

MODELING AND HIGH SCHOOL STUDENTS' CONCEPTIONS OF ELECTRICAL CONDUCTION : DIDACTIC CHALLENGES AND EPISTEMOLOGICAL OBSTACLES IN THE EDUCATIONAL CONTEXT OF MBANDAKA, DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO (DRC)

¹Jethy BONKONO NGOY, ²Crépin MUNGUNZA IZOKOBANA, ³Prince BOMBILO BOMPEMA, ⁴Joseph BOSENGA MOBONGO, ⁵Romulus MBONGO MBOYO, ⁶Edouard KONZI PANISE SIAMO

¹Senior Lecturer, Department of Physics, Higher Pedagogical Institute of Mbandaka (ISP/Mbandaka), DRC

²Senior Lecturer, Department of Physics, Higher Pedagogical Institute of Mbandaka (ISP/Mbandaka), DRC

³Assistant Lecturer, Department of Physics, Higher Pedagogical Institute of Mbandaka (ISP/Mbandaka), DRC

⁴Assistant Lecturer, Department of Physics, Higher Pedagogical Institute of Mbandaka (ISP/Mbandaka), DRC

⁵Assistant Lecturer, Department of Physics, Higher Pedagogical Institute of Mbandaka (ISP/Mbandaka), DRC

⁶Full Professor, Department of Physics and Applied Sciences, National Pedagogical University (UPN), DRC

Corresponding Author:

jeanbonkono200@gmail.com

To Cite This Article:

MODELING AND HIGH SCHOOL STUDENTS' CONCEPTIONS OF ELECTRICAL CONDUCTION : DIDACTIC CHALLENGES AND EPISTEMOLOGICAL OBSTACLES IN THE EDUCATIONAL CONTEXT OF MBANDAKA, DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO (DRC) (J. BONKONO NGOY, C. M. IZOKOBANA, P. B. BOMPEMA, J. B. MOBONGO, R. M. MBOYO, & E. K. P. SIAMO, Trans.). (2026). *International Journal of Advance Research in Education & Literature* (ISSN 2208-2441), 12(4), 49-54. <https://doi.org/10.61841/v4dxrf51>

RESUME

Cette étude diagnostique examine l'influence de l'enseignement traditionnel sur l'évolution des idées concernant la conduction électrique, tant dans les métaux que dans les électrolytes, auprès de 192 élèves en classe de 3^e année des Humanités Scientifiques à Mbandaka, en République Démocratique du Congo. En s'inscrivant dans une démarche quasi-expérimentale avec des évaluations avant et après l'intervention pédagogique durant l'année scolaire 2025-2026, cette recherche s'intéresse à la résistance des compréhensions erronées face à un enseignement qui repose uniquement sur des explications théoriques et ne comprend pas de travaux pratiques. Les résultats du pré-test mettent en évidence une forte présence de l'obstacle substantialiste, où les élèves perçoivent le courant électrique comme un fluide continu ou une matière tangible. Lors du post-test, bien qu'une amélioration statistiquement significative soit constatée ($Z = -6,842$, $p < 0,001$), le score moyen général reste limité (2,35 sur 6), indiquant la persistance des conceptions initiales. L'analyse révèle également une tendance à appliquer le modèle électronique aux solutions liquides, ce qui nuit à la compréhension de la migration des ions. De plus, l'application du test U de Mann-Whitney ne révèle aucune différence significative dans les performances en fonction du genre ($U = 4046,00$, $p = 0,318$). En conclusion, l'étude souligne l'inefficacité d'une pédagogie centrée sur la transmission de connaissances pour déconstruire l'obstacle substantialiste et recommande d'inclure des expériences pratiques peu coûteuses, en lien avec des conflits socio-cognitifs, dans l'enseignement.

