

Effet des interventions de remédiation sur les erreurs liées aux dérivées chez les élèves de troisième scientifique dans quelques écoles de la ville de Goma : une étude expérimentale

KOPI MBONYE Gratien*

Résumé

Cette étude expérimentale vise à évaluer l'efficacité des interventions de remédiation dans la réduction des erreurs liées à l'apprentissage des dérivées chez les élèves de troisième scientifique dans la ville de Goma (RDC). En mobilisant une approche quasi-expérimentale avec groupe témoin, l'étude a suivi deux groupes d'élèves soumis à des tests pré- et post-intervention. Le groupe expérimental a bénéficié d'un enseignement enrichi incluant visualisation dynamique, résolution de problèmes, discussions collectives et remédiation différenciée. Les résultats montrent une amélioration significative des scores dans le groupe expérimental, ainsi qu'une réduction nette des erreurs conceptuelles, procédurales et représentationnelles. L'analyse statistique (test t de Student, écart-type, pourcentages d'erreurs) corrobore ces écarts. Les données qualitatives issues d'entretiens renforcent ces constats en mettant en évidence une amélioration de la motivation, de la confiance et de la compréhension. L'étude s'inscrit dans une perspective constructiviste de l'apprentissage et souligne l'importance d'une pédagogie active, contextualisée et fondée sur l'erreur. Elle propose enfin des recommandations concrètes pour les enseignants et les décideurs éducatifs et ouvre des pistes pour de futures recherches en didactique des mathématiques.

Mots-clés : *Dérivée, Remédiation, Erreurs d'apprentissage, Visualisation, Enseignement secondaire.*

Abstract

This experimental study aims to evaluate the effectiveness of remediation interventions in reducing errors related to the learning of derivatives among third-year science-track students in Goma (DR Congo). Using a quasi-experimental design with a control group, the study observed two student groups assessed through pre- and post-tests. The experimental group received enhanced instruction including dynamic visualization, problem-solving tasks, peer discussions, and differentiated remediation. Results revealed

* *Chef de travaux à l'Institut Supérieur des Techniques Appliquées – ISTA – à Goma, Téléphone : +243 9 90 34 44 38, E-mail : kopigratein@gmail.com.*

a significant improvement in the experimental group's scores and a sharp decrease in conceptual, procedural, and representational errors. Statistical analysis (Student's t-test, standard deviation, error rates) confirmed these findings. Qualitative data from interviews further supported these results, highlighting improvements in student motivation, confidence, and conceptual understanding. The study is rooted in a constructivist perspective and emphasizes the value of active, contextual, and error-based pedagogy. Practical recommendations are proposed for teachers and educational decision-makers, along with future research directions in mathematics education.

Keywords: *Derivative, Remediation, Learning errors, Visualization, Secondary education.*

I. Introduction

Dans le système éducatif congolais, les mathématiques occupent une place essentielle dans la formation des élèves des filières scientifiques et techniques, en tant que socle pour l'apprentissage des disciplines connexes telles que la physique, la chimie, l'ingénierie ou l'économie. À Goma, comme dans de nombreuses villes d'Afrique centrale, les enjeux liés à l'enseignement des mathématiques sont d'autant plus cruciaux qu'ils déterminent en grande partie l'orientation académique et professionnelle des élèves. Parmi les concepts fondamentaux du programme de mathématiques du cycle secondaire supérieur figure la notion de dérivée, introduite en troisième année scientifique et technique. Ce concept joue un rôle transversal en mathématiques et dans les sciences appliquées. Il permet l'analyse des variations, la modélisation des phénomènes physiques ou économiques et constitue un outil de raisonnement puissant dans les études supérieures (Artigue, 1990 ; Duval, 1995).

Sur le plan théorique, la dérivée est au croisement de plusieurs registres de représentation : algébrique, graphique et verbal (Duval, 1995). Elle incarne aussi la transition entre le calcul élémentaire et l'analyse mathématique, exigeant des élèves une coordination cognitive fine. Pourtant, malgré son importance, l'enseignement de la dérivée demeure l'un des points les plus sensibles du programme, tant pour les enseignants que pour les apprenants. De nombreuses recherches en didactique des mathématiques ont mis en évidence une série d'obstacles récurrents : difficultés conceptuelles à comprendre le sens de la dérivée comme taux de variation, erreurs

procédurales dans l'application des règles de calcul et lacunes dans l'interprétation graphique (Robert, 1998; Roorda, Vos & Goedhart, 2015).

