



HAL
open science

Conception, validation et utilisation de Bazin-R VirtLab pour la correction des représentations initiales-obstacles et l'intégration de la pratique expérimentale en mécanique classique

Rama Bazangika

► To cite this version:

Rama Bazangika. Conception, validation et utilisation de Bazin-R VirtLab pour la correction des représentations initiales-obstacles et l'intégration de la pratique expérimentale en mécanique classique. Mécanique [physics]. Université Pédagogique Nationale (UPN) Kinshasa (Congo), 2026. Français. <NNT: >. <tel-05578317>

HAL Id: tel-05578317

<https://theses.hal.science/tel-05578317v1>

Submitted on 2 Apr 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

UNIVERSITÉ PÉDAGOGIQUE NATIONALE



FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE ET SCIENCES APPLIQUÉES

Thèse de doctorat n° :
Domaine de recherche : Sciences
Option : Physique
Orientation : Didactique de Physique et Évaluation

Conception, validation et utilisation de Bazin-R VirtLab pour la correction des représentations initiales-obstacles et l'intégration de la pratique expérimentale en mécanique classique

Par

Rama BAZANGIKA Musunda wa Sadi

Diplômé d'Études Approfondies

Thèse présentée et soutenue le 28 mars 2026 en vue de l'obtention du titre de Docteur en Didactique de Physique et Évaluation

Promoteur : **Dr God'El KINYOKA Kabalumuna, Professeur Ordinaire**

Co-promoteurs : **Dr Ruffin-Benoît NGOIE Mpoy, Professeur**
Dr Émile-Michel ONEMA Lama, Professeur

Jury :

Président : Dr José MATA Tombo, PO / UPN

Secrétaire : Dr Liévin YABA Moke, P / ISTA – Kinshasa

Membres effectifs : Dr God'El KINYOKA Kabalumuna, PO / UPN, Promoteur
Dr Ruffin-Benoît NGOIE Mpoy, P / ISP – Mbanza-Ngungu, Co-promoteur

Dr Ferdinand KABAMBA Palata, PO / UPN

Membres suppléants : Dr Joseph-Gregorius CIMBELA Kabongo, PO / UPN

Dr Rodolphe IYOLO Mpongo, PO / UPN

Année académique : 2024 – 2025

ÉPIGRAPHES

« Les professeurs de sciences imaginent que l'esprit commence comme une leçon... Ils n'ont pas réfléchi au fait que l'adolescent arrive dans la classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées : il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne ».

(Bachelard, 1993)

« Si dès le plus jeune âge, les apprenants sont, dans la coutume, entraînés à formuler des hypothèses et à considérer les modèles proposés par l'enseignement comme approximatifs et provisoires". "L'erreur ne serait plus complètement un échec, une faute, mais un résultat. »

(Peterfalvi, 1997)

« L'enseignement des sciences doit être pragmatique, ancré dans la réalité des apprenants et adapté à leurs représentations. »

(Giordan & De Vecchi, 1987)

IN MEMORIAM

À toi, mon père Bazangika M'poni Ndunzi Jean, pour ton souci de nous voir décrocher ce diplôme, tel était ton rêve.

À toi papa Dialungana K. Bazangika King-Paul, pour ton impulsion afin que nous poursuivions nos études postuniversitaires.

DÉDICACE

À toi mon âme sœur, madame mon épouse Mimie Bitondo Laïsi, pour tous les encouragements, sacrifices et peines consentis ;

À toi mon prodigieux fils Nathan Bazangika Kiangani Laïsi, pour l'inspiration que tu ne cesses de nous insuffler.

REMERCIEMENTS

Après la rédaction de cette thèse doctorale en Didactique de physique et Évaluation, qu'il nous soit permis de remercier les personnes qui ont facilité sa mise en œuvre.

De prime abord, nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant pour nous avoir permis d'accéder à cette ultime étape scientifique, qui nous ouvre les horizons vers le monde de la recherche.

De manière générale, nos remerciements vont droit à tous nos encadreurs de la Faculté des sciences de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) et d'ailleurs pour la qualité de la formation qu'ils nous ont transmise.

De façon très particulière, nous remercions infiniment le professeur ordinaire God'El Kinyoka Kabalumuna, promoteur de cette thèse, pour ses orientations scientifiques combien pertinentes et pour son implication financière très significative dans la réalisation de cette œuvre d'esprit.

Nous adressons aussi nos remerciements au professeur Ruffin-Benoît Ngoie Mpoï, Co-promoteur de cette thèse, pour sa rigueur méthodologique, pour la pertinence de ses remarques ainsi que pour son implication passionnante dans la conception et la validation du laboratoire virtuel de physique utilisé dans cette recherche.

Nous remercions aussi le professeur Émile-Michel Onema Lama, Co-promoteur de cette thèse doctorale, pour ses orientations et la correction minutieuse de cette recherche.

Nous sommes très reconnaissants à l'égard des professeurs José-Emmanuel Mata, Liévin Yaba, Ferdinand Kabamba, Joseph-Gregorius Cimbela et Rodolphe Iyolo qui nous ont fait honneur en acceptant de faire partie de notre jury de soutenance.

Grand merci au professeur Ediho Lokanga pour son soutien scientifique, combien important tout au long de la recherche ayant abouti à sa rédaction.

Reconnaissance à l'endroit du professeur Didier Bonzeke pour ses orientations de première heure dans la réalisation de cette thèse doctorale et pour sa lecture minutieuse.

Nous exprimons toute notre gratitude à l'égard du chef de travaux Jean-Roger Bansimba pour son implication passionnante quant à la lecture de ce travail et à l'élaboration de nos instruments de collecte des données afin de rendre plus clairs les résultats de ce travail.

Comment ne pas remercier notre équipe informatique pilotée par l'ingénieur Glody Nswadi pour la qualité du simulateur développé afin d'aider à dématérialiser le laboratoire réel de physique. Nous pensons à Hiram-Christian Nkelani et Japhet Bazungula.

Remerciements sincères à monsieur Bienvenu Kakpo pour son aide combien judicieuse dans les analyses statistiques de cette recherche.

Nous manifestons notre reconnaissance à Son Excellence Madame la Ministre de l'EPSP ainsi qu'à tous les Membres des corps enseignant et administratif de l'UPN/Kinshasa et de l'ISP/Mbanza-Ngungu pour leur soutien tant matériel, scientifique que psychologique.

Que monsieur Édouard Kiasisua trouve à travers ces lignes l'expression de notre plus grande reconnaissance pour sa disponibilité dans la réalisation des manipulations au laboratoire de physique de l'ISP/Mbanza-Ngungu !

Nous exprimons notre élogieuse admiration de nos mamans, Sadi Ndundu Françoise et Mele Lufiaulusu Laurence, pour le réconfort dont nous avons bénéficié de leur part lors de la réalisation de ce rêve scientifique.

Que tous les membres des familles Bazangika, Sadi et Laïsi trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude envers eux. Nous citons plus spécialement Jean-Charles, Victoire, Flory, Dorris, Vesta-Josiane, Thérèse, Nada et Violaine !

Nous saluons le réconfort combien louable des personnes ci-après : professeur Roger Mbuyamba, Serge Nkiambi, Fanfan Kinsumba, Auguy Mwana Ngoma, Aimée Mavuza, Lydie Vuata, Jiji Nkunku, Norevi Babantikidi, José Minu, Rivaldo Ndandi, Kennedy Nzau, Pump Mufuele, Blanchard Biasala, Christian Kavenambutako, Christian Mabenza, Tamack Manzenza, Olivier Dielumuini, Gloire Diakiese, Tadé-Étienne Mbundu, Moïse Mpukuta, Saint-Paul Mbumba, Ruffin Mbaka, Jean-Luz Luzolo, Christophe Kunguniko, Bienvenu-Doudou Lukuama, Marc Nzolani, Willy Mulumba, Marcien Tangeyi et Évariste Mvibudulu.

Remerciements particuliers à monsieur Franchou Ndakumona pour son accompagnement dans les différents sites d'enquête afin de compiler les images des grandes étapes du déroulement de l'enquête de terrain.

Que monsieur Alain Tshimanga trouve ici l'expression de ma profonde gratitude quant à l'accomplissement de ce rêve.

Nos remerciements s'adressent également aux autorités scolaires des établissements composant notre population d'étude, plus précisément à celles de l'institut Kilombo, du collège Kubama, de l'institut Manzonzi et de l'institut Nzolo, sans oublier celles du Lycée Mfuki et du collège Nsona-Nkulu, pour leur collaboration combien significative lors de nos descentes de terrain.

Nous remercions vivement toutes les autorités et tous les acteurs de l'EPSP en général, et ceux des provinces éducationnelles des Cataractes et de la Lukaya en particulier. Notre pensée va exceptionnellement aux enseignants de physique, aux apprenants de 4^{ème} année de Sciences, au Proved Amos Nzazi et à l'IPP Willy Koy pour leur collaboration inestimable s'agissant de nos descentes de terrain.

Enfin, nous manifestons notre reconnaissance vis-à-vis de tous les héros dans l'ombre qui ont participé à la réalisation de cette œuvre scientifique.