MOTS CLES: Electrocinétique, conduction électrique, didactique de la physique, changement conceptuel, obstacle substantialiste

ABSTRACT

This diagnostic study evaluates the impact of traditional instruction on conceptual change regarding electrical conduction (in metals and electrolytes) among $N = 192$ 11th-grade science students in Mbandaka (DRC). Employing a pre-test/post-test quasi-experimental design during the 2025–2026 academic year, the research investigates the resilience of naive conceptions given the constraints of purely verbalistic, lab-deprived teaching. Pre-test results reveal a marked predominance of the substantialist obstacle, in which current is conceptualized as a continuous fluid or a material

substance. At post-test, although a statistically significant improvement was observed ($Z = -6.842, p < 0.001$), the overall mean score remained modest (2.35 out of 6), demonstrating the tenacity of initial representations. The analysis highlights an overgeneralization of the electron model to liquid solutions, hindering the understanding of ionic migration. Furthermore, the Mann-Whitney U test showed no statistically significant performance difference by gender ($U = 4046.00, p = 0.318$). The study concludes that transmissive pedagogy is ineffective in deconstructing the substantialist obstacle and advocates for integrating low-cost, hands-on experimentation coupled with socio-cognitive conflict.

KEYWORDS: *Electrokinetics, electrical conduction, physics education, conceptual change, substantialist obstacle*

INTRODUCTION

L'enseignement des sciences physiques, en particulier les notions relatives à l'électrocinétique, représente un fondement crucial de l'enseignement scientifique en République Démocratique du Congo. D'après le programme national de l'enseignement des sciences (2019), cet apprentissage a pour but d'offrir aux élèves des repères conceptuels solides, indispensables pour saisir les technologies modernes et développer une pensée critique. Néanmoins, la manière dont ces connaissances sont transmises se heurte à une réalité cognitive essentielle : l'esprit des apprenants n'est jamais une page blanche. Avant même de bénéficier d'un enseignement structuré, les élèves élaborent des interprétations personnelles et intuitives pour comprendre les phénomènes qui les entourent (Bachelard, 1938 ; De Vecchi & Giordan, 2002).

Dans le domaine de l'électricité, ces premières représentations, désignées comme des « conceptions », peuvent souvent constituer un obstacle à l'apprentissage des savoirs académiques. L'objectif principal de l'enseignement de l'électrocinétique est de permettre aux élèves de saisir le mouvement des charges, de distinguer les grandeurs physiques fondamentales et de modéliser la conduction à l'échelle microscopique. Cependant, la pratique pédagogique révèle fréquemment une illusion d'apprentissage. Il n'est pas rare d'observer des étudiants capables de manipuler avec aisance les expressions algébriques des lois électriques, tout en restant attachés à un modèle explicatif obsolète, dans lequel le courant est envisagé comme une substance fluide qui se consomme au fur et à mesure de son passage dans les différents composants. Cette persistance conceptuelle s'explique notamment par l'invisibilité intrinsèque des phénomènes électriques, qui prive l'élève de repères perceptifs directs, favorisant ainsi l'ancrage de modèles analogiques naïfs (Baptista et al., 2023). En outre, comme le soulignent Quezada-Espinoza et al. (2023), l'incapacité à analyser des phénomènes électriques simples subsiste de manière critique post-enseignement, corroborant la thèse de Kotsis (2026) selon laquelle ces conceptions erronées font preuve d'une robustesse intergénérationnelle tant qu'elles ne sont pas soumises à une déconstruction délibérée.

Bien que la littérature internationale, principalement provenant d'Europe, d'Amérique du Nord ou d'Amérique latine, mette en lumière ces défis épistémologiques (Closset, 1983 ; Shipstone et al., 1988), l'Afrique subsaharienne souffre d'un manque significatif en matière de recherche scientifique qui traite de ce sujet. À Mbandaka, en République Démocratique du Congo, ce phénomène de maintien de conceptions simplistes est aggravé par des contraintes structurelles importantes : l'accès aux infrastructures de laboratoire est très limité, le matériel didactique est rare, et l'enseignement reste majoritairement théorique et verbal (Massamba, 2012 ; Kapakala, 2018 ; ADEA & UNESCO, 2018). C'est précisément dans ce déficit documentaire que s'inscrit la présente recherche.