Dans la ville de Goma, les évaluations diagnostiques et les observations en classe révèlent que les élèves de troisième année scientifique rencontrent de grandes difficultés dans l'apprentissage des dérivées. Ces difficultés se traduisent par des erreurs fréquentes et persistantes, de nature conceptuelle, procédurale et représentationnelle. Elles sont souvent liées à une préparation insuffisante en amont (fonctions, limites, représentations graphiques) et à un enseignement centré sur des procédures symboliques, peu contextualisées, qui échouent à susciter l'engagement des apprenants ou à favoriser une réelle construction de sens. Dans bien des cas, les élèves appliquent mécaniquement des règles de dérivation sans en comprendre la logique. Cela compromet leur réussite non seulement en mathématiques, mais également dans d'autres disciplines scientifiques qui mobilisent le concept de dérivée.

Ce constat soulève une problématique centrale : comment améliorer l'apprentissage des dérivées dans un environnement scolaire confronté à des contraintes pédagogiques, des moyens limités et une forte hétérogénéité des profils d'élèves ? En réponse à cette problématique, plusieurs recherches ont préconisé des dispositifs de remédiation fondés sur des principes didactiques solides : visualisation dynamique (via des outils comme GeoGebra), contextualisation des tâches, apprentissage collaboratif et travail réflexif entre les différents registres de représentation (Tall, 1993; Ainley, Pratt & Nardi, 2006).

La présente étude s'inscrit dans cette perspective et vise à évaluer l'efficacité d'un tel dispositif de remédiation auprès d'élèves de troisième scientifique à Goma. Le dispositif proposé combine des visualisations dynamiques pour développer l'intuition géométrique, des exercices contextualisés pour ancrer les apprentissages dans le réel et des échanges collectifs pour favoriser l'explicitation et la compréhension progressive des notions. Cette expérimentation repose sur une méthodologie rigoureuse, avec un groupe expérimental bénéficiant des interventions et un groupe témoin soumis à un enseignement classique, afin de mesurer objectivement l'impact des remédiations.

Deux questions de recherche guident cette étude. La première porte sur les limites du dispositif d'enseignement traditionnel :

(1) Dans quelle mesure les erreurs commises par les élèves dans l'apprentissage des dérivées sont-elles liées à ces limites et en quoi traduisent-elles des obstacles profonds à la compréhension du concept?

La seconde concerne le potentiel des stratégies innovantes de remédiation :

(2) Dans quelle mesure un dispositif intégrant la visualisation dynamique, la contextualisation et la collaboration permet-il de réduire les erreurs, d'améliorer les performances et de renforcer l'engagement des élèves en mathématiques ?

À ces questions correspondent deux hypothèses :

Hypothèse 1 : L'enseignement traditionnel, centré sur des procédures formelles et déconnecté de situations concrètes, ne permet pas de surmonter les erreurs persistantes, liées à des difficultés fondamentales de conceptualisation et d'interprétation.

Hypothèse 2 : Un dispositif de remédiation fondé sur la visualisation interactive, l'ancrage contextuel et l'apprentissage collaboratif conduit à une amélioration significative des performances, de la compréhension conceptuelle et de la motivation des élèves.

Deux objectifs structurent cette recherche. Le premier est d'identifier et d'analyser les erreurs les plus fréquentes dans l'apprentissage des dérivées en les mettant en lien avec les pratiques pédagogiques traditionnelles. Le second consiste à concevoir, mettre en œuvre et évaluer un dispositif de remédiation innovant et à mesurer ses effets sur les performances, la compréhension et la motivation des élèves de troisième scientifique à Goma.