Rama Bazangika Musunda wa Sadi

LISTE D'ABRÉVIATIONS ET SIGLES

°C	: degré Celsius
3D	: Trois dimensions
A	: Ancienneté
AHP	: Analytic Hierarchy Process
APS	: Approche par les situations
AUF	: Agence Universitaire de la Francophonie
BRVL	: Bazin-R Virtual Laboratory
CAHP	: Conjoint's Analytic Hierarchy Process
CAID	: Cellule d'Analyse des Indicateurs de Développement
CAT	: Cellule d'Appui Technique
CGS	: centimètre-gramme-seconde
Conf.Curr	: Conformité curriculaire
Cons.Sav	: Construction des savoirs
Corr.RIO	: Correction des RIO
CTÉB	: Cycle terminal de l'éducation de base
Ctrl	: Contrôle
CUDC	: Chaire UNESCO de Développement Curriculaire
DAS	: Domaine d'apprentissage des Sciences
DIPROMAD	: Direction des Programmes Scolaires et Matériel Didactique
E/A	: Enseignement-Apprentissage
EB	: Éducation de Base
ECC	: École Conventionnée Catholique
ECK	: École Conventionnée Kimbanguiste
ECP	: École Conventionnée Protestante
EE	: Examen d'État
ELECTRE	: Élimination et choix traduisant la réalité
e-mail	: électronique mail
EPA	: École Privée Agréée
EPP	: Épreuve Pratique de Physique
EPST	: Enseignement Primaire Secondaire et Technique
EPT	: Éducation Pour Tous
ESU	: Enseignement Supérieur et Universitaire
f	: fréquence
g	: gramme
Gb	: gigabit
GBF	: Générateur Basse Fréquence
Gr.Ctrl	: Groupe contrôle
Gr.Exp	: Groupe expérimental
HS	: Humanité Scientifique
IA	: Intelligence Artificielle
IGE	: Inspection Générale de l'Enseignement
IP	: Inspection Provinciale
IPP	: Inspecteur Principal Provincial

IPPAS	: Inspecteur Principal Provincial Assistant du secondaire
ISP	: Institut Supérieur Pédagogique
ISTA	: Institut Supérieur de Techniques Appliquées
ITA	: Institut Technique Agricole
ITI	: Institut Technique Industriel
K	: kelvin
KC	: Kongo Central
Lat.	: Latitude
LINMAP	: LINear Programing Technique for Multidimensional Analysis of Preference
LOGIT	: Logistic Unit
Long.	: Longitude
LRP	: Laboratoire réel de physique
LVP	: Laboratoire virtuel de physique
Mb-Ng	: Mbanza-Ngungu
MCDA	: Multi-Criteria Decision Analysis
MEPSP	: Ministère de l'Enseignement Primaire, Secondaire et Professionnel
MEPST	: Ministère de l'Enseignement Primaire, Secondaire et Technique
MKfs	: Mètre-kilogramme-force-seconde
MKS	: Mètre-kilogramme-seconde
MKSA	: Mètre-kilogramme-seconde- ampère
ml	: millilitre
MONANOVA	: MONotonic ANalysis Of Variance
MP	: Math-physique
MS	: Microsoft
MSP	: Matrice de Sciences Physiques/Physique
MSPC	: Matrice de Sciences Physiques/Chimie
MTIC	: Matrice de Technologies de l'Information et de la Communication
NE	: Niveau d'Études
Net	: Network
OLS	: Ordinary Least Squares
PEKC2	: Province Éducationnelle du Kongo Central 2 (Cataractes)
PEKC3	: Province Éducationnelle du Kongo Central 3 (Lukaya)
PEn	: Profil d'Entrée
PEQPESU	: Projet d'Éducation pour la Qualité et la Pertinence des Enseignements aux niveaux Secondaire et Universitaire
PFD	: Principe fondamental de la dynamique
PKC	: Province du Kongo Central
PNP	: Programme National de Physique
PROBIT	: Probability Unit
PROMETHEE	: Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations
PROVED	: Province Éducationnelle / Responsable du secteur
PS	: Profil de Sortie
RDC	: République Démocratique du Congo
RFS	: Représentations finales scientifiques
RI	: Représentations initiales
RIO	: Représentations initiales-obstacles

SD	: Sous-domaine
SE	: Savoir essentiel
SERNAFOR	: Service National de la Formation
SI	: Système International d'unités de mesure
SP	: Statut Professionnel
SSE	: Socle de savoirs essentiels
STEAM	: Science, Technologie, Engineering, Arts and Mathématiques
STEM	: Science, Technology, Engineering, and Mathematics
SVT	: Sciences de la Vie et de la Terre
TAB	: Tabulation
TIC	: Technologies de l'Information et de la Communication
TICE	: Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UNESCO	: Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la science et la culture
UNIKIN	: Université de Kinshasa
UPN	: Université Pédagogique Nationale
UQAM	: Université du Québec à Montréal
UTA	: Unité Technique d'Appui
Util.	: Utilisabilité
VD	: Variable Dépendante
VI	: Variable Indépendante
VM	: Variable Modératrice
www	: World Wide Web
ZPD	: Zone Proximale de Développement

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. 1. Typologies et indicateurs de détection des RI	32
Tableau 1. 2. Causes et origines des RI les plus persistantes en mécanique	35
Tableau 2. 1. Constitution des groupes expérimentaux et de contrôle	46
Tableau 2. 2. Étapes de navigation de BRVL	58
Tableau 2. 3. Estimation du coût de développement de BRVL	59
Tableau 2. 4. Étude de l'influence de la masse sur la chute des corps	60
Tableau 2. 5. Organisation des groupes selon le plan Solomon	61
Tableau 2. 6. Configuration des groupes selon le plan Solomon	61
Tableau 2. 7. Critères sélectionnés pour l'évaluation des laboratoires virtuels	64
Tableau 2. 8. Caractéristiques des laboratoires virtuels en compétition	65
Tableau 2. 9. Profils fictifs générés par ORTHOPLAN	66
Tableau 2. 10. Résultats de l'analyse conjointe	67
Tableau 2. 11. Notes moyennes attribuées par les juges	67
Tableau 2. 12. Réglage des paramètres des méthodes MCDA	69
Tableau 2. 13. Calendrier des activités d'expérimentation	71
Tableau 2. 14. Répartition d'items par section	72
Tableau 2. 15. Structure du questionnaire d'opinion	79
Tableau 2. 16. Résumé de la grille d'évaluation de l'EPP	82
Tableau 2. 17. Tests statistiques utilisés	84
Tableau 3. 1. Représentations initiales-obstacles détectées en mécanique	89
Tableau 3. 2. Poids des critères issus de l'analyse conjointe	92
Tableau 3. 3. Table de décision	93
Tableau 3. 4. Évaluation des laboratoires virtuels utilisant les méthodes MCDA	93
Tableau 3. 5. Caractéristiques des variables modératrices	95
Tableau 3. 6. Fréquences des items au test initial (groupes 1 et 2, n=60)	96
Tableau 3. 7. Fréquences des items au posttest (n=120)	96
Tableau 3. 8. Scores moyens au posttest par groupe	97
Tableau 3. 9. Comparaisons multiples (Tukey HSD)	97
Tableau 3. 10. Évolution des scores test-posttest	98
Tableau 3. 11. Taux de rétention des bonnes réponses	98
Tableau 3. 12. Influence des variables modératrices sur les items	99
Tableau 3. 13. Évaluation des groupes expérimentaux	100
Tableau 3. 14. Synthèse par catégorie	101
Tableau 3. 15. Fréquences des items du questionnaire d'opinions	102
Tableau 3. 16. Influence des variables modératrices (régressions logistiques ordinales)	104
Tableau 3. 17. Analyse des performances des candidats	105
Tableau 3. 18. Analyse des groupes expérimentaux par genre	106
Tableau 3. 19. Correspondance objectifs-résultats	107
Tableau 4. 1. Synthèse de la validation des hypothèses	110
Tableau 4. 2. Originalité de la recherche par rapport à la littérature exploitée	115

LISTE DES FIGURES

Figure 2. 1. Schéma méthodologique global	40
Figure 2. 2. Cartes géographiques de Inkisi et de Kimpese	42
Figure 2. 3. Cartographie des écoles-cibles de la cité d’Inkisi	44
Figure 2. 4. Cartographie des écoles-cibles de la cité de Kimpese	45
Figure 2. 5. Page d'accueil de BRVL	50
Figure 2. 6. Organisation des sous-catégories	51
Figure 2. 7. Savoirs essentiels de la sous-catégorie "cinématique"	52
Figure 2. 8. Savoirs essentiels de la sous-catégorie "dynamique"	53
Figure 2. 9. Savoirs essentiels de la sous-catégorie "énergie mécanique"	54
Figure 2. 10. Présentation des items à propos de l'expérience sur les "éléments de base de la cinématique"	55
Figure 2. 11. Présentation de l'espace de simulation à propos de l'expérience sur les "éléments de base de la cinématique"	56
Figure 2. 12. Présentation des scores et du corrigé à propos de l'expérience sur les "éléments de base de la cinématique"	57
Figure 2. 13. Plan Solomon adapté à notre étude	63
Figure 2. 14. Schéma méthodologique de validation et d’acceptabilité de BRVL	70
Figure 2. 15. Flux de déroulement de l’EPP	81
Figure 3. 1. Processus de correction des RIO	91
Figure 3. 2. Analyse de sensibilité d’ELECTRE et PROMETHEE	94
Figure 3. 3. Moyenne obtenue par chaque groupe lors du posttest	97
Figure 3. 4. Moyenne sur la compréhension des concepts de base en mécanique	102
Figure 3. 5. Moyenne de la catégorie sécurité, coût et performance	103
Figure 3. 6. Moyenne de la catégorie évaluation des méthodes et procédés	103
Figure 3. 7. Moyenne de la catégorie correction des RIO	104

RÉSUMÉ DE LA THÈSE

Conception, validation et utilisation de Bazin-R VirtLab pour la correction des représentations initiales-obstacles et l'intégration de la pratique expérimentale en mécanique classique

Cette thèse valide l'efficacité pédagogique du laboratoire virtuel « Bazin-R VirtLab » (BRVL) pour corriger les représentations initiales-obstacles (RIO) en mécanique chez les apprenants de quatrième année de Sciences à Inkisi et Kimpese (RDC), via une approche sociogénético-constructiviste, et pour pragmatiser l'épreuve pratique de physique (EPP).

