiz
Activités pratiques	Simulations PhET, carte mentale, fiches de séquences pédagogiques	PhET, PDF, Word
Évaluations formatives	Pré-test, tests d'unités, post-test, auto-évaluation	QCM, H5P
Activités collaboratives	Forum thématique, évaluation entre pairs, feedback collectif	Forum, Commentaires
Activités de clôture	Questionnaire de satisfaction, forum de retour, session bilan	Formulaire, Chat

4.3.2. Utilisation de PhET

Les simulations PhET ont été au cœur du parcours pratique. Environ 70 % des participants actifs ont construit et partagé des captures de circuits en série, 55 % ont exploré les circuits en parallèle, et 60 % ont intégré PhET dans la conception de leurs

fiches pédagogiques. Par ailleurs, 80 % ont contribué aux forums d'échanges sur les difficultés et les usages didactiques de l'outil. Ces chiffres attestent d'une appropriation progressive et effective de PhET comme outil d'enseignement des sciences, au-delà de la simple exploration technique.

Tableau 8 : Taux de participation aux activités PhET

Activité PhET	Taux de participation estimé
Construction et partage d'un circuit en série	70 %
Exploration d'un circuit en parallèle	55 %
Intégration de PhET dans une fiche pédagogique	60 %
Participation aux forums d'échanges sur PhET	80

4.3.3. Activités synchrones et asynchrones

Les activités synchrones ont été organisées principalement via WhatsApp (communication quotidienne) et Google Meet (rencontre hebdomadaire). Des SMS et des appels téléphoniques et appels whatsapp ont été utilisés ponctuellement pour les situations d'urgence ou de décrochage. Cette stratégie multicanale a permis de maintenir un lien pédagogique permanent, compensant les éventuelles ruptures de connexion à la plateforme Moodle.

Tableau 9 : Activités synchrones et canaux de communication mobilisés

Canal	Fréquence	Activités principales	Objectif pédagogique
WhatsApp	Quotidien	Relances, soutien technique, rappels de délais, partage de liens	Maintenir l'engagement et résoudre rapidement les blocages
Google Meet	1 fois/semaine	Session d'ouverture, bilan intermédiaire, clôture, Q&A	Créer une dynamique de groupe et répondre aux questions
Téléphone / SMS	Selon besoins	Soutien individualisé en cas de blocage ou de décrochage	Accompagnement humain de dernier recours

4.4. Satisfaction et perceptions des participants

Le questionnaire de satisfaction, rempli par 5 participants en fin de formation, révèle une perception globalement très positive du dispositif. Bien que la taille de cet échantillon limite la généralisation des résultats, les réponses présentent une cohérence et une richesse qualitative qui justifient leur analyse.

La clarté et la structuration des contenus pédagogiques ont été unanimement appréciées par les cinq répondants. La pertinence des modules pour la pratique professionnelle a été largement validée (quatre répondants sur cinq). Le rythme de la formation a été jugé adapté par trois répondants, tandis qu'un l'a trouvé trop lent et un autre trop rapide signe de la diversité des profils et de la nécessité d'une personnalisation accrue dans les déploiements futurs.

L'encadrement tutoral constitue le point fort le plus unanimement salué. La disponibilité du tuteur a été évaluée « Très disponible » par l'ensemble des répondants. La clarté des consignes et des échéances a été confirmée par tous. La qualité des rétroactions personnalisées sur les travaux a été particulièrement appréciée. Ces résultats convergent avec la littérature qui place le tutorat comme facteur-clé de réussite des formations hybrides.

Sur le plan de l'acquisition de compétences, la plupart des répondants déclarent avoir développé de nouvelles compétences numériques (quatre sur cinq, dont un « partiellement »).

La confiance dans l'utilisation de PhET est élevée : la majorité se déclare capable d'intégrer les simulations dans ses cours. Parmi les pratiques pédagogiques envisagées après la formation, les participants citent : l'utilisation de PhET pour illustrer des phénomènes physiques, la projection de vidéos éducatives, l'organisation de sessions en direct via Google Meet, le partage de ressources sur Google Drive, et l'attribution de travaux sur Moodle.

Les notes d'appréciation globale oscillent entre 8 et 10 sur 10, avec une majorité à 10/10. La quasi-totalité des répondants recommanderait le dispositif à leurs collègues.

Les commentaires additionnels expriment des remerciements sincères au tuteur et des suggestions concrètes pour les versions futures.