Cette étude entend ainsi contribuer à la fois à la recherche en didactique des mathématiques et à l'amélioration concrète des pratiques pédagogiques dans les établissements secondaires congolais. Elle propose un cadre d'analyse rigoureux, fondé sur des données empiriques locales, ce qui lui confère une double pertinence : scientifique et contextuelle. En renforçant la compréhension des dérivées, elle participe au développement des compétences mathématiques globales d'élèves, condition essentielle pour leur réussite académique et leur orientation vers les filières scientifiques.

II. Méthodologie

Pour évaluer l'efficacité des interventions de remédiation sur les erreurs liées aux dérivées chez les élèves de troisième scientifique à Goma, cette étude repose sur une conception expérimentale rigoureuse de type quasi-expérimental avec groupe témoin non

équivalent. Ce design permet de comparer les performances de deux groupes d'élèves soumis à des conditions d'enseignement différentes : un groupe expérimental ayant bénéficié d'interventions spécifiques de remédiation et un groupe témoin poursuivant l'enseignement habituel sans intervention supplémentaire. L'objectif est de déterminer si les interventions proposées ont un effet mesurable sur la compréhension et la maîtrise des dérivées. Cette approche a été choisie en raison de sa pertinence dans les recherches en sciences de l'éducation lorsque les contraintes du terrain rendent impossible la randomisation stricte, tout en permettant un contrôle relatif des variables confondantes (Campbell & Stanley, 1995).

L'étude a été menée dans six écoles secondaires de la ville de Goma, choisies afin de représenter de manière équilibrée les différentes catégories d'établissements existants dans le système éducatif congolais : deux écoles publiques, deux écoles privées laïques et deux écoles confessionnelles. Un échantillonnage stratifié a été mis en œuvre pour garantir une représentativité adéquate des élèves en fonction du type d'établissement, du genre et du niveau scolaire. La population ciblée comprend l'ensemble des élèves inscrits en troisième année scientifique et technique dans ces six écoles pour l'année scolaire 2024–2025. Au sein de chaque strate (type d'établissement), un nombre proportionnel d'élèves a été sélectionné, en veillant à l'équilibre entre les sexes et à des critères d'homogénéité tels que l'âge, les résultats scolaires antérieurs et l'assiduité.

L'échantillon final est constitué de 276 élèves, répartis en deux groupes comparables : 140 élèves dans le groupe expérimental (ayant bénéficié du dispositif de remédiation) et 136 élèves dans le groupe témoin (ayant suivi l'enseignement traditionnel). La répartition des élèves dans les groupes a été réalisée de manière aléatoire à l'intérieur de chaque strate, afin de réduire les biais liés à la sélection et d'assurer une bonne comparabilité intergroupes. Cette approche permet une meilleure généralisation des résultats et garantit que les effets observés ne sont pas dus à des disparités structurelles entre les établissements.

Tableau 1. Diagramme d'échantillonnage stratifié selon le type d'établissement

Type d'établissement	Groupe expérimental	Groupe témoin	Total par strate
Écoles publiques (2)	46	44	90
Écoles privées laïques (2)	48	46	94
Écoles confessionnelles (2)	46	46	92
Total	140	136	276

Pour collecter les données nécessaires à l'évaluation des interventions, plusieurs instruments méthodologiques ont été mobilisés. D'abord, deux tests standardisés, l'un avant l'intervention (pré-test) et l'autre après (post-test). Ces tests ont été administrés aux deux groupes. Ils comprenaient des questions à choix multiples, des exercices de dérivation, des interprétations graphiques et des problèmes contextuels portant sur les applications des dérivées. Leur élaboration s'est inspirée des travaux de Robert (1998) et Tall (1993) sur l'évaluation des compétences conceptuelles et procédurales en calcul différentiel. Ensuite, des observations directes en classe ont été réalisées durant les séances de remédiation. Celles-ci ont permis de documenter les comportements, les interactions élèves-enseignant, ainsi que l'engagement cognitif des participants. Enfin, des entretiens semi-directifs ont été menés avec un sous-échantillon de 20 élèves et 6 enseignants. Ces entretiens ont visé à recueillir les perceptions sur la nature des difficultés rencontrées, l'efficacité perçue des interventions, et les conditions favorables ou contraignantes à leur mise en œuvre.