La validation de BRVL a suivi un double processus. D'abord, une évaluation multicritère (analyse conjointe, AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE), appuyée par des tests de cohérence (Kendall, Cronbach), a été menée auprès de 22 enseignants experts. Elle a classé BRVL parmi les laboratoires virtuels les plus performants pour l'enseignement de la mécanique, confirmant sa pertinence technique et curriculaire. Ensuite, un plan expérimental de Solomon à quatre groupes (deux expérimentaux utilisant BRVL, deux de contrôle suivant un enseignement traditionnel ; n=120) a mesuré l'impact réel de l'outil sur l'apprentissage. L'analyse comparative (tests de Kruskal-Wallis, ANOVA, comparaisons multiples de Tukey et Bonferroni) révèle que les apprenants des groupes expérimentaux ont significativement mieux corrigé leurs RIO que ceux des groupes contrôles. L'intervention a produit un effet très important ($|d \text{ de Cohen}| = 4,78$; $p < 0,05$), avec un gain relatif de 35,7% entre le test et le posttest (test t de Student apparié, $p < 0,001$). Enfin, l'expérimentation d'une EPP basée sur BRVL, utilisant une grille d'évaluation dédiée, s'est avérée concluante pour pragmatiser cette épreuve.

Mots-clés : Conception – Laboratoire virtuel – Mécanique – Multicritère – Pragmatisation – Représentations initiales-obstacles – Validation

ABSTRACT

Design, validation and implementation of Bazin-R VirtLab for the correction of initial obstacle-representations, aimed at integrating experimental practice in classical mechanics

This research investigates whether a virtual lab can improve how students learn physics and take their exams. Focusing on mechanics students in the DR Congo, the study examines the "Bazin-R VirtLab" (BRVL) tool.

The validation process had two stages. First, experts compared BRVL against five other virtual labs using several established evaluation methods (like AHP and ELECTRE). BRVL consistently scored among the highest, confirming its technical quality. Second, researchers tested its real-world impact. They divided 120 students into four groups: two used BRVL, and two continued with traditional teaching. After the lessons, the BRVL groups showed significantly fewer misconceptions about mechanics. The improvement was substantial, with students scoring 35.7% higher than at the start. Finally, a trial using BRVL for the national practical exam proved successful. It allowed for a standardized, hands-on test even in schools without physical lab equipment.

The study concludes that BRVL is an effective teaching tool. It corrects student misconceptions and offers a practical way to conduct equitable, standardized science exams in schools with limited resources.

Keywords: Conception – Virtual laboratory – Mechanics – Multicriteria evaluation – Pragmatization – Initial-Obstacle Representations – Validation.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

0.1. PROBLÉMATIQUE

0.1.1. Position du problème et état de la question

La physique est une science expérimentale dont l'enseignement requiert une mise en pratique concrète (Legendre, 1993 ; Vicovaro, 2023). Pourtant, en République Démocratique du Congo, la plupart des écoles secondaires ne disposent pas de laboratoires fonctionnels. Le Plan intérimaire de l'Éducation 2012-2014 (MEPSP-PIE, 2012) reconnaît cette difficulté, confirmée par des études récentes (Bazangika, 2024). Cette situation n'est pas isolée : au Cameroun, par exemple, plusieurs chercheurs dénoncent également l'insuffisance des infrastructures scientifiques (Mongo, 2015-2016 ; Ekwelle, 2009 ; Embolo, 2016).

Cette absence de laboratoires a deux conséquences majeures. D'une part, l'enseignement de la physique devient essentiellement théorique, privant les apprenants de l'expérimentation indispensable à la compréhension des phénomènes. D'autre part, elle affecte directement l'épreuve pratique de physique (EPP) de l'examen d'État, qui, faute de matériel, se déroule souvent de manière théorique ou improvisée, perdant ainsi son caractère pratique (Bazangika, 2022 ; Bazangika *et al.*, 2024).

Face à ce déficit, les laboratoires virtuels apparaissent comme une solution crédible. Leurs avantages sont bien documentés : coût réduit, sécurité et accessibilité (Ikolongo, 2012 ; Phyema, 2018a, 2018b ; Darrah *et al.*, 2014 ; Niandou *et al.*, 2017). Cependant, des limites persistent : problèmes de calibrage, résultats figés, absence de sensations tactiles et difficultés d'intégration curriculaire (Beaufils, 2001 ; Viennot, 1996 ; El Yaakoubi *et al.*, 2006 ; Van der Maren, 2004).

Parallèlement, la didactique des sciences a établi que les apprenants possèdent des représentations initiales (RI) avant tout enseignement formel. Une représentation est une idée préconçue de la réalité (Thouin, 1989 ; Sallaberry, 1991), un ensemble de connaissances empiriques que l'apprenant a constituées (Giordan, 1994). Bachelard (1993) insiste sur la nécessité de "changer de culture expérimentale", car ignorer ces représentations expose au risque de voir les nouveaux savoirs se confondre avec les anciens sans les remplacer (Thouin, 1989).

Toutes les représentations initiales ne constituent pas pour autant un frein à l'apprentissage. C'est lorsqu'elles entrent en contradiction avec les concepts scientifiques à acquérir et résistent à la correction qu'elles deviennent de véritables obstacles épistémologiques. Nous parlons alors de représentations initiales-obstacles (RIO). En mécanique, ces RIO sont particulièrement tenaces (Viennot, 1996 ; McDermott, 1984). Leur persistance s'explique par leur ancrage dans l'expérience quotidienne et sensorielle des apprenants. Les simulateurs pourraient favoriser leur évolution en permettant une confrontation entre conceptions initiales et phénomènes observés (Evrard & Plumet, 2022).

La littérature existante présente toutefois une lacune importante : rares sont les études qui combinent une validation technique rigoureuse d'un outil et une validation pédagogique expérimentale de son efficacité à corriger les RIO. De plus, aucun laboratoire virtuel n'a été spécifiquement conçu pour répondre aux réalités du contexte congolais (programme officiel,

RIO locales, contraintes infrastructurelles). C'est pour combler ce vide que nous avons conçu et validé le laboratoire virtuel « Bazin-R VirtLab » (BRVL).

0.1.2. Questions de la recherche

Les lignes précédentes soulignent les questions relatives aux défis technologiques dans le contexte congolais, au coût suffisamment élevé des équipements d'un laboratoire réel de physique et à la mauvaise représentation initiale qu'ont les apprenants en sciences.

0.1.2.1. Question principale

L'utilisation du laboratoire virtuel « Bazin-R VirtLab » (BRVL) corrige-t-elle significativement les représentations initiales-obstacles (RIO) en mécanique chez ses utilisateurs (apprenants de quatrième année de Sciences à Kimpese et Inkisi) ?

0.1.2.2. Questions spécifiques

1. Quelles sont les représentations initiales-obstacles (RIO) les plus fréquentes en mécanique chez les apprenants de quatrième année de Sciences à Kimpese et Inkisi ?
2. BRVL peut-il être validé par une analyse multicritère comme un outil pédagogique pertinent pour l'enseignement de la mécanique dans le contexte congolais ?
3. L'utilisation de BRVL selon une approche sociogénético-constructiviste produit-elle une correction des RIO supérieure à celle obtenue par un enseignement traditionnel ?
4. L'expérimentation de BRVL peut-elle servir à pragmatiser une épreuve pratique de physique (EPP) ?

0.2. HYPOTHÈSES DE LA RECHERCHE

0.2.1. Hypothèse principale

L'utilisation de BRVL corrige significativement les RIO en mécanique chez les apprenants de quatrième année de Sciences à Kimpese et Inkisi.

0.2.2. Hypothèses spécifiques

1. Les RIO les plus prévalentes en mécanique chez ces apprenants concernent les concepts fondamentaux de force, mouvement et énergie, et trouvent leur origine principale dans des expériences sensorielles quotidiennes et des conceptions vernaculaires locales.
2. BRVL obtient un classement optimal selon une analyse multicritère (AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE) comparé à cinq autres laboratoires virtuels, confirmant sa pertinence technique et curriculaire.
3. L'utilisation de BRVL couplée à l'approche sociogénético-constructiviste produit une amélioration significative du taux de correction des RIO ($|d \text{ de Cohen}| \geq 0,5$; $p < 0,05$) par rapport à l'enseignement traditionnel.
4. L'expérimentation de BRVL dans le cadre de l'EPP, utilisant une grille d'évaluation et un protocole adaptés, permet de pragmatiser cette épreuve en la rendant accessible même aux écoles dépourvues de laboratoire réel.

0.3. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

0.3.1. Objectif principal

L'objectif principal de cette étude est de valider scientifiquement l'efficacité pédagogique du laboratoire virtuel « Bazin-R VirtLab » (BRVL) dans la correction des représentations initiales-obstacles (RIO) en mécanique chez les apprenants de quatrième année de Sciences à Kimpese et Inkisi, et d'évaluer son potentiel pour pragmatiser l'épreuve pratique de physique (EPP) à l'examen d'État.