4.5. Difficultés techniques identifiées

La principale limite identifiée par les participants est d'ordre technique : la dépendance à une connexion Internet stable constitue un frein réel à l'accessibilité pleine du dispositif.

Douze des quatorze participants utilisaient principalement les données mobiles pour accéder à Moodle, avec une stabilité de connexion qualifiée de « moyenne ». Le souhait récurrent d'une

version hors ligne de PhET ou d'une application mobile téléchargeable est revenu dans plusieurs réponses ouvertes du questionnaire de satisfaction.

Tableau 10 : Difficultés techniques identifiées pendant l'expérimentation

Type de difficulté	Fréquence rapportée
Connexion Internet instable ou insuffisante	Très fréquent (majorité des participants)
Problèmes d'activation de compte Moodle au démarrage	Fréquent (plusieurs participants)
Difficultés d'utilisation initiale de PhET	Ponctuel (résolu par les tutoriels)
Manque d'accès à un ordinateur (dépendance au smartphone)	Structurel (57,1 % des participants)
Absence de ressources disponibles hors ligne	Signalé comme manque important

Des difficultés initiales d'activation des comptes Moodle ont été documentées, nécessitant des réinitialisations manuelles de mots de passe et un accompagnement technique personnalisé. Ces épisodes ont mis en évidence l'importance d'une phase de préformation technique robuste et d'un support de premier niveau réactif, constitutifs du succès de tout dispositif numérique dans des environnements à faible culture numérique de départ

5. Discussion

5.1. Une preuve de concept encourageante pour la formation hybride en contexte africain

Les résultats de cette étude fournissent une première validation

empirique de la viabilité et de l'efficacité du CAFOP Virtuel comme dispositif de formation hybride pour les enseignants du primaire en Côte d'Ivoire. La progression significative observée entre le pré-test et le post-test (gain moyen de 4 points sur 20, réduction de l'écart-type, élimination des scores faibles) est particulièrement encourageante au regard de la durée limitée de la formation et des contraintes techniques importantes auxquelles les participants ont été confrontés. Ces résultats s'inscrivent dans la continuité de la littérature sur l'efficacité des dispositifs hybrides bien conçus (LeBrun, 2016 ; Lameul & Loisy, 2014), tout en apportant une contribution empirique originale au contexte spécifique de l'Afrique de l'Ouest.

L'effet homogénéisant du dispositif nous a permis de comprendre que les participants les moins avancés au départ progressant de façon disproportionnée ce qui constitue un résultat particulièrement significatif dans un contexte d'hétérogénéité des niveaux initiaux.

Cet effet peut s'expliquer par la combinaison de trois mécanismes complémentaires : la flexibilité du rythme d'apprentissage (chacun peut revenir sur les ressources autant de fois que nécessaire), la progressivité de la séquence pédagogique (chaque unité s'appuie sur les précédentes de façon cohérente), et l'accompagnement tutoral différencié (les relances et le soutien individualisé bénéficient prioritairement aux participants en difficulté).

5.2.Le rôle central et irremplaçable de l'accompagnement humain

L'évaluation très positive du tuteur par l'ensemble des répondants confirme le rôle irremplaçable de l'accompagnement humain dans les dispositifs hybrides, particulièrement en contexte de contraintes numériques. Ce résultat corrobore les conclusions de Chomienne et al. (2006.) et Duplâa & IsaBelle (2021), qui placent la qualité du tutorat au cœur des facteurs de

réussite des formations à distance. Il rejoint également les travaux de Mangenot (2002) et De Lièvre (2009) sur le rôle des forums tutoraux dans la régulation de l'engagement des apprenants distanciels.

Un résultat particulièrement inattendu et théoriquement intéressant est le rôle central joué par WhatsApp dans le maintien de l'engagement et la prévention des abandons. Outil initialement non prévu comme composante pédagogique à part entière, il s'est imposé comme le canal de communication le plus efficace du dispositif, créant un sentiment de présence sociale (Duplâa & IsaBelle, 2021 ; Garrison & Anderson 2003 ; Jézégou, 2023) et de communauté d'apprentissage que la plateforme Moodle seule ne pouvait pas garantir. Cet usage émergent de WhatsApp comme outil de tutorat informel mériterait une attention accrue dans les futures recherches sur la formation hybride en Afrique.