Le dispositif d'intervention de remédiation mis en place dans le groupe expérimental s'est étendu sur une période de 10 semaines, en raison d'une séance hebdomadaire d'une heure en dehors des cours réguliers. Trois axes d'intervention ont été privilégiés. Le premier concerne la visualisation dynamique, avec l'utilisation du logiciel GeoGebra pour représenter graphiquement la tangente à une courbe, le taux de variation, ou encore la vitesse instantanée. Cette approche permet aux élèves de passer d'une représentation symbolique à une compréhension visuelle du concept de dérivée (Tall, 1993; Duval, 1995). Le second axe a porté sur des exercices contextualisés, inspirés de situations concrètes (vitesse d'un véhicule, coût marginal en économie, croissance d'une population). L'objectif était d'ancrer l'apprentissage des dérivées dans des expériences familières aux élèves, favorisant ainsi la motivation et le transfert des connaissances (Roorda, Vos & Goedhart, 2015; Artigue, 1990). Le troisième axe a reposé sur

l'apprentissage collaboratif, avec des activités en binôme ou en petits groupes où les élèves expliquaient leurs démarches, confrontaient leurs raisonnements et corrigeaient mutuellement leurs erreurs sous la supervision de l'enseignant (Vygotsky, 1978). Ces activités ont été précédées d'explications théoriques brèves et suivies de bilans collectifs pour consolider les acquis.

Pour évaluer l'efficacité de ces interventions, un plan d'analyse des données à la fois quantitatif et qualitatif a été mis en œuvre. Les résultats aux tests ont été traités statistiquement à l'aide de logiciels comme SPSS. Les moyennes, écarts-types et pourcentages de réussite ont été calculés pour chaque groupe. Un test *t* de Student a permis de déterminer si les différences observées entre les pré-tests et post-tests étaient statistiquement significatives. Une analyse de variance (ANOVA) a également été envisagée pour examiner l'effet des variables de contexte (type d'école, sexe, régularité scolaire) sur les résultats. Parallèlement, les données qualitatives issues des observations et des entretiens ont été analysées selon une méthode de codage thématique. Les catégories retenues portaient sur les types d'erreurs, les réactions des élèves, les stratégies d'apprentissage adoptées, et la perception de l'utilité des outils mobilisés. Cette triangulation des données a permis de renforcer la validité interne de l'étude et d'enrichir l'interprétation des résultats quantitatifs.

L'ensemble de la recherche a été conduit dans le respect des principes éthiques en vigueur dans les sciences de l'éducation. Le consentement éclairé des élèves et de leurs parents a été obtenu par écrit avant le début de l'étude. Les participants ont été informés de la finalité du projet, de la confidentialité des données et de leur droit de se retirer à tout moment sans justification. Aucune donnée nominative n'a été utilisée dans l'analyse et les résultats ont été anonymisés. Par ailleurs, les enseignants impliqués ont été associés dès la phase de conception des interventions dans une logique participative et collaborative. Une attention particulière a été portée à ne pas pénaliser le groupe témoin : à la fin de l'étude, ce groupe a pu bénéficier d'un accès différé aux activités de remédiation, dans un souci d'équité pédagogique (Béraud, 2021)

En résumé, cette méthodologie articule de manière cohérente une conception expérimentale rigoureuse, une collecte de données diversifiée, et une analyse à double entrée (quantitative et qualitative), permettant de saisir à la fois l'effet mesurable des interventions sur les performances des élèves et les processus d'apprentissage sous-

jacents. Elle s'inscrit pleinement dans une approche de recherche appliquée, attentive aux conditions concrètes d'enseignement dans les écoles secondaires de Goma.