0.3.2. Objectifs spécifiques

Nous poursuivons comme objectifs spécifiques :

0. Identifier les RIO récurrentes en mécanique chez la population cible, en documentant leurs manifestations et leurs origines potentielles (socioculturelles, cognitives, didactiques) via des diagnostics préalables ;
1. Valider techniquement BRVL par une analyse multicritère auprès d'enseignants experts, en évaluant sa conformité curriculaire, sa capacité à corriger les RIO, sa construction des savoirs et son utilisabilité ;
2. Mesurer expérimentalement l'impact de BRVL et de l'approche sociogénético-constructiviste sur la correction des RIO, en comparant les performances des groupes expérimentaux à celles des groupes témoins ;
3. Tester expérimentalement un scénario de pragmatisation de l'EPP s'inspirant des activités développées avec BRVL, afin d'en mesurer l'impact potentiel sur la performance des apprenants à cette épreuve.

0.4. RÉSULTATS ATTENDUS

0.4.1. Résultat principal

Cette recherche vise à valider scientifiquement l'efficacité pédagogique du laboratoire virtuel « Bazin-R VirtLab » (BRVL) dans la correction des représentations initiales-obstacles (RIO) en mécanique chez les apprenants de quatrième année de Sciences à Kimpese et Inkisi, et à démontrer son potentiel pour pragmatiser l'épreuve pratique de physique (EPP) à l'examen d'État.

0.4.2. Résultats spécifiques

1. **Identification des RIO** : Les principales représentations initiales-obstacles en mécanique chez la population cible seront répertoriées et analysées, permettant de documenter leurs manifestations et leurs origines (socioculturelles, cognitives, didactiques).
2. **Validation technique de BRVL** : Le laboratoire virtuel sera techniquement validé par une analyse multicritère auprès d'enseignants experts. Comparé à cinq autres laboratoires virtuels, BRVL devrait être classé parmi les plus performants en termes de conformité curriculaire, de correction des RIO, de construction des savoirs et d'utilisabilité.

3. **Efficacité pédagogique démontrée** : L'expérimentation selon le plan de Solomon devrait révéler que les apprenants des groupes expérimentaux (utilisant BRVL avec l'approche sociogénético-constructiviste) corrigent significativement mieux leurs RIO que ceux des groupes contrôles. L'intervention produirait une taille d'effet importante avec un gain relatif notable entre le test et le posttest.
4. **Pragmatisation de l'EPP** : L'essai d'une épreuve pratique de physique basée sur BRVL, utilisant une grille d'évaluation et un protocole adaptés, devrait s'avérer concluant. Cette expérimentation démontrerait la faisabilité d'une EPP véritablement pratique, accessible même aux écoles dépourvues de laboratoire réel.
5. **Satisfaction des utilisateurs** : Les enseignants et apprenants des groupes expérimentaux exprimeront vraisemblablement une satisfaction élevée concernant l'utilisation de BRVL, confirmant son acceptabilité et son potentiel d'intégration durable dans le programme de physique.

0.5. MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

La démarche méthodologique adoptée dans cette thèse s'articule autour de la validation d'un outil pédagogique — le laboratoire virtuel « Bazin-R VirtLab » (BRVL) — selon un double processus : une validation technique par des experts et une validation pédagogique par l'expérimentation auprès d'apprenants. Cette section décrit l'architecture générale de la recherche, les populations concernées, les instruments développés et les traitements analytiques mis en œuvre.

0.5.1. Ancrage théorique et approche générale

Cette recherche s'inscrit dans une perspective hypothético-déductive (Mace & Pétry, 2010) : à partir d'un problème identifié — la persistance des représentations initiales-obstacles en mécanique et l'absence de laboratoires dans les écoles congolaises — nous avons formulé des hypothèses que nous avons ensuite soumises à l'épreuve des faits par une expérimentation contrôlée.

Sur le plan épistémologique, nous nous sommes appuyé sur le socioconstructivisme (Vygotsky, 1978 ; Doise & Mugny, 1981), qui postule que les connaissances se construisent par l'interaction sociale et la confrontation des points de vue. Cette théorie a guidé la conception de BRVL et des scénarios pédagogiques associés, où les apprenants travaillent en groupe pour confronter leurs représentations et co-construire des savoirs scientifiquement validés. Nous y avons intégré une dimension sociogénétique (Moscovici, 1961 ; Kalampalikis & Apostolidis, 2016), sensible à l'influence du contexte socioculturel dans la formation des représentations, afin de tenir compte des spécificités des milieux d'étude (Inkisi et Kimpese) (Doise & Mugny, 1981).

0.5.2. Population, échantillon et panel d'experts

L'étude a été menée dans deux cités de la province du Kongo Central : Inkisi et Kimpese. Le choix de ces sites répond à un double critère : ils concentrent un nombre significatif d'écoles organisant l'option Sciences, et ils présentent des réalités socio-éducatives contrastées (accès à l'électricité et équipements.), permettant d'éprouver la robustesse de BRVL dans des contextes variés.

a. Population et échantillon des apprenants

La population mère était constituée de **385** apprenants inscrits en quatrième année de Sciences dans les 22 écoles scientifiques de ces deux localités (annexe I). Selon les tables randomisées de Morgan et Krejcie (1970), notre échantillon a été de **192** apprenants. Pour la préenquête, un échantillon de **72** apprenants a été constitué par tirage aléatoire simple. Cette phase visait à identifier les représentations initiales-obstacles les plus fréquentes en mécanique et à orienter la conception de BRVL.

Pour l'expérimentation proprement dite, nous avons sélectionné **120** apprenants répartis en quatre groupes de 30, conformément au plan de Solomon (Van der Maren, 2004) :

- **Groupe expérimental 1** (Institut Kilombo, Inkisi) : bénéficiant de BRVL et soumis au test ;
- **Groupe contrôle 1** (Collège Kubama, Inkisi) : enseignement traditionnel avec laboratoire réel, soumis au test ;
- **Groupe expérimental 2** (Institut Manzonzi, Kimpese) : bénéficiant de BRVL sans test préalable ;
- **Groupe contrôle 2** (Institut Nzolo, Kimpese) : enseignement traditionnel avec laboratoire réel, sans test préalable.

Ce dispositif permet de contrôler les effets de la mesure préalable (test) et d'isoler l'impact réel de l'intervention sur la correction des RIO.

b. Panel d'experts pour la validation technique de BRVL

La validation technique de BRVL a mobilisé un panel distinct de **22 enseignants de physique** exerçant dans les mêmes établissements. Ces enseignants, tous expérimentés (au moins trois ans d'ancienneté dans l'enseignement de la physique en quatrième année), ont été sollicités en tant qu'**experts-évaluateurs** et non comme sujets de l'expérimentation. Leur rôle consistait à :

- évaluer la pertinence pédagogique de BRVL et de cinq autres laboratoires virtuels selon quatre critères (conformité curriculaire, construction des savoirs, correction des RIO, utilisabilité) ;
- participer à l'analyse conjointe (Green & Srinivasan, 1990) pour la pondération des critères ;
- contribuer à l'analyse multicritère (AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE) ayant abouti au classement de BRVL.

Ce panel d'experts a également été associé à la phase de test de BRVL (validation externe) et à la formation spécifique sur l'approche sociogénético-constructiviste pour les enseignants des groupes expérimentaux.

c. Distinction méthodologique

Il importe de souligner que seuls les **apprenants** constituent les unités statistiques de cette recherche. Les mesures d'efficacité pédagogique (taux de correction des RIO, comparaisons inter-groupes, tailles d'effet) portent exclusivement sur leurs performances. Les enseignants, en tant qu'experts-évaluateurs, interviennent en amont pour valider techniquement l'outil, mais ne sont pas intégrés dans les analyses statistiques relatives à la correction des RIO.

0.5.3. Déroulement de la recherche

La recherche s'est déroulée en cinq phases distinctes, de 2022 à 2025.

- **Phase 1 : Préenquête et diagnostic (2022-2023)**

Une préenquête a été menée auprès des 22 chefs d'établissement, des 22 enseignants de physique et des 72 apprenants de troisième année (futurs finalistes). Des entretiens semi-directifs et des questionnaires exploratoires ont permis d'identifier les représentations initiales-obstacles les plus récurrentes en mécanique, ainsi que les attentes et contraintes du terrain. Cette phase a également servi à sélectionner les dix savoirs essentiels qui seraient ciblés par BRVL (cinématique, dynamique, énergie mécanique). Les résultats ont fait l'objet d'une publication (Bazangika *et al.*, 2024).

- **Phase 2 : Conception et développement de BRVL (2023-2024)**

Sur la base des données recueillies, nous avons conçu un laboratoire virtuel de physique spécifiquement adapté au programme congolais et aux RIO identifiées. Le développement a suivi une méthodologie itérative (Schild *et al.*, 2021), associant une équipe pluridisciplinaire (physiciens, didacticiens, informaticiens, linguistes). Les technologies retenues (Blender pour la modélisation 3D, Babylon.js pour l'interactivité, SQLite pour la base de données) l'ont été pour leur robustesse et leur compatibilité avec des équipements modestes. BRVL fonctionne hors ligne, sur ordinateur comme sur smartphone, afin de s'adapter aux contraintes infrastructurelles des sites étudiés.

- **Phase 3 : Tests et ajustements (septembre-octobre 2024)**

BRVL a été soumis à trois niveaux de tests. Des tests unitaires ont d'abord été réalisés en laboratoire pour corriger les bugs techniques. Une validation externe a ensuite été confiée à deux experts indépendants (un physicien et un informaticien) qui ont évalué l'ergonomie et la pertinence scientifique des simulations. Enfin, une phase pilote a été menée dans une classe réelle (Lycée Mfuki, Inkisi) auprès de 30 apprenants, permettant d'ajuster les scénarios pédagogiques, les fiches d'exploitation et la durée des séances.