Cet article se donne pour objectif d'inventorier et d'analyser la nature des conceptions mobilisées par les élèves de troisième année des humanités scientifiques face au concept spécifique de **conduction électrique** (dans les métaux et les solutions électrolytiques).

La question centrale qui guide cette réflexion est la suivante : *Quelles conceptions les élèves mobilisent-ils pour modéliser la nature du courant et la conduction électrique, et dans quelle mesure l'enseignement traditionnel congolais permet-il de provoquer une rupture avec l'obstacle substantialiste ?*

CADRE THEORIQUE ET REVUE DE LA LITTERATURE

LE STATUT DIDACTIQUE DES CONCEPTIONS ET LE MODELE ALLOSTERIQUE

L'introduction du concept de « déjà-là » cognitif a constitué une avancée significative dans le domaine de la didactique des sciences. Auparavant, cette notion était généralement examinée à travers le prisme de la « représentation » (Moscovici, 1989 ; Clenet, 1998), mais elle a depuis évolué vers le terme de « conception » (Abrougui & Clément, 1996), qui est jugé plus pertinent. D'après Thouin (2009), une conception ne se limite pas à une image mentale passive, mais se présente comme un système explicatif organisé, possédant une cohérence interne et une efficacité pragmatique pour l'apprenant.

Pour rendre compte de cette complexité, Giordan et De Vecchi (1987) ont élaboré le modèle allostérique, qui peut être résumé par l'équation fonctionnelle $\text{Conception} = f(\text{P.C.O.R.S.})$, intégrant le Problème, le Cadre de référence, les Opérations mentales, le Réseau sémantique et les Significations. Cette approche met en lumière le fait qu'une conception erronée en physique ne résulte pas d'un manque d'intelligence, mais provient d'une structure fonctionnelle complexe. Ainsi, le réductionnisme transmissif (De Vecchi & Giordan, 2002), qui considère qu'une explication académique claire peut aisément remplacer une connaissance fautive, se révèle inefficace. En réalité, il provoque ce que l'on appelle une « dissociation cognitive » (Anderson, 1983 ; Tardif, 1992) : l'élève peut mémoriser des termes pour les examens, mais il revient à son modèle conceptuel initial lorsqu'il est confronté à une situation réelle.

L'OBSTACLE EPISTEMOLOGIQUE ET LA NATURE DU COURANT ELECTRIQUE

Inscrite dans la filiation de Bachelard (1938), la notion d'obstacle épistémologique désigne les modes de pensée antérieurs qui entravent l'acquisition d'un concept scientifique. Dans le champ spécifique de l'électrocinétique, l'apprentissage de la conduction se heurte frontalement à l'obstacle *substantialiste* et à l'obstacle *perceptif* (Duit & Treagust, 2003). L'élève assimile intuitivement le courant à une substance matérielle (un fluide) susceptible d'être stockée, transportée et physiquement « consommée » par les composants.

Le processus d'apprentissage s'apparente donc à un changement conceptuel dynamique (Posner et al., 1982 ; Vosniadou, 2013). Inspiré du paradigme constructiviste (Piaget, 1975 ; Vygotski, 1978), ce changement exige une déstabilisation du cadre de référence de l'apprenant par le biais de conflits cognitifs et socio-cognitifs (Driver et al., 1994). Face à ce postulat, l'enseignant doit adopter une posture consistant à « faire avec pour aller contre » les conceptions initiales (Astolfi, 1998 ; Giordan, 1998).

Cependant, la littérature lie souvent le succès de ce changement conceptuel à l'ajustement empirique, c'est-à-dire à la confrontation avec le verdict de l'expérience en laboratoire (Oliveira & Bonito, 2023). Notre recherche interroge directement la transposabilité de ce cadre théorique dans le contexte de la ville de Mbandaka, où l'absence chronique de matériel didactique empêche la confrontation directe avec le réel matériel, obligeant à repenser le changement conceptuel à travers la seule modélisation théorique et le débat discursif.

MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE ÉCHANTILLON ET CONTEXTE DE L'ETUDE

L'étude s'est déroulée durant l'année scolaire 2025-2026 dans la ville de Mbandaka (Province de l'Équateur, RDC). L'échantillon d'étude est constitué de **N = 192 élèves** de 3^e année des Humanités Scientifiques (équivalent de la classe de Première dans d'autres systèmes francophones), répartis dans six (06) établissements scolaires secondaires représentatifs des six réseaux d'enseignement de la région :

- | | |
|---|----------|
| 1. Collège Nsong'Alianja (Catholique) | : n = 30 |
| 2. EDAP/ISP-Mbandaka (Public/Privé) | : n = 41 |
| 3. Institut de la Paix (Islamique) | : n = 27 |
| 4. Institut Papa Diangenda (Kimbanguiste) | : n = 32 |
| 5. La Gloire de l'Éternel (Privé agréé) | : n = 30 |
| 6. Lycée Nsang'Eandotsi (Protestant) | : n = 32 |

Sur le plan sociodémographique, l'échantillon compte **111 filles (57,8 %)** et **81 garçons (42,2 %)**. Le choix de la 3^e année scientifique se justifie par l'inscription formelle des notions d'électrocinétique et d'électromagnétisme au programme national de physique (Ministère de l'Éducation Nationale, 2019).

DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET INSTRUMENTS DE MESURE

L'expérimentation repose sur un design quasi-expérimental pré-test/post-test à mesures répétées :

- **Pré-test** : Administré au cours des deux premières semaines de l'année scolaire 2025-2026, avant tout enseignement formel de l'électrocinétique, pour diagnostiquer les « déjà-là » cognitifs.
- **Post-test** : Administré du 04 au 09 mai 2026 auprès des mêmes apprenants identifiés par codage individuel anonyme, après la dispense des séquences d'enseignement traditionnelles.

L'instrument de collecte est un questionnaire diagnostique mixte comportant 12 questions (ouvertes et à choix multiples) réparties sur 6 thèmes conceptuels. Pour cet Article 1, l'analyse se concentre sur les **Thèmes I et II** :

- ❖ **Thème I : Nature du courant électrique dans les conducteurs métalliques** (Q1A-C : modélisation particulière dans l'air, le courant électrique et l'eau ; Q2 : identité de la particule chargée dans les métaux).
- ❖ **Thème II : Nature du courant électrique dans les solutions électrolytiques** (Q1 : conduction dans l'eau salée ; Q2 : mécanisme microscopique de migration ionique).

Les réponses ont été soumises à une grille de cotation quantitative (Thème I pondéré sur 4 points ; Thème II pondéré sur 2 points) combinée à une analyse de contenu qualitative visant à catégoriser les modèles explicatifs des élèves.

TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

Les données ont été saisies sous Microsoft Excel puis analysées à l'aide du logiciel **SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)**.

- **Tests de normalité** : La distribution des scores au pré-test et au post-test a été soumise aux tests de Kolmogorov-Smirnov et de Shapiro-Wilk. La distribution s'éloignant significativement de la normalité ($p < 0,05$), l'hypothèse nulle de normalité a été rejetée.
- **Inférence non paramétrique** :
 - ❖ **Test de Wilcoxon pour échantillons appariés** a été mobilisé pour évaluer l'évolution globale des performances conceptuelles entre le pré-test et le post-test.
 - ❖ Le **test de Mann-Whitney pour échantillons indépendants** a été appliqué pour vérifier l'existence de disparités significatives de performances selon la variable genre (filles vs garçons).

RÉSULTATS

CONCEPTIONS INITIALES (PRE-TEST) SUR LA CONDUCTION ELECTRIQUE

A. CONDUCTION DANS LES METAUX (THEME I)

Lors du pré-test, l'analyse des réponses à la question Q1B (« *Quelle est la particule qui assure le déplacement du courant électrique ?* ») révèle une forte dispersion et une dominance de notions macroscopiques ou tautologiques.