Tableau2. Comparaison des deux groupes de l'étude

Caractéristiques	Groupe expérimental	Groupe témoin
Nombre d'élèves	140	136
Écoles impliquées	3 (1 publique, 2 privées)	3 (1 publique, 2 privées)
Séances de remédiation	(10 séances)	Non
Utilisation de GeoGebra	Oui	Non
Activités collaboratives	Oui	Non
Durée de l'intervention	10 semaines	Enseignement standard
Suivi observateur	Oui	Oui

III. Résultats

Les résultats de l'étude sont présentés ici selon une approche mixte combinant l'analyse quantitative des performances mesurées par les tests et l'analyse qualitative des perceptions recueillies par entretiens. Cette section examine d'abord les scores obtenus aux tests préalables et postérieurs aux interventions, puis compare la fréquence et la nature des erreurs observées dans les deux groupes. Enfin, les perceptions des élèves et enseignants sont explorées afin d'enrichir l'interprétation des résultats numériques.

III.1 Scores obtenus aux tests

Au début de l'étude, les élèves des deux groupes ont été soumis à un *pré-test* de 20 questions. Les moyennes initiales étaient proches : **7,4/20** pour le groupe expérimental et **7,1/20** pour le groupe témoin. Après les 10 semaines d'intervention, le *post-test* a révélé une nette amélioration pour le groupe expérimental : **13,5/20** en moyenne, contre **8,3/20** pour le groupe témoin.

Tableau3. Scores moyens obtenus aux tests

Groupe	Pré-test	Post-test	Écart-type (Post)
Expérimental (n = 140)	7,4	13,5	2,1
Témoin (n = 136)	7,1	8,3	2,3

III.2 Réduction des erreurs par type

Les erreurs ont été classées en trois catégories : conceptuelles, procédurales et représentationnelles. Le tableau suivant résume leur fréquence avant et après intervention.

Tableau 4. Réduction des erreurs (% d'élèves concernés par type d'erreur)

Type d'erreur	Groupe	Avant	Après	Réduction
Conceptuelle	Expérimental	62%	21%	-41%
	Témoin	59%	50%	-9%
Procédurale	Expérimental	54%	18%	-36%
	Témoin	52%	43%	-9%
Représentationnelle	Expérimental	47%	17%	-30%
	Témoin	44%	40%	-4%

III.3 Analyse statistique

Un test t de Student a été appliqué aux scores post-tests des deux groupes. Les résultats sont les suivants :

- Moyenne expérimentale : $M_1 = 13,5$, $\sigma_1 = 2,1$
- Moyenne témoin : $M_2 = 8,3$, $\sigma_2 = 2,3$
- Taille des échantillons : $n_1 = 140$, $n_2 = 136$
- Valeur t calculée : $t = 12,27$
- Degrés de liberté : $df \approx 274$
- $p < 0,0001$ (hautement significatif)

La taille de l'effet (Cohen's d) a été estimée à **2,4**, indiquant un impact pédagogique majeur des interventions de remédiation.

III.4 Données qualitatives issues des entretiens

Les entretiens semi-directifs ont mis en évidence plusieurs thèmes récurrents :

- *Clarification des concepts* : « Avant, je récitais des formules. Maintenant je comprends la variation. » ;
- *Utilité des outils visuels* : Plus de 80% des élèves interrogés ont jugé que GeoGebra a facilité leur compréhension ;

- *Travail collaboratif* : Les échanges en binôme ont permis de mieux expliciter les démarches, selon 75% des participants ;
- *Avis des enseignants* : Tous les enseignants interrogés ont confirmé une amélioration notable de l'autonomie et de la motivation des élèves.

Ces témoignages appuient les résultats quantitatifs, suggérant une transformation des pratiques d'apprentissage chez les élèves du groupe expérimental.