Il convient néanmoins de souligner que le double rôle du tuteur (également concepteur du dispositif) constitue un biais potentiel dans l'évaluation de la satisfaction : les participants pourraient avoir tendance à évaluer positivement le tuteur-évaluateur. Cette limite, inhérente à l'approche R&D, devra être corrigée dans les déploiements futurs par le recours à un tuteur distinct du chercheur.

5.3. L'efficacité pédagogique des simulations PhET dans le contexte ivoirien

Les résultats concernant l'appropriation de PhET par les participants confirment les données de la littérature internationale sur l'efficacité de cet outil (Demba, 2020 ; Fleck et Audran 2016 ; Rianti et al., 2024 ; Warneri et al., 2024). La capacité des participants à concevoir des fiches pédagogiques intégrant PhET et à les partager avec leurs pairs témoigne d'une appropriation qui va bien au-delà de la simple maîtrise technique

de l'outil. Les participants ont su transposer leur expérience d'apprenants en répertoire de pratiques didactiques, développant une compétence de médiation technopédagogique directement transférable dans leurs classes.

Les simulations PhET ont particulièrement bien répondu aux besoins des participants enseignant dans des contextes sans laboratoire, en leur offrant la possibilité de proposer à leurs élèves des expériences interactives rigoureuses sans contrainte de matériel ni de sécurité (Mahdi, Laafou, et Janati-Idrissi, 2018). La progression particulièrement forte sur la question Q9 (conception d'un scénario pédagogique numérique, +0,83) illustre la valeur ajoutée spécifique du CAFOP Virtuel par rapport à une simple initiation technique à PhET : c'est la capacité à intégrer l'outil dans une démarche didactique structurée qui a le plus progressé.

5.4. Contraintes structurelles et équité d'accès : un obstacle à ne pas sous-estimer

Le défi majeur identifié dans cette expérience, c'est la dépendance à une connectivité stable.

En effet, elle reflète une réalité structurelle des pays à infrastructures numériques émergentes. Ce constat, documenté dans d'autres contextes par Sanrey et al. (2020) et Benoit et al. (2017), souligne que l'efficacité d'un dispositif pédagogique numérique ne peut pas être dissociée de sa faisabilité technique réelle pour les apprenants ciblés.

Le taux d'abandon de 22 %, même s'il reste modéré par rapport aux standards des formations à distance (qui peuvent atteindre 50 à 80 % dans les MOOC non tutorés) doit être analysé en tenant compte de ces contraintes contextuelles.

La prévalence du smartphone comme seul équipement numérique disponible pour 57 % des participants soulève une question de conception importante pour les versions futures du dispositif : le CAFOP Virtuel doit-il être conçu en priorité pour

un usage mobile (responsive design, contenus légers, compatibilité avec les applications mobiles) plutôt que pour un usage sur ordinateur ?

Le développement de ressources accessibles hors ligne notamment une version téléchargeable de PhET constitue une priorité absolue pour améliorer l'équité d'accès et réduire la dépendance à une connexion stable.

5.5.Implications théoriques et pratiques

Conformément au cadre théorique tripartite annoncé en 2.1, les résultats obtenus permettent de revenir sur l'apport respectif du constructivisme, du socioconstructivisme et du behaviorisme dans la conception du dispositif.

Sur un plan théorique, cette recherche contribue à la compréhension des conditions de réussite des dispositifs hybrides dans des contextes numériques contraints. Elle met en évidence que ces conditions ne se réduisent pas à la qualité des ressources numériques elles-mêmes, mais dépendent de manière critique de l'accompagnement humain (tutorat proactif, communication multicanale, relances personnalisées) et de la flexibilité organisationnelle (délais adaptables, rythme individualisé).

Ce constat s'appuie concrètement sur les données de l'expérimentation : le gain moyen de 4 points entre pré-test et post-test (15,33 à 19,33/20) s'est accompagné d'une réduction marquée de l'écart-type (de 2,53 à 1,47), et c'est précisément l'item Q9 (conception d'un scénario pédagogique intégrant les TIC), le plus dépendant de l'accompagnement tutoral individualisé, qui a enregistré la progression la plus forte (+0,83)

Ces résultats invitent à revisiter les modèles de formation hybride conçus dans des contextes à infrastructures robustes, en identifiant les adaptations nécessaires pour les rendre opératoires dans des environnements techniquement contraints.