- ❖ **Modèle scientifique valide** : Seuls 40 élèves (20,8 %) citent l'« électron » et 7 élèves (3,6 %) désignent les « charges électriques » (soit 24,4 % de réponses conceptuellement acceptables).
- ❖ **Confusion macroscopique / matérialisation** : 22 élèves (11,5 %) mentionnent le « conducteur », 27 (14,1 %) l'« électricité », 22 (11,5 %) la combinaison « électrons et noyau », et 5 (2,6 %) l'« énergie ».
- ❖ **Absence de modèle / Non-réponse** : 40 élèves (20,8 %) n'ont fourni aucune réponse.

A la question Q2 (Thème I) portant sur la nature exacte du signe de la particule conductrice dans les métaux :

- ❖ Seuls **31,3 % (n = 60)** identifient correctement l'électron comme porteur négatif.
- ❖ **42,2 % (n = 81)** optent pour une particule neutre ou positive (protons/ions), tandis que **26,5 % (n = 51)** affirment que la particule n'a aucune charge ou ne répondent pas.

B. CONDUCTION DANS LES SOLUTIONS ELECTROLYTIQUES (THEME II)

Face au phénomène de conduction dans les liquides (eau salée, Q1-Thème II), les représentations naïves prédominent largement :

- ❖ **Obstacle de la continuité / Dissolution** : **58,3 % (n = 112)** des élèves expliquent la conduction dans l'eau salée par la simple « présence de l'eau » ou la « dissolution du sel », sans conceptualiser la présence de porteurs de charges libres.
- ❖ **Modèle microscopique de conduction (Q2)** : Seuls **14,6 % (n = 28)** identifient la migration simultanée des ions positifs (cations) et négatifs (anions) vers les électrodes opposées. L'immense majorité réplique le modèle métallique en attribuant la conduction dans les liquides au déplacement direct des électrons libres dans le liquide (38,5%, n = 74) ou n'apporte aucune explication microscopique (46,9%, n = 90).

ÉVOLUTION CONCEPTUELLE APRES ENSEIGNEMENT (POST-TEST)

Le tableau 3.1 synthétise la distribution des réponses correctes aux Thèmes I et II avant et après l'enseignement traditionnel.

Tableau 3.1 : Évolution du taux de réponses scientifiquement valides (Pré-test vs Post-test, N = 192)

Thème/Concept évalué	Pré-test (n)	Pré-test (%)	Post-test (n)	Post-test (%)	Gain (%)
Thème I : Identification de l'électron (Q1B)	40	20,8 %	78	40,6 %	+19,8 %
Thème I : Charge négative de l'électron (Q2)	60	31,3 %	94	49,0 %	+17,7 %
Thème II : Conduction ionique dans l'eau salée (Q1)	34	17,7 %	62	32,3 %	+14,6 %
Thème II : Mécanisme de migration des ions (Q2)	28	14,6 %	51	26,6 %	+12,0 %

ANALYSE INFERENTIELLE : TEST DE WILCOXON

Pour mesurer la portée statistique de cette progression globale sur les scores attribués aux Thèmes I et II, le test des rangs signés de Wilcoxon a été exécuté.

Tableau 3.2: Résultats du test de Wilcoxon (Comparaison Pré-test / Post-test sur la conduction)

Mesure	Moyenne Pré-test (sur 6)	Moyenne Post-test (sur 6)	Statistique Z	Significance (p-value)
Score Conduction (Thèmes I & II)	1,42 (écart-type = 1,08)	2,35 (écart-type = 1,24)	-6,842	p < 0,001

Le test montre une augmentation statistiquement significative des performances ($Z = -6,842$, $p < 0,001$). Néanmoins, la moyenne au post-test demeure modeste (**2,35 sur 6**, soit 39,2 % de réussite), révélant la persistance de résistances cognitives majeures.