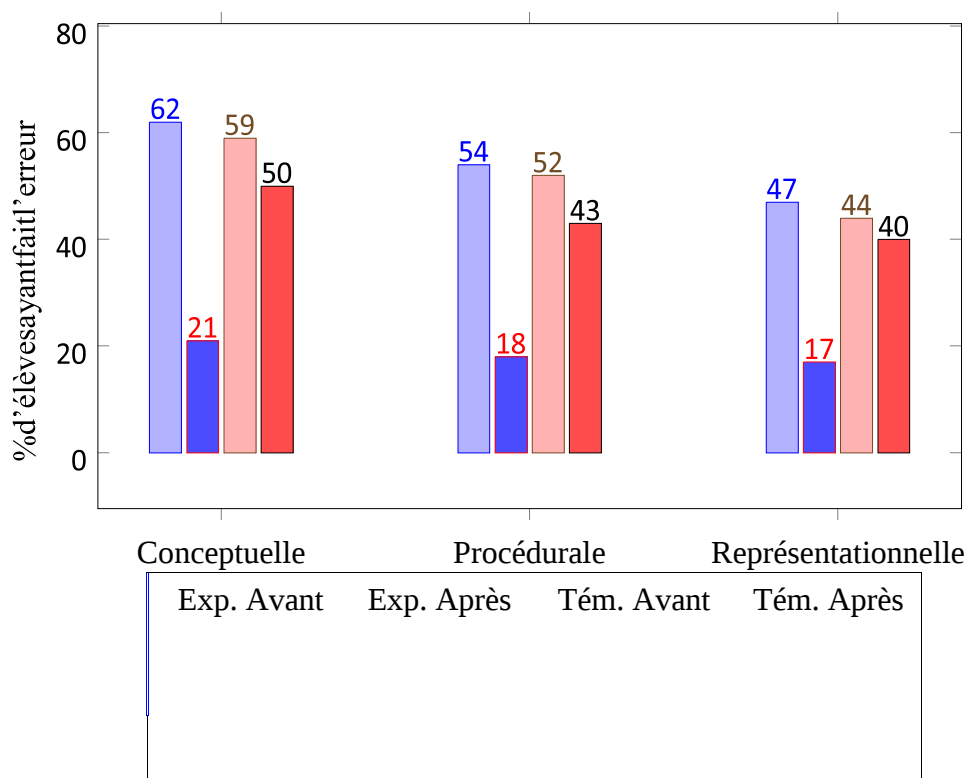


Figure1. Comparaison des taux d'erreurs par type avant et après intervention

Tableau5. Résumé statistique global des performances des élèves

Groupe	Pré-test	Post-test	Gain absolu	Taille d'effet (d)
Expérimental	7,4	13,5	+6,1	2,4
Témoin	7,1	8,3	+1,2	0,43

IV. Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale confirment de manière significative l'impact positif des interventions de remédiation sur l'apprentissage des dérivées chez les élèves de troisième scientifique dans quelques écoles de la ville de Goma. L'augmentation substantielle des scores entre les pré-tests et les post-tests pour le

groupe expérimental, ainsi que la réduction marquée des erreurs conceptuelles, procédurales et représentationnelles, permettent d'affirmer que les stratégies pédagogiques mises en œuvre ont été efficaces. Le contraste avec le groupe témoin, dont les progrès sont restés limités malgré l'enseignement standard, suggère que les difficultés initiales des élèves ne sont pas surmontables par une simple répétition des contenus, mais requièrent des dispositifs d'accompagnement ciblés.

Les interventions se sont appuyées sur une variété de supports et d'approches visant à répondre aux besoins spécifiques observés chez les élèves. En particulier, l'utilisation d'outils de visualisation dynamique comme GeoGebra a favorisé une meilleure compréhension du caractère local de la dérivée comme pente de la tangente. Les séances de travail collaboratif ont quant à elles permis de renforcer l'appropriation des concepts en suscitant des échanges explicites entre pairs. Ces dispositifs ont contribué à ancrer les apprentissages dans des situations signifiantes, stimulant ainsi la motivation des élèves et leur capacité à construire du sens.

L'analyse qualitative issue des entretiens corrobore ces observations : les élèves ont majoritairement exprimé un gain en clarté et en confiance, notamment grâce à la visualisation des courbes et à la possibilité de manipuler les fonctions de manière interactive. Cette perception est en cohérence avec les apports de la théorie du constructivisme, selon laquelle l'apprentissage est plus efficace lorsqu'il s'appuie sur l'activité propre de l'élève, ses représentations initiales et des interactions avec le milieu ou avec autrui (Piaget, 1974; Vygotsky, 1978). En effet, la construction du concept de dérivée ne peut être réduite à un apprentissage par cœur des règles symboliques : elle exige une mise en relation progressive entre divers registres de représentation (symbolique, graphique, verbal), telle que préconisée par Duval (1995).