- **Phase 4 : Formation des enseignants (octobre 2024)**

Les 22 enseignants de la population ont été formés à l'utilisation des six laboratoires virtuels en compétition (Algodoo, BRVL, LVP, Physic virtual lab, Physion, Virtual Lab) par un expert indépendant en TICE. Une formation spécifique a ensuite été dispensée aux deux enseignants des groupes expérimentaux sur l'approche sociogénético-constructiviste et l'utilisation pédagogique de BRVL (fiches de préparation, gestion des groupes, exploitation des conflits sociocognitifs).

- **Phase 5 : Expérimentation et collecte des données (octobre 2024 - janvier 2025)**

L'expérimentation a suivi le calendrier scolaire des établissements. Les groupes expérimentaux 1 et 2 ont utilisé BRVL pour l'enseignement de dix leçons de mécanique, selon les fiches pédagogiques conçues à cet effet. Les groupes contrôles ont suivi un enseignement traditionnel, avec utilisation du laboratoire réel pour les groupes 1 et 2 (Collège Kubama et Institut Nzolo). Un test d'évaluation des connaissances a été administré aux groupes expérimental 1 et contrôle 1 en début de processus. Un posttest identique a été soumis aux quatre groupes à l'issue de l'enseignement. Un test d'opinion a également été proposé aux apprenants des groupes expérimentaux pour évaluer leur satisfaction et leur perception de BRVL. Enfin, un essai de passation de l'EPP avec BRVL a été organisé auprès d'un échantillon de 24 apprenants (12 par groupe expérimental), selon un protocole et une grille d'évaluation spécialement conçus.

0.5.4. Instruments de collecte des données

Sept instruments principaux ont été élaborés par un **focus group** réunissant deux physiciens, un inspecteur de physique, un informaticien, un psychopédagogue et un linguiste, garantissant ainsi la validité de contenu des outils.

1. **Questionnaire – chefs d'établissement** (22 items) : évaluation indirecte des compétences pédagogiques des enseignants et des conditions d'enseignement de la physique.
2. **Questionnaire – enseignants (préenquête)** (52 items) : recueil des pratiques déclarées, des difficultés rencontrées et des attentes vis-à-vis des laboratoires virtuels.
3. **Questionnaire – apprenants (préenquête)** (56 items) : identification des RIO et analyse de leurs origines (pratiques culturelles, usage des TIC, etc.).
4. **Test de connaissances – apprenants (enquête)** (30 items) : évaluation des acquis en mécanique avant et après l'intervention.
5. **Posttest de connaissances – apprenants (enquête)** (30 items) : identique au test pour permettre la comparaison.
6. **Questionnaire d'opinion – apprenants (enquête)** (32 items) : satisfaction des apprenants des groupes expérimentaux concernant BRVL et l'approche pédagogique.
7. **Grille d'évaluation de l'EPP** (27 items) : évaluation des compétences expérimentales des apprenants lors de l'essai de l'épreuve pratique.

Tous les instruments ont été soumis à une validation statistique préalable (test-retest, cohérence interne, clarté des items).

0.5.5. Traitement et analyse des données

Les données recueillies ont fait l'objet de traitements différenciés selon leur nature.

Pour la validation technique de BRVL, nous avons mobilisé **huit méthodes d'aide à la décision multicritère** (MCDA) : AHP (Saaty, 1980), TOPSIS (Hwang & Yoon, 1981), CAHP (Ngoie *et al.*, 2025), ELECTRE I, II et TRI (Roy, 1968), PROMETHEE I et II (Brans & Vincke, 1985). Les poids des critères (conformité curriculaire, construction des savoirs, correction des RIO, utilisabilité) ont été déterminés par **analyse conjointe** (Green & Srinivasan, 1990) à partir de l'évaluation de 22 enseignants. Une analyse de sensibilité a été réalisée pour vérifier la robustesse des classements face aux variations des paramètres.

Pour la validation pédagogique, les données issues des tests et posttests ont été analysées à l'aide du logiciel SPSS 23. Après vérification des conditions d'application (tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov et Shapiro-Wilk), nous avons procédé à :

- des **tests paramétriques** (t de Student pour échantillons appariés et indépendants, ANOVA) lorsque les conditions étaient remplies ;
- des **tests non paramétriques** (Mann-Whitney, Kruskal-Wallis, Wilcoxon) en complément ;
- des **comparaisons multiples** avec correction de Bonferroni et tests post-hoc de Tukey ;
- des **mesures de taille d'effet** (d de Cohen) pour quantifier l'impact de l'intervention.

Le **plan de Solomon** a permis d'analyser séparément l'effet du test, l'effet de l'intervention et leurs interactions éventuelles.

Les données qualitatives (entretiens, questions ouvertes) ont fait l'objet d'une analyse thématique de contenu, avec double codage par deux chercheurs pour garantir la fiabilité de l'interprétation.

0.6. CHOIX, INTÉRÊT ET ENJEUX DE LA RECHERCHE

Les aspects innovateurs de cette recherche résident à la fois dans la démarche méthodologique (diagnostic du problème), dans les concepts mis en exergue et dans les solutions novatrices proposées. L'intégration de l'aspect informatique ajoute une certaine modernité dans cette recherche purement expérimentale de la physique. La validation de cet outil équivaut à la minimisation de l'écart ou de la différence avec le laboratoire réel et sa substitution éventuelle dans certaines conditions (absence du laboratoire, soucis d'intégration des TIC, etc.).

S'agissant du chercheur que nous sommes, le choix sur les représentations initiales se justifie par son caractère sensible et incontournable dans le processus enseignement-apprentissage. Aussi, au vu que ce champ n'est pas suffisamment exploré dans notre pays, la RDC.

L'intérêt de cette recherche réside dans son apport en termes de résultats et dans ses orientations pour l'enseignement de la physique en ce XXI^e siècle.

Pour les bénéficiaires (partenaires éducatifs de l'ESPT, enseignants de physique et apprenants de 4^e année de sciences), cette recherche permet de redorer l'aspect expérimental de la physique, c'est-à-dire sa pragmatisation, et de résoudre la question sur la dématérialisation des laboratoires réels de physique dont l'équipement coûte énormément cher. Ainsi, elle permet à l'État congolais de faire des économies avec l'utilisation des TIC et de déceler les problèmes majeurs de représentations initiales-obstacles des apprenants en mécanique en vue d'une éventuelle correction. Si les classes de 1^{ère} à 3^e années de Sciences posent les fondations essentielles de la culture et de la méthode expérimentale, la 4^e année de Sciences représente un palier supérieur où l'apprenant commence véritablement à "penser et agir comme un physicien". L'avantage de travailler avec ce niveau réside dans la possibilité d'explorer la physique dans sa complexité et sa richesse, avec des jeunes ayant déjà acquis les réflexes de base et une maturité scientifique leur permettant de se confronter à des défis intellectuels et pratiques plus stimulants. Aussi, à ce niveau, les représentations initiales sont moins naïves et supposées être moindres ou déjà corrigées depuis les classes antérieures.

Pour la science, une approche de plus suffit pour l'enrichir et apporter des pistes nouvelles de recherche. Cette étude met aussi en lumière un plan d'équipement des écoles organisant l'option Sciences en matériels informatiques adéquats, en laboratoires virtuels et en kits solaires et, enfin, un plan de vulgarisation des laboratoires virtuels de physique, de son utilisation et de son intégration dans le déroulement de l'EPP à l'EE pour le développement des compétences pratiques, la minimisation des dépenses dans l'équipement des écoles scientifiques en matériels de laboratoire de physique, la redynamisation de l'option Sciences et la formation des cadres compétitifs pour l'épanouissement du système éducatif congolais.

0.7. DÉLIMITATION SPATIOTEMPORELLE

Dans le temps, l'étude s'est étendue sur quatre années civiles, de 2022 à 2025. Comme il a fallu concevoir, tester et évaluer la validité de l'outil pédagogique technologique de base de notre recherche avant de l'exploiter sur le terrain selon le planning des enseignants des groupes expérimentaux et ceux des groupes contrôles, il nous a été nécessaire d'attendre durant tout ce temps pour obtenir des résultats probants, sans compter le dépouillement des résultats, leur analyse et leur interprétation jusqu'à l'écriture de cette version finale.

Dans l'espace et usant de la liberté de choix et de décision, nous avons joué sur le facteur de proximité entre notre milieu de vie habituel et les milieux qui ont servi d'enquête sur le terrain, dont Kimpese et Inkisi où nous trouvons des écoles possédant un laboratoire réel de physique. Cette proximité a permis une enquête aisée grâce à nos relations interpersonnelles avec les acteurs pédagogiques de ces milieux. Cela a facilité le coût des déplacements pour une bonne supervision des activités ainsi prévues. Ces deux zones sont à accès limité à l'électricité, situées dans deux différentes provinces éducationnelles (Proved), respectivement Cataractes et Lukaya.

S'agissant de la portée du sujet lui-même, nous nous sommes limité à la validation et à l'utilisation de cet outil pédagogique technologique pour corriger les RIO décelées dans dix savoirs essentiels de la catégorie mécanique en 4^e Sciences de quatre écoles (groupes), dont deux de Kimpese et deux d'Inkisi, conformément à notre plan expérimental.

0.8. ORGANISATION DE LA THÈSE

La thèse s'articule en quatre chapitres. Le premier pose les fondements théoriques : socioconstructivisme, représentations initiales-obstacles en mécanique et laboratoires virtuels. Le deuxième détaille la méthodologie : sites d'étude, population, plan expérimental de Solomon, instruments de collecte et méthodes d'analyse. Le troisième présente les résultats obtenus. Le quatrième discute de ces résultats, expose les limites et propose des recommandations. Une conclusion générale, les références bibliographiques et les annexes complètent le document.