Afin de compléter la valeur diagnostique du test des rangs signés de Wilcoxon ($Z = -6,842$, $p < 0,001$), la taille d'effet a été calculée selon la formule recommandée pour les tests non paramétriques :

$$r = \frac{|Z|}{\sqrt{N}}$$

Avec une taille d'échantillon de $N = 192$, la valeur obtenue s'élève à $r = 0,49$. Selon les seuils établis par Cohen (1988), ce résultat indique une taille d'effet moyenne à forte. Cela confirme que l'évolution observée entre le pré-test et le post-test ne relève pas d'une simple fluctuation échantillonnale, mais traduit un véritable impact, bien que restreint, du module d'enseignement sur les performances conceptuelles des apprenants.

ANALYSE DES PERFORMANCES SELON LE GENRE

Pour déterminer si l'enseignement traditionnel génère un écart de compréhension entre les filles ($n = 111$) et les garçons ($n = 81$), le test U de Mann-Whitney a été appliqué sur les scores du post-test.

Tableau 3.3: Test U de Mann-Whitney selon le genre au Post-test

Genre	n	Rang moyen (Post-test)	Somme des rangs	Mann-Whitney U	Significane (p-value)
Filles	111	92,45	10262,00	4046,00	$p = 0,318$ (N.S.)
Garçons	81	102,02	8264,00		

Note : N.S. = Non Significatif ($p > 0,05$).

Les résultats indiquent qu'il n'existe **aucune différence statistiquement significative** entre les performances des filles et des garçons concernant la conceptualisation de la conduction électrique ($U = 4046,00$, $p = 0,318$). Les obstacles identifiés affectent les apprenants indépendamment de leur sexe.

DISCUSSION

LA PERSISTANCE DE L'OBSTACLE SUBSTANTIALISTE ET LE « MODELE DU FLUIDE »

L'examen des données qualitatives révèle que l'obstacle substantialiste, tel que défini par Bachelard en 1938, ainsi que la tendance à considérer le courant comme un fluide matériel continu, représentent les principaux freins cognitifs chez les élèves de Mbandaka. Que ce soit lors du pré-test ou du post-test, une proportion significative d'apprenants assimile l'électricité à des éléments tels que l'air ou l'eau, établissant ainsi une analogie macroscopique directe. Même après avoir reçu un enseignement, plus de 50 % des élèves éprouvent des difficultés à relier la conduction métallique à un mouvement orienté d'électrons libres, continuant à envisager l'électricité comme une « force » ou une « pression » indéfinie. Ce constat rejoint les recherches de Closset (1983) et Kotsis (2026), qui démontrent que l'enseignement magistral basé sur la parole ne parvient pas à déconstruire la perception du courant comme une substance matérielle continue.

En plus de cette assimilation du courant à un fluide, nos analyses mettent en lumière un autre obstacle majeur : l'ignorance du principe de neutralité électrique globale dans un conducteur à régime permanent. Un nombre considérable d'élèves associe le passage du courant à une accumulation de charges, suggérant qu'un fil métallique traversé par un flux d'électrons se trouve alors électrisé dans son ensemble. Cette confusion persistante entre le mouvement local des porteurs de charge et la charge électrique globale du matériau souligne la difficulté des apprenants à distinguer le concept de flux de celui de charge statique. Cela renforce l'idée d'un modèle dans lequel l'électricité est perçue comme une matière qui modifie intrinsèquement la nature physique du conducteur.

LA SURGENERALISATION DU MODELE METALLIQUE AUX SOLUTIONS ELECTROLYTIQUES

Un des principaux apports de cette recherche réside dans la mise en lumière d'un transfert incorrect : la généralisation excessive du modèle électronique. Lorsque les élèves réussissent à comprendre que l'électron est responsable du transport de l'électricité dans les métaux, environ 40 % d'entre eux appliquent cette même logique aux liquides, soutenant que « ce sont les électrons qui traversent l'eau salée ».