La visualisation, au cœur du dispositif proposé, joue un rôle crucial dans l'appropriation des objets mathématiques abstraits. Tall (1993) a souligné l'importance de la visualisation conceptuelle dans l'apprentissage du calcul différentiel, en montrant que les apprenants développent des intuitions plus robustes lorsqu'ils peuvent relier des phénomènes visuels à des symboles. Dans notre étude, les élèves ont pu observer en temps réel l'évolution de la tangente en un point, ce qui leur a permis de dépasser l'idée erronée que la dérivée est simplement une « formule à appliquer ».

Par ailleurs, les aspects motivationnels doivent également être mis en lumière. Les élèves du groupe expérimental ont exprimé un plus grand intérêt pour les séances de remédiation, ce qui peut être interprété à travers les théories de la motivation scolaire (Deci & Ryan, 1985). Le fait de comprendre le « pourquoi » d'une notion, de voir son utilité dans des contextes concrets, et de pouvoir expérimenter avec ses propres erreurs, favorise un engagement plus profond dans les apprentissages. Cette motivation accrue a probablement joué un rôle amplificateur dans les progrès observés.

Cependant, malgré ces résultats encourageants, plusieurs limites doivent être reconnues. Tout d'abord, la durée de l'expérimentation (10 semaines) reste relativement courte pour évaluer les effets à long terme des interventions. Il est possible que certains acquis ne soient pas consolidés dans la durée, d'autant plus si les pratiques pédagogiques habituelles ne sont pas transformées de manière structurelle. Ensuite, la généralisation des résultats est à considérer avec prudence : bien que les écoles aient été choisies selon une logique de représentativité, d'autres facteurs contextuels (nombre d'élèves par classe, équipement numérique, qualification des enseignants) peuvent influencer les résultats. Enfin, la variabilité des enseignants accompagnateurs, en termes d'adhésion au dispositif et de compétences didactiques, constitue une variable difficile à maîtriser.

Malgré ces limites, les implications pratiques de l'étude sont nombreuses. Pour les enseignants, les résultats soulignent l'importance d'intégrer des approches actives et visuelles dans l'enseignement des dérivées, en valorisant la manipulation, l'expérimentation et le dialogue mathématique. Il est recommandé d'alterner les registres (graphique, symbolique, verbal) et de proposer des activités qui confrontent les élèves à leurs erreurs de manière constructive. Pour les concepteurs de programmes, cette étude invite à repenser la manière dont les notions d'analyse sont introduites dans le curriculum, en les ancrant davantage dans des situations de modélisation et d'interprétation. L'intégration systématique d'outils numériques dans l'enseignement des mathématiques pourrait également constituer un levier pédagogique majeur, à condition que les enseignants soient formés à leur usage didactique (Artigue, 1990; Ainley, Pratt & Nardi, 2006).

En définitive, cette étude confirme qu'un enseignement plus interactif, différencié et centré sur le sens peut significativement améliorer la compréhension des dérivées chez les élèves du secondaire. Elle ouvre la voie à des pistes de transformation durable des

pratiques pédagogiques, dans une perspective de démocratisation de l'accès aux savoirs scientifiques.

Conclusion

Cette étude expérimentale s'est inscrite dans un contexte éducatif marqué par des difficultés persistantes dans l'enseignement et l'apprentissage des dérivées chez les élèves de troisième scientifique dans plusieurs écoles de la ville de Goma. La problématique abordée réside dans l'incapacité de l'enseignement traditionnel, souvent centré sur la répétition de procédures symboliques décontextualisées, à permettre aux élèves de surmonter des erreurs conceptuelles, procédurales et représentationnelles récurrentes. Pour y répondre, la recherche s'est donné un double objectif : identifier la nature et les causes des erreurs fréquemment commises par les élèves dans l'apprentissage des dérivées, et évaluer l'efficacité d'un dispositif de remédiation fondé sur des approches actives et différenciées.