Sur un plan pratique, ces résultats ont des implications directes pour les institutions de formation des enseignants en Côte d'Ivoire et dans la sous-région. Ils suggèrent que l'intégration réussie des TIC dans la formation initiale des enseignants est non seulement possible, mais fortement appréciée et pédagogiquement bénéfique (Oukessou, 2023), même dans des conditions d'accès numérique difficiles. Cette appréciation se lit directement dans les traces d'engagement : 80 % des participants actifs ont contribué aux forums d'échanges sur PhET, et l'ensemble des répondants au questionnaire de satisfaction a jugé le tuteur « très disponible », avec des notes d'appréciation globale majoritairement à 10/10.

Ils plaident pour un investissement structuré dans l'ingénierie de l'accompagnement tutoral compétence clé pour le succès de tout dispositif à distance et dans le développement de solutions techniques adaptées aux contraintes locales (contenus hors ligne, compatibilité mobile, faible consommation de données).

5.6. Limites de l'étude

Cette étude présente plusieurs limites qu'il convient de mentionner explicitement. La taille de l'échantillon est restreinte (14 participants initiaux, 6 au post-test, 5 au questionnaire de satisfaction), ce qui limite fortement la généralisation des résultats et empêche toute inférence statistique robuste. L'absence de groupe contrôle ne permet pas d'établir un lien causal entre le dispositif et les progressions observées, d'autres facteurs (maturation, apprentissage informel, contexte professionnel) pouvant partiellement contribuer aux gains mesurés.

Le double rôle du chercheur (concepteur et tuteur du dispositif évalué) constitue un biais de désirabilité sociale potentiel dans les réponses au questionnaire de satisfaction. La courte durée de l'expérimentation (5 semaines) ne permet pas d'évaluer la

durabilité des apprentissages ni leur transfert effectif dans les pratiques de classe réelles mesure qui nécessiterait un suivi longitudinal sur plusieurs mois. Enfin, le déséquilibre de genre prononcé (13 hommes pour 1 femme) limite la transposabilité des résultats à des populations mixtes.

6. Conclusion et perspectives

Cette étude a présenté la conception et l'évaluation préliminaire du *CAFOP Virtuel*, un dispositif de formation hybride innovant pour la professionnalisation des futurs enseignants du primaire en sciences physiques en Côte d'Ivoire.

Partie du constat d'un déséquilibre persistant entre apports théoriques et activités pratiques dans la formation initiale des enseignants de sciences en Côte d'Ivoire, cette recherche a suivi une démarche de recherche-développement mixte qui a mobilisé un cadre théorique articulant constructivisme, socioconstructivisme et behaviorisme pour concevoir et évaluer un dispositif hybride répondant à ce déséquilibre.

Les résultats obtenus sont une progression significative des compétences technopédagogiques, engagement soutenu, satisfaction élevée des participants.

Tout cela confirme la viabilité pédagogique du modèle hybride dans un contexte africain caractérisé par des contraintes numériques importantes. Le dispositif a démontré sa capacité à développer des compétences technopédagogiques chez des enseignants aux profils numériques initialement limités, tout en suscitant un engagement authentique et une motivation à intégrer les TIC dans leur pratique future.

Parmi les contributions originales de cette étude, trois méritent d'être soulignées. La première est l'identification du rôle central et inattendu de WhatsApp comme outil de tutorat informel dans les formations hybrides en contexte africain rôle qui mériterait

une théorisation plus approfondie dans la littérature sur les formations à distance. La deuxième est la démonstration que le gain pédagogique le plus important n'est pas sur les compétences techniques de base (maîtrise des outils), mais sur les compétences de haut niveau (conception de scénarios pédagogiques intégrant les TIC) ce qui valide l'approche constructiviste et l'orientation « usage didactique » plutôt que « usage technique » du dispositif. La troisième est la mise en évidence d'un effet homogénéisant du dispositif, qui bénéficie proportionnellement davantage aux participants les moins avancés au départ.

Au-delà de sa contribution scientifique, le CAFOP Virtuel porte une portée sociale directe.

Tout en s'appuyant sur des outils accessibles par smartphone et sur un accompagnement à distance, il ouvre une voie de professionnalisation aux enseignants géographiquement isolés ou en activité, pour qui les formats de formation présentielle classiques restent difficilement accessibles.

Aussi, il a ciblé l'enseignement des sciences physiques, discipline la plus pénalisée par l'absence de laboratoires.

De plus, le dispositif contribue potentiellement à réduire les inégalités d'apprentissage entre élèves ivoiriens selon la zone géographique et les ressources de leur établissement.