Chapitre 1. REVUE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE

Ce chapitre propose une revue des travaux scientifiques qui éclairent notre objet de recherche. Il s'articule autour de dix sections. La première pose les fondements socioconstructivistes de l'apprentissage. La deuxième aborde la sociogénétique en tant que cadre théorique pour l'étude des représentations. La troisième présente différentes approches innovantes au service du processus d'enseignement-apprentissage. La quatrième suit le cheminement qui mène de l'évaluation à la validation. La cinquième est consacrée à l'analyse du plan expérimental de Solomon. La sixième explore la question des représentations initiales en didactique des sciences. La septième dresse un état des lieux des laboratoires virtuels. La huitième examine l'EPP dans le contexte congolais. La neuvième met en lumière l'apport de l'analyse multicritère pour la validation des outils pédagogiques. Enfin, la dixième section replace la recherche dans son contexte institutionnel.

1.1. FONDEMENTS SOCIOCONSTRUCTIVISTES DE L'APPRENTISSAGE

1.1.1. Épistémologie de l'apprentissage : Le processus d'équilibration

Par « théorie de l'apprentissage », il convient d'entendre une tentative de réponse au « pourquoi » fondamental de l'acquisition des connaissances. Dans cette perspective, l'apprentissage ne saurait être réduit à une simple accumulation d'informations ; il procède d'un mécanisme profond de **déséquilibre-équilibration** (Piaget, 1975). Lorsqu'un apprenant se trouve confronté à une situation nouvelle qui entre en contradiction avec ses représentations antérieures, ses structures cognitives existantes se révèlent inopérantes. Cette perturbation génère un déséquilibre intellectuel qui, pour être surmonté, exige une réorganisation des schèmes de pensée. C'est précisément dans ce mouvement de restauration d'un équilibre supérieur que réside l'apprentissage véritable.

1.1.2. Le socioconstructivisme : Une synthèse de l'individuel et du social

Le **socioconstructivisme** prolonge et enrichit cette conception en postulant que les connaissances ne se construisent pas dans l'isolement mental du sujet, mais bien **activement, au travers d'interactions soutenues avec l'environnement social** (Vygotsky, 1978). Cette orientation théorique, à la fois explicative et conceptuelle, ambitionne de rendre compte des mécanismes pluriels – cognitifs, sociaux et affectifs – qui président à l'apprentissage. Elle permet ainsi de distinguer et d'articuler différentes modalités d'acquisition : le conditionnement (béhaviorisme), les processus d'assimilation et d'accommodation (constructivisme piagétien), et enfin l'interaction sociale médiatisée (socioconstructivisme) (Brougère, 2009 ; Phyema, 2018b).

Plus spécifiquement, le socioconstructivisme se présente comme une **théorie pédagogique** qui place les interactions sociales et le contexte culturel au cœur de l'apprentissage actif (Cloes *et al.*, 2014). Il induit une véritable révolution dans la posture enseignante et dans l'organisation des situations didactiques. L'apprentissage y est conçu comme :

- un processus collaboratif fondé sur la confiance mutuelle ;
- une démarche d'autoapprentissage où l'apprenant devient le sujet central de sa propre formation ;
- une recherche active de solutions face à des situations-problèmes ;
- une exploitation systématique des expériences vécues (apprentissage expérientiel) ;
- une participation à l'évaluation (autoévaluation) ;
- un ancrage sociétal où l'enseignant vise délibérément un impact du cours sur la réalité extrascolaire (Sensevy *et al.*, 2020).

Dans ce cadre, l'enseignant doit amener ses apprenants à **analyser sagement les situations d'apprentissage** en identifiant avec rigueur l'objet du savoir, ses orchestrateurs, ses opérateurs et les produits qui en découlent (Berger, 2017 ; Dehon *et al.*, 2016). Il s'agit fondamentalement d'une **construction de la pensée adossée au réel**, mobilisant des exemples issus de la vie courante ou sociale (Cloes *et al.*, 2010). Ainsi que le formulent Rimars (2015, p.26) et Reginald (2023), le socioconstructivisme « *stipule que les apprenants construisent en groupe leurs savoirs et réalisent des opérations mentales nécessaires liées à leurs environnements socioculturels* ». L'enseignant, dans cette configuration, n'est plus un transmetteur mais le **médiateur** entre l'apprenant et la connaissance.

1.1.3. Le conflit sociocognitif : Moteur et conditions de l'apprentissage

1.1.3.1. Étapes

La mise en œuvre fructueuse de cette théorie requiert un élément déclencheur essentiel : le **conflit sociocognitif**. Cette notion désigne une situation d'interaction sociale où des individus, confrontés à une même tâche, expriment des points de vue divergents, générant ainsi un déséquilibre cognitif propice à la restructuration des connaissances (Buchs *et al.*, 2008 ; Doise & Mugny, 1981 ; Molinari *et al.*, 2021 ; Phyema, 2018b).

La dynamique de résolution d'un tel conflit s'articule autour de plusieurs étapes complémentaires :

- la déconstruction des connaissances initiales, qui met en évidence les limites des logiques intuitives ;
- la confrontation entre pairs, où des groupes défendent des hypothèses opposées ;
- le questionnement socratique, qui pousse à l'explicitation et à la justification des raisonnements ;
- la réflexion métacognitive, qui invite à prendre conscience de ses propres processus de pensée ;
- la collaboration obligatoire dans la résolution des questions posées (Astolfi *et al.*, 2008 ; Vanhoolandt *et al.*, 2023).

Cependant, le conflit sociocognitif ne produit pas automatiquement des bénéfices cognitifs. Son efficacité est subordonnée à un ensemble de conditions rigoureuses qu'il convient de réunir délibérément.

1.1.3.2. *Composition et climat du groupe*

La première condition tient à la **structure du groupe d'apprenants**. Pour que les confrontations soient réellement productives, les groupes doivent être **hétérogènes**, associant délibérément des élèves forts, moyens et faibles (Boho *et al.*, 2021). Mais cette hétérogénéité ne suffit pas : elle doit s'accompagner d'un **équilibre relationnel** tel que règne un climat de confiance et de coopération. Sans cette sécurité affective, les désaccords risquent d'être vécus comme des menaces personnelles plutôt que comme des opportunités d'apprentissage.

1.1.3.3. *Nature des tâches*

La seconde condition concerne les **tâches proposées**. Celles-ci doivent présenter un degré de **complexité suffisant** pour rendre impossible leur résolution par un apprenant isolé. C'est précisément cette complexité qui rend nécessaire la confrontation des points de vue et la co-construction des connaissances. Une tâche trop simple ne générerait aucun conflit ; une tâche trop difficile sans étayage approprié conduirait au découragement (Melo-Pfeifer, 2019).

1.1.3.4. *Médiation et régulation*

La troisième condition, peut-être la plus déterminante, touche à la **qualité de l'encadrement pédagogique**. L'enseignant-médiateur doit veiller à ce que la régulation des échanges soit prioritairement **épistémique** – c'est-à-dire centrée sur les exigences de la tâche et la validité des savoirs – plutôt que **relationnelle** – visant un accord social de pure forme qui éluderait le conflit véritable (Boho *et al.*, 2021 ; Dédès & Ravanis, 2007). Cette distinction est cruciale : une régulation mal orientée peut stériliser le conflit en privilégiant l'harmonie du groupe au détriment de la rigueur intellectuelle.

1.1.4. **Le Rôle médiateur de l'enseignant et la zone proximale de développement**

1.1.4.1. *Présentation*

Lorsque ces conditions sont réunies, le conflit sociocognitif peut alors déployer pleinement ses effets. La résolution du déséquilibre initial aboutit à un **progrès cognitif** ou **changement conceptuel**, qui se manifeste par l'institutionnalisation et l'ancrage de nouvelles connaissances. Ce processus de réorganisation ou de co-construction (correction des représentations initiales) restaure un équilibre cognitif supérieur, intégrant les apports de la confrontation sociale (Astolfi *et al.*, 2008).

Ce faisant, l'enseignant assume pleinement sa fonction de **médiateur** (Bruner, 1997). Il ne se contente pas d'organiser des situations d'apprentissage ; il intervient activement dans ce que Vygotsky (1978) nommait la **zone proximale de développement** – cet espace dynamique situé entre ce que l'apprenant peut réaliser seul et ce qu'il peut accomplir avec l'assistance d'autrui. C'est dans cette zone que la médiation devient opérante, étayant les efforts de l'apprenant sans se substituer à sa réflexion, et lui permettant d'intérioriser progressivement des compétences d'abord exercées collectivement.

Si le conflit sociocognitif en fournit le moteur, c'est dans l'espace dynamique de la ZPD que s'opère réellement la transformation des potentiels en acquisitions effectives. Loin de se réduire à une simple "zone d'aide", la ZPD, dans son acception la plus riche, constitue le

lieu même de la **médiation sémiotique** – ce processus par lequel les fonctions psychologiques supérieures (attention volontaire, mémoire logique, pensée conceptuelle) émergent de l'activité collective pour être intériorisées par l'individu.

1.1.4.2. Redéfinition de la ZPD : Au-delà de l'écart

La définition classique de Vygotsky (1978) – « *la distance entre le niveau de développement actuel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout les problèmes seul et le niveau de développement potentiel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout les problèmes avec l'aide d'adultes ou en collaboration avec des pairs plus capables* » – mérite d'être dépliée.