La compréhension des ions, tant cations qu'anions, ainsi que du mécanisme de double migration opposée, reste très limitée, avec un taux de réussite de seulement 26,6 % lors du post-test. Comme l'ont noté Taber (2002) et Baptista et ses collègues (2023), le manque de visualisations moléculaires ou de simulations interactives pousse les élèves à utiliser uniquement le modèle particulière qu'ils connaissent, à savoir celui de l'électron, pour tous les milieux conducteurs.

LES LIMITES DE L'ENSEIGNEMENT TRADITIONNEL EN CONTEXTE D'EXTREMA RESSOURCES (MBANDAKA)

Bien que les résultats du test de Wilcoxon indiquent une avancée statistiquement significative ($p < 0,01$), la moyenne obtenue lors du post-test (2,35/6) souligne l'efficacité limitée de l'enseignement traditionnel de type transmissif en vigueur à Mbandaka.

En raison de l'absence totale de laboratoires de physique, d'expériences démonstratives et d'outils numériques, l'apprentissage se concentre sur la mémorisation de formules et de définitions académiques. Cela conduit à ce que Tardif (1992) décrit comme un savoir sans vie ou une dissociation cognitive : l'élève retient par cœur que « le courant est un déplacement d'électrons », mais fait appel à ses conceptions naïves dès qu'il doit décrire le fonctionnement d'un dispositif physique concret.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES DIDACTIQUES

La recherche effectuée sur un échantillon de 192 élèves à Mbandaka révèle que l'approche traditionnelle de l'enseignement de la physique parvient à modifier de manière superficielle le vocabulaire des élèves. Cependant, elle ne parvient pas à engendrer le changement conceptuel profond indispensable à une compréhension solide de la conduction électrique. Les obstacles liés à une vision substantielle des concepts ainsi que la confusion entre les porteurs de charge, notamment entre les électrons et les ions, persistent même après l'enseignement, sans différences notables en fonction du genre.

Pour surmonter ces obstacles dans un cadre où le matériel de laboratoire est limité, nous proposons deux recommandations pédagogiques essentielles.

Premièrement, il est important d'intégrer la modélisation analogique structurée ainsi que le conflit cognitif. L'enseignant doit clarifier les limites des analogies liées aux fluides et mettre en place des débats socio-cognitifs, comme le suggère Astolfi (1998), en s'appuyant sur des schémas conceptuels affichés au tableau.

Deuxièmement, nous recommandons de recourir à des expériences improvisées et à des kits à faible coût. Par exemple, des dispositifs d'électrolyse simples, utilisant des piles ordinaires, des mines de crayon en graphite, du sel de table et de l'eau, peuvent être employés pour illustrer la réaction chimique aux électrodes. Cela permet également de matérialiser la distinction entre la conduction métallique et celle des liquides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abrougui, M., & Clément, P. (1996). Conceptions des enseignants et des manuels scolaires sur le courant électrique. *Didaskalia*, 9, 45-62.
2. Astolfi, J.-P. (1998). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris : ESF éditeur.
3. Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
4. Baptista, M., et al. (2023). Students' conceptual understanding of electricity: A systematic review. *International Journal of Science Education*, 45(4), 289-312.
5. Closset, J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique* (Thèse de doctorat). Université Paris VII.
6. De Vecchi, G., & Giordan, A. (2002). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche" ?* Nice : Z'Éditions.
7. Giordan, A., & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
8. Kotsis, K. T. (2026). Misconceptions in basic electricity: A cross-generational study. *Journal of Baltic Science Education*, 25(1), 78-95.
9. Ministère de l'Éducation Nationale (RDC). (2019). *Programme national de physique pour les Humanités Scientifiques*. Kinshasa : ÉDIDEPS.
10. Quezada-Espinoza, M., et al. (2023). Addressing misconceptions in introductory physics courses. *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), 010112.
11. Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique : l'apport de la psychologie cognitive*. Montréal : Éditions du Renouveau Pédagogique.