Pour les déploiements futurs, plusieurs orientations s'imposent de manière prioritaire.

Sur le plan technique, le développement de ressources téléchargeables et d'une version mobile optimisée de PhET constitue une nécessité absolue pour garantir l'équité d'accès.

Sur le plan pédagogique, l'extension de la durée de formation (au moins 8 à 12 semaines) et la diversification des modules thématiques permettraient de consolider les acquis et d'élargir le répertoire de compétences développées.

Sur le plan méthodologique, la mise en place d'un suivi longitudinal (suivi des pratiques de classe sur 6 à 12 mois après la formation) et d'un groupe contrôle permettrait de renforcer la validité interne et externe de l'évaluation.

Sur le plan institutionnel, l'intégration formelle du CAFOP Virtuel dans le cursus officiel des CAFOP ivoiriens, avec un soutien structurel du MENA, constituerait un levier puissant pour sa généralisation et sa pérennisation.

Ces résultats ouvrent des perspectives significatives au-delà du contexte ivoirien.

La sous-région d'Afrique de l'Ouest partage des défis éducatifs comparables : faiblesse des infrastructures, manque d'équipements de laboratoire, hétérogénéité des niveaux de formation initiale des enseignants qui font du modèle CAFOP Virtuel une réponse potentiellement transférable à d'autres systèmes éducatifs francophones d'Afrique subsaharienne.

La contribution de cet article à la littérature scientifique réside dans cette démonstration de faisabilité, qui constitue un premier pas indispensable vers une refonte systémique de la formation enseignante à l'ère du numérique en Afrique de l'Ouest.

Références bibliographiques

ARNAUD Michel, 2003, « Les limites actuelles de l'apprentissage collaboratif en ligne », in STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation), Vol. 10, pp. 1-7 p.

BENOIT Hervé, ASSUDE Teresa et PEREZ Jean-Marc, 2017, « Numérique et accessibilité dans l'éducation et en formation : Présentation du dossier », in La Nouvelle Revue de l'Adaptation et de la Scolarisation, Vol. 78, n°2, pp. 5-9.

BIBEAU Robert, 2005, « Les TIC à l'école : proposition de taxonomie et analyse des obstacles à leur intégration », in *Revue de l'EPI (Enseignement Public et Informatique)*, n°79, pp 1-27.

BOUBIH Souad, EL ALAOUI Mohammed, AIDOUN Abdelaziz, IDRISSE Rachid J. et ZERHANE Rachid, 2023, « L'efficacité de la classe inversée dans la formation des futurs enseignants des Sciences de la Vie et de la Terre », in *Revue Scientifique Internationale de l'Éducation et de la Formation (RSIEF)*, Vol. 6, n°1, pp. 27-36.

CHOMIENNE Martine et MARCEAU France, 2006, « Formation des enseignants à l'encadrement en ligne ». In : *Enseigner au collégial, une profession à partager*, Actes du 26e colloque annuel de l'Association québécoise de pédagogie collégiale (AQPC), pp. 85 - 91.

DE LIÈVRE Bruno, TEMPERMAN Gaëtan, CAMBIER Jean-Baptiste, DECAMPS Sébastien et DEPOVER Christian, 2009, « Analyse de l'influence des styles d'apprentissage sur les interactions dans les forums collaboratifs ». In : *Échanger pour apprendre en ligne*.

DEMBA Hamed Adama, 2020. L'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de la physique en situation d'enseignement en classe entière au collège en Côte d'Ivoire. Étude du cas d'un simulateur d'oscilloscope, Thèse de doctorat, CY Cergy Paris Université.

DUPLÀA Emmanuel et ISABELLE Chantal, 2012, « Quels outils de communication pour améliorer les formations en ligne ? », in *International Journal of E-learning & Distance Education / Revue internationale du e-learning et de la formation à distance*, Vol. 26, n°1.

FLECK Stéphanie et AUDRAN Jacques, 2016, « Réalité augmentée et interfaces tangibles, quels liens avec la formation par simulation ? », in *Recherche et Formation*, n°82, pp. 85-90.

GARRISON D. Randy et ANDERSON Terry, 2003. *E-learning in the 21st Century: A Framework for Research and Practice*, Routledge, New York.

JÉZÉGOU Annie, 2023, « La présence comme levier pour les apprentissages en groupe et en distanciel : quelles propriétés et quels modèles théoriques ? », in *Distances et Médiations des Savoirs*, n°42.