Les données recueillies ont permis de caractériser précisément les erreurs commises avant l'intervention, et de mesurer l'évolution des performances après la mise en œuvre du dispositif de remédiation. Ce dernier reposait sur trois axes majeurs : la visualisation dynamique à l'aide de GeoGebra, la contextualisation des tâches mathématiques dans des situations concrètes, et le recours à des activités collaboratives favorisant les échanges entre pairs. Les résultats ont révélé une amélioration significative des performances dans le groupe expérimental, avec un gain moyen de 6,1 points entre le pré-test et le post-test, contre seulement 1,2 point pour le groupe témoin. De plus, les taux d'erreurs conceptuelles, procédurales et représentationnelles ont fortement diminué dans le groupe expérimental, ce qui témoigne d'une meilleure compréhension du concept de dérivée et de son usage.

Ces constats ont permis de confirmer clairement les deux hypothèses formulées au départ. L'hypothèse 1, selon laquelle l'enseignement traditionnel, axé uniquement sur les procédures symboliques, ne permet pas de dépasser les obstacles fondamentaux à la compréhension du concept de dérivée, est validée par la stagnation des performances dans le groupe témoin et par la persistance des erreurs observées. L'hypothèse 2, qui postulait qu'un dispositif de remédiation fondé sur la visualisation, la contextualisation et la collaboration conduit à une amélioration significative des résultats et de la motivation des

élèves, est également confirmée par les résultats statistiques, les témoignages des élèves, ainsi que les observations faites en classe. Ces éléments mettent en évidence non seulement un effet positif sur la réussite scolaire, mais aussi un impact sur la posture des élèves vis-à-vis des mathématiques : plus de confiance, plus de motivation, et une meilleure capacité à expliciter leurs raisonnements.

Ainsi, cette recherche apporte une contribution empirique forte à la didactique des mathématiques. Elle montre qu'un enseignement basé sur l'activité des élèves, sur des représentations multiples et sur des outils interactifs permet de dépasser les limites des approches traditionnelles et de construire des apprentissages plus solides. Elle invite à repenser l'introduction des concepts d'analyse au secondaire, non comme une accumulation de règles à mémoriser, mais comme un processus d'appropriation progressive, ancré dans des situations concrètes et accompagné d'un travail réflexif. Par ailleurs, cette étude encourage les enseignants à intégrer des pratiques innovantes dans leur enseignement, tout en appelant les autorités éducatives à soutenir la formation continue dans ce domaine.

En définitive, la recherche confirme qu'il est possible, même dans des contextes à ressources limitées, d'améliorer de manière significative la qualité des apprentissages mathématiques. En articulant rigueur méthodologique et pertinence contextuelle, elle ouvre des perspectives prometteuses pour d'autres travaux, notamment sur l'évaluation à long terme des acquis ou sur l'adaptation de ces dispositifs à d'autres notions complexes du programme. L'impact pédagogique démontré par cette étude plaide en faveur d'une transformation progressive mais résolue des pratiques enseignantes dans l'ensemble du système éducatif congolais.

Références bibliographiques

- Ainley, J., Pratt, D., & Nardi, E. (2006). Connecting engagement and focus in pedagogic task design. *British Educational Research Journal*, 32(1), 23–38.
- Artigue, M. (1990). Épistémologie et didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2), 241–285.
- Béraud, A. (2021). *Éthique et recherche en sciences humaines et sociales : enjeux, méthodes et responsabilités*. Éditions de la Sorbonne.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1995). *Quasi-experimentation : Design and analysis issues for field settings*. Houghton Mifflin.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York : Plenum.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Peter Lang.
- Piaget, J. (1974). *Recherches sur la contradiction*. Paris : PUF.
- Robert, A. (1998). *Didactique des mathématiques*. PUF.
- Roorda, G., Vos, P., & Goedhart, M. (2015). An actor-oriented transfer perspective on high school students' development of the use of procedures to solve problems on rate of change. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 46(1), 104–123.
- Tall, D. (1993). Students' difficulties in calculus. In A. Schoenfeld (Ed.), *Mathematical Thinking and Problem Solving* (pp. 77–104). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society : The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