La ZPD n'est pas un espace statique, mais une **propriété émergente de l'interaction**. Elle n'existe pas *a priori* dans la tête de l'apprenant ; elle se *crée* et se *négoce* dans l'ici-et-maintenant de la relation pédagogique. C'est un champ de forces où se rencontrent :

- **L'histoire cognitive de l'apprenant** : ses conceptions intuitives, ses "représentations initiales" (les RIO mentionnées plus haut), ses acquis stabilisés (le "développement actuel").
- **La structure épistémique du savoir visé** : la logique interne de la notion à enseigner, ses obstacles conceptuels, ses points de complexité.
- **L'étayage du médiateur** (enseignant ou pair) : un système d'interventions stratégiques destiné à se rendre progressivement inutile.

1.1.4.3. Le concept d'étayage (Scaffolding) : Une architecture de l'aide

C'est Jerome Bruner (1997) qui a opérationnalisé le concept vygotkien à travers la notion d'**étayage** (*scaffolding*). Ce terme métaphorique désigne un processus interactif finement calibré par lequel le médiateur contrôle les éléments de la tâche qui excèdent initialement les capacités de l'apprenant, lui permettant ainsi de concentrer ses ressources sur les composantes qu'il peut maîtriser. L'étayage efficace se caractérise par six fonctions principales :

1. L'enrôlement : Susciter et maintenir l'adhésion de l'apprenant aux exigences de la tâche.
2. La réduction des degrés de liberté : Simplifier la tâche en en réduisant la complexité, pour la rendre accessible.
3. Le maintien de l'orientation : Garder l'apprenant focus sur l'objectif, l'empêcher de « vagabonder » ou de se décourager.
4. La signalisation des caractéristiques dominantes : Attirer l'attention sur les aspects les plus pertinents de la situation pour sa résolution.
5. Le contrôle de la frustration : Gérer la dimension affective pour que l'erreur reste formatrice et non paralysante.
6. La démonstration ou « présentation de modèles » : Montrer une solution idéale pour que l'apprenant puisse l'imiter et se l'approprier, non pas comme une copie, mais comme une forme achevée à comprendre (Bruner, 1990).

La finesse de l'étayage réside dans son **caractère temporaire et réversible**. L'enseignant-médiateur doit constamment ajuster son aide en fonction des progrès de l'apprenant, pratiquant ce que les didacticiens nomment le « **retrait progressif d'étayage** » (*fading*). L'objectif ultime est le **transfert de compétence** : ce que l'apprenant fait aujourd'hui avec aide, il devra le faire seul demain.

1.1.4.4. La ZPD comme espace de négociation et d'intersubjectivité

Une conception avancée de la ZPD insiste sur la construction d'une **intersubjectivité**. Pour que l'aide soit efficace, médiateur et apprenant doivent parvenir à une définition partagée de la situation. Ce processus, appelé « **construction de l'intersubjectivité** » (Rogoff, 1990), implique que l'adulte ne se contente pas de "donner" une solution, mais qu'il cherche à comprendre la logique de l'apprenant pour intervenir à partir d'elle. L'enseignant doit se faire une « théorie de l'esprit » de son apprenant, inférer ses difficultés et ses représentations pour ajuster son étayage.

La ZPD devient alors un **espace dialogique** où se négocient les significations. C'est dans ce dialogue que le langage joue son rôle central de médiateur sémiotique : il permet de passer du discours social (échanges avec autrui) au discours intérieur (pensée verbale), outil fondamental de l'autorégulation et de la réflexion métacognitive.

1.1.4.5. La Double dimension de la ZPD : cognitive et affective

Trop souvent réduite à sa seule dimension cognitive, la ZPD possède une **épaisseur affective et motivationnelle** cruciale. Un apprenant n'investit sa ZPD que s'il se sent suffisamment en sécurité pour prendre le risque de l'erreur et de l'exposition de son incompréhension. La **qualité de la relation** avec le médiateur – la confiance mutuelle évoquée plus haut – est un déterminant majeur de l'efficacité du travail dans la zone.

C'est ici que la notion de « **conflit sociocognitif** » (Doise & Mugny, 1981) rencontre celle de ZPD. Le conflit généré par la divergence des points de vue crée une **dissonance** que le groupe doit résoudre. Mais c'est dans l'espace protégé de la ZPD, où l'enseignant ou le pair plus compétent assure un étayage bienveillant, que cette dissonance peut être transformée en progrès cognitif sans générer d'anxiété paralysante.

1.1.4.6. Implications pour la pratique : Vers une ingénierie de la ZPD

Pour l'enseignant-médiateur, opérationnaliser la ZPD implique un travail fin d'**ingénierie didactique** qui se décline en plusieurs exigences :

- **Diagnostic continu** : Évaluer non seulement ce que l'apprenant sait faire seul, mais surtout *comment* il échoue, quelles sont ses stratégies, où se situent les blocages. C'est une évaluation *dynamique* et non statique.
- **Conception de tâches à complexité variable** : Proposer des situations qui permettent des entrées multiples, afin que chaque apprenant puisse s'y engager à son niveau et progresser vers plus de complexité.
- **Articulation travail individuel / collectif** : Organiser des allers-retours entre le travail en groupes hétérogènes (source de conflits sociocognitifs) et des moments de médiation plus directe avec l'enseignant ou de tutorat entre pairs, pour exploiter la ZPD à différents niveaux.
- **Métacognition explicite** : Aider les apprenants à prendre conscience de leur propre progression, de ce qu'ils peuvent faire seuls désormais et de ce pour quoi ils ont encore besoin d'aide. Il s'agit de les amener à **co-gérer leur propre ZPD**.

1.1.4.7. Le triptyque de l'apprentissage socioconstructiviste

Ainsi, dans une perspective vygotkienne pleinement assumée, l'apprentissage en contexte scolaire peut se conceptualiser comme l'articulation dynamique d'un **trptyque** :

1. Un **moteur** : le **conflit sociocognitif**, qui crée la nécessité du dépassement.
2. Un **espace** : la **Zone Proximale de Développement**, où ce dépassement devient possible grâce à la médiation d'autrui.
3. Un **processus** : l'**étayage**, qui est l'opérationnalisation fine et contextuelle de cette médiation.

C'est dans la maîtrise conjointe de ces trois dimensions que réside la compétence professionnelle de l'enseignant socioconstructiviste. Il ne lui suffit pas de provoquer des confrontations ; il doit aussi savoir **habiter la ZPD** de ses apprenants, y tisser des liens, y poser des échafaudages provisoires, et surtout, savoir les démonter au moment opportun pour laisser l'apprenant marcher seul sur un terrain devenu sien.

1.1.5. Implications pour le dispositif BRVL

C'est précisément ce cadre théorique intégrateur qui a présidé à l'élaboration des scénarios pédagogiques du dispositif **BRVL**. Conformément aux principes énoncés, ce dispositif met en œuvre :

- des **groupes hétérogènes**, soigneusement constitués pour favoriser la diversité des points de vue ;
- une phase initiale de **confrontation des représentations**, destinée à faire émerger les divergences et à susciter le conflit sociocognitif ;
- des activités d'**expérimentation virtuelle**, qui offrent un terrain d'épreuve concret aux hypothèses concurrentes ;
- des espaces de **discussion et de négociation**, où la co-construction des savoirs peut s'opérer ;
- un accompagnement visant à faire évoluer les conceptions intuitives vers des **conceptions scientifiquement plus élaborées**, par un processus d'institutionnalisation progressive.

Ainsi, le dispositif BRVL apparaît comme une opérationnalisation fidèle des principes socioconstructivistes, articulant conflit cognitif, interaction sociale et médiation pédagogique au service d'un apprentissage en profondeur.

1.2. SOCIOGÉNÉTIQUE COMME APPROCHE THÉORIQUE DES REPRÉSENTATIONS SOCIALES

La sociogénétique ou *ancrage sociocognitif* est une approche théorique au sein du champ des représentations sociales, c'est-à-dire basée sur l'origine sociale des connaissances et des raisonnements individuels (Kalampalikis & Apostolidis, 2021).

Elle s'intéresse à la manière dont ces représentations sociales émergent, se transforment et s'ancrent dans des contextes historiques, culturels et sociaux spécifiques. Elle fait donc allusion à la construction des RIO ou scientifiques à travers les interactions sociales (discussions, conflits sociocognitifs...), le contexte socioculturel (outils linguistiques,

normes...) et les pratiques éducatives diverses (médias, famille...) (Kalampaliki & Apostolidis, 2016 ; Kalampaliki & Apostolidis, 2021).

Dans cette approche, les RI se construisent à travers deux processus, à savoir l'**objectivation** (processus par lequel des idées abstraites deviennent concrètes, imagées, communicables) et l'**ancrage** (processus d'appropriation ou d'intégration des représentations dans un système préexistant de valeurs ou de connaissances relatives à un concept) (Moscovici, 1961).

L'approche sociogénétique est une perspective théorique développée pour étudier les processus de naissance, de diffusion, d'émergence, de développement, de changement et d'interaction des représentations socioculturelles au fil du temps (Moscovici, 1961 ; Kalampaliki & Apostolidis, 2016).

En adoptant l'approche sociogénétique avec un outil pédagogique technologique, l'enseignant crée un environnement d'apprentissage riche et interactif qui favorise la co-construction des connaissances et l'engagement actif des apprenants. Ainsi, leurs interactions socioculturelles participent aussi dans la construction des savoirs à travers : la collaboration et les discussions en petits groupes, l'intégration des éléments contextuels et historiques dans les situations-expérimentations, les interactions avec l'enseignant pour approfondir la compréhension à l'aide des jeux de questions-réponses « pièges », la participation active des apprenants qui devront décider sur base de leurs observations émanant des expérimentations, l'évaluation de leurs actions et le feedback avec l'enseignant (Vygotsky, 1978 ; Kalampaliki & Apostolidis, 2016 ; Jonnaert, 2009).

Cette approche permet de comprendre pourquoi certaines représentations en mécanique sont si résistantes : elles s'inscrivent dans des systèmes de pensée socialement partagés, renforcés par l'expérience quotidienne et le langage courant.

1.3. APPROCHES INNOVANTES AU SERVICE DU PROCESSUS ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE

Une approche pédagogique est une manière globale d'organiser l'enseignement, souvent inspirée d'une ou plusieurs théories de l'apprentissage (Karsenti & Bugmann, 2017). C'est « *un cadre théorique et méthodologique qui guide la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des situations d'enseignement-apprentissage* » (Meirieu, 2013). Pour être appelées « innovantes », ces approches (manières structurées et méthodiques de favoriser l'apprentissage par le développement des compétences chez les apprenants) doivent apporter du « nouveau » par rapport aux précédentes pour améliorer la compréhension et la réussite des apprenants sous diverses stratégies (structure et timing, utilisation des TIC, gestuelles, attitudes et imagination créatrice.). Parmi ces approches innovantes, nous citons : la pédagogie traditionnelle, la pédagogie de la maîtrise, la pédagogie inversée, la pédagogie active, la pédagogie participative, la pédagogie par découverte, la pédagogie humaniste, la pédagogie par projet, la pédagogie différenciée (Bazangika, 2009 ; Gauthier *et al.*, 1997).

Le processus enseignement-apprentissage, pour être efficace, s'appuie sur des approches pédagogiques structurées, définies comme des cadres théoriques et méthodologiques guidant la conception et l'évaluation des situations éducatives (Meirieu, 2013 ; Crahay, 2016). Ces approches, pour être qualifiées d'innovantes, doivent intégrer une dimension nouvelle, qu'elle soit méthodologique, technologique ou relationnelle, afin d'améliorer significativement la compréhension et la réussite des apprenants (Bazangika, 2009). Néanmoins, dans un processus

enseignement-apprentissage, l'intégration des TIC, surtout en ligne, peut créer un déficit de médiation entre enseignants et apprenants et un certain relâchement de la part des apprenants (Essono, 2022). Cependant, l'intégration des technologies dans l'enseignement ne va pas sans défis. Elle peut parfois entraîner une distanciation entre l'enseignant et les apprenants, ou encore une baisse de motivation si les dispositifs ne sont pas suffisamment encadrés (Essono, 2022 ; El Bouwab, 2024). Ces écueils rappellent que l'innovation pédagogique ne saurait se réduire à l'adoption d'outils technologiques, mais doit s'accompagner d'une réflexion approfondie sur les méthodes et les interactions humaines (Allouche & Zouaoui, 2023).

L'enseignement, quant à lui, est un processus intentionnel et structuré qui vise la facilitation d'un éventuel apprentissage chez une personne ou un groupe de personnes par la transmission de connaissances, la stimulation des réflexions et le développement de compétences. Il apparaît une interaction entre enseignant (guide, interprète, évaluateur) et apprenant (constructeur de son propre savoir). (Meirieu, 2013). Un enseignant est dès lors perçu comme un facilitateur qui joue au monitoring, qui influence ses apprenants et qui a pour tâche de détenir, transposer, transmettre et évaluer les connaissances aux apprenants en vue de les transformer, c'est-à-dire d'avoir un effet puissant sur eux (Mahdjoub & Heilporn, 2023).

L'apprentissage est un processus qui a pour objectif de générer du plaisir à l'apprenant qui est censé être *attentif en lisant, en écoutant et en recevant des « nouvelles » connaissances* » (Attrassi & Haimed, 2015, p.155). Ainsi, selon Astolfi et Peterfalvi (1998) cités par Attrassi & Haimed (2015, p. 155), évoquant la théorie d'Ausubel, « *le facteur majeur qui détermine un nouvel apprentissage chez un apprenant, c'est l'état antérieur de sa structure cognitive* ». Selon ces auteurs, apprendre, ce n'est pas seulement mémoriser, mais un processus dynamique qui met en jeu des nouvelles informations qu'on transmet à l'apprenant et sa structure cognitive au préalable : c'est cette modification des connaissances initiales qu'évoquent Rimars (2015) et Beuchat & Tschanz (2014). Il s'agit en outre d'un « **déjà-là conceptuel** » c'est-à-dire l'ensemble des connaissances, idées, représentations et explications qu'un apprenant (ou tout apprenant) possède *avant* un enseignement formel sur un sujet scientifique donné (Astolfi & Peterfalvi, 1998). Ainsi et pour que ce processus soit efficace, il doit susciter l'engagement actif de l'apprenant, favoriser la coopération et réduire les charges cognitives inutiles (Mayer, 2014). Les outils multimédias et les simulations, lorsqu'ils sont bien conçus, permettent justement de renforcer cette dynamique en offrant des représentations concrètes et interactives de concepts abstraits (Dolan & Grady, 2010).

Ainsi, un apprentissage multimédia par simulation correct se produit lorsque l'apprenant s'engage dans un traitement cognitif coopératif et compétitif en organisant des images en représentations (Mayer, 2014 ; Dolan & Grady, 2010 ; Phyema, 2018b). Ainsi, l'efficacité de la méthode à appliquer repose sur la réduction des étapes inutiles pendant l'apprentissage. En utilisant un outil pédagogique technologique, les apprenants devront interagir entre eux à travers des simulations. Dès lors, ces derniers opèrent graduellement des changements conceptuels en faisant évoluer leurs représentations (Dykstra *et al.*, 1992 ; Vosniadou *et al.*, 2001).

Les travaux de Vygotsky (1978) sur le socioconstructivisme, comme ceux de Doung-In (2017) sur les pédagogies alternatives, soulignent l'importance d'un environnement d'apprentissage stimulant, où l'apprenant est accompagné dans la construction de ses savoirs. De même, les recherches de Hattie (2009) et de Darling-Hammond (2000) mettent en évidence le rôle crucial de l'enseignant dans la régulation des apprentissages, notamment à travers un feedback précis et une évaluation formative.

Enfin, les approches différenciées, telles que celles préconisées par Tomlinson (2001), rappellent que l'innovation pédagogique doit tenir compte de l'hétérogénéité des apprenants, en adaptant les parcours pour répondre à leurs rythmes et besoins spécifiques. Cette personnalisation, combinée à une utilisation raisonnée des TIC, permet d'optimiser le processus enseignement-apprentissage tout en évitant les pièges d'une technocentration excessive (El Idrissi & Larhrissi, 2025). Ainsi, les approches innovantes, lorsqu'elles sont pensées de manière systémique et intégrées dans une vision pédagogique cohérente, se révèlent être de puissants leviers au service du processus enseignement-apprentissage (Brini, 2024). Elles permettent non seulement d'améliorer l'efficacité des apprentissages, mais aussi de renforcer l'autonomie et la motivation des apprenants, tout en maintenant une médiation humaine essentielle à leur réussite (Guebbas & Khaldi, 2025).

1.4. DE L'ÉVALUATION À LA VALIDATION

L'évaluation a plusieurs objectifs qui vont au-delà de la simple validation, qui est l'un des objectifs de l'évaluation sommative, où il s'agit de confirmer que les apprenants ont atteint un certain niveau de compétence ou de connaissance requis pour obtenir une certification ou passer à une étape suivante de leur parcours éducatif (Scallon, 2004). Bien que la validation soit une composante importante, les différentes finalités de l'évaluation en éducation peuvent être diagnostiques, régulatrices et motivatrices (Larson *et al.*, 2021).

On peut évaluer :

1. les apprentissages, les apprenants et les enseignants : pour mesurer l'efficacité de l'action didactique posée (Popham, 2008) ;
2. les instruments de collecte des données : pour s'assurer de leur validité, de leur fiabilité et de leur applicabilité dans un contexte spécifique d'une étude (Creswell & Clark, 2017).

Dans le cadre de notre recherche, l'évaluation touche non seulement tous les acteurs principaux de l'éducation (chefs d'établissements, enseignants et apprenants) mais aussi l'outil pédagogique technologique et l'approche théorique adoptée pour une validation systématique à travers les méthodes d'analyses statistiques et multicritères. La finalité est la pragmatisme d'une EPP évoquée dans les lignes qui suivent.

Notons qu'une variable est une caractéristique, un attribut ou une propriété qui peut varier ou prendre différentes valeurs d'un individu, d'un objet ou d'une situation à l'autre (Mace & Pétry, 2010). Pour arriver à la validation proprement dite de BRVL, il a fallu passer par la détermination des variables dépendantes (qui définissent *ce que l'on mesure* : le résultat, l'effet, la conséquence), indépendantes (qui définissent *ce que l'on teste* : l'intervention, le traitement, le facteur d'influence) et contrôlées (facteurs *qu'on maintient constants pour éviter qu'il influence les résultats*, tel que l'âge des apprenants) mises en jeu (Calmant *et al.*, 2011). En ce qui nous concerne, **BRVL est notre variable indépendante (VI)** tandis que **l'ensemble des RIO des apprenants de 4^e année de Sciences en mécanique est notre variable dépendante (VD)**.

Il y a lieu de préciser aussi que le genre (masculin/féminin) constitue une variable indépendante mais complexe sur le plan conceptuel car elle est à la fois qualitative nominale (ou catégorielle) puissante, de