LAMEUL Geneviève et LOISY Catherine, 2014. *La pédagogie universitaire à l'heure du numérique*, De Boeck Supérieur.

LEBRUN Marcel, 2016, « Un "cours", plusieurs modèles de classes inversées, un exemple d'hybridation ». In : *La pédagogie inversée : enseigner autrement dans le supérieur avec la classe inversée*, A. DUMONT et D. BERTHIAUME (dir.), pp. 89-108, De Boeck Supérieur.

MAHDI Khadija, LAAFOU Mohamed et JANATI-IDRISSI Rachid, 2018, « L'impact des formations continues à distance aux enseignants des sciences physiques dans des logiciels de simulation informatique », in *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, Vol. 9, n°1, pp. 27 – 41.

MANGENOT François, 2002, « Forums et formation à distance : une étude de cas », in *Éducation permanente*, Vol. 152, n°3, pp. 109-119.

OUAHAB Z. F., MACHKOUR A. et OTMANE I. A., 2024, « Les difficultés de l'enseignement des sciences physiques et chimiques par des activités expérimentales : cas du cycle collégial et qualifiant au Maroc », in *European Scientific Journal, ESJ*, Vol. 20, n°22, p. 31.

OUKESSOU Mohamed, 2023, « Les bienfaits des TIC », in *Revue AJSRAC*, n°4, pp. 224-238.

PERAYA Daniel, 2018, « Technologies, innovation et niveaux de changement : les technologies peuvent-elles modifier la forme universitaire ? », in *Distances et Médiations des Savoirs*, n°21.

PERKINS Katherine, ADAMS Wendy, DUBSON Michael, FINKELSTEIN Noah, REID Sam, WIEMAN Carl et LEMASTER Ron, 2006, « PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics », in *The Physics Teacher*, Vol. 44, n°1, pp. 18-23.

RAISSOUNI Mohamed R., RAISSOUNI Rachid et RAISSOUNI Khalid, 2024, « L'importance de l'expérience dans la formation des futurs enseignants en sciences physiques au niveau secondaire : étude de cas », in *Revue Sciences & Education*, Vol. 1, n°1, pp. 14-24.

RIANTI Rianti, GUNAWAN Gunawan, VERAWATI Ni Nyoman Sri Putu et TAUFIK Muhammad, 2024, « The Effect of Problem Based Learning Model Assisted by PhET Simulation on Understanding Physics Concepts », in *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, Vol. 12, n°1, pp. 28-43.

RODRIGUES Catherine, 2014, « Outils collaboratifs pour la production écrite en anglais », in *Les Langues modernes*, n°3, pp. 63-70.

SALLIOT Anne, 2017, « Retour d'expérience sur la mise en place d'outils collaboratifs pour les formations de La main à la pâte », in *I2D – Information, données & documents*, Vol. 54, n°4, pp. 36-37.

SANREY Clémence, STANCZAK Anna, GOUDEAU Sophie et DARNON Céline, 2020, « Confinement et école à la maison : l'illusion de la solution numérique », in *Psychologie & Éducation*, pp. 31 – 44.

TAMBOURA Yaba, 2010. Attitudes des enseignants du secondaire face à l'intégration des TIC dans les pratiques de classe : État des lieux des écoles concernées par l'Agenda Panafricain en Afrique francophone, APPRENDRE (AUF). In *frantice.net*, n°2, pp. 63 – 71.

UNESCO, 2024. *Transformer les sciences, la technologie, l'ingénierie et les mathématiques (STIM) en Afrique*, UNESCO et UA, Éthiopie.

WALCKIERS Michel et DE PRAETERE Thierry, 2004, « L'apprentissage collaboratif en ligne, huit avantages qui en font un must », in *Distances et Savoirs*, Vol. 2, n°1, pp. 53-75.

WARNERI W., SALAM U., PUTRI W. A., IMANDARI R. Z., PRATIWI R. D. et CHAIRUNNISA T., 2024, « Utilization, Simulation and Learning: The Virtual Laboratory Learning Media PhET for Learning Outcomes », in *JTP – Jurnal Teknologi Pendidikan*, Vol. 26, n°3, pp. 960-970.

WIEMAN Carl E., ADAMS Wendy K. et PERKINS Katherine K., 2008, « PhET: Simulations that Enhance Learning », in *Science*, Vol. 322, n°5902, pp. 682-683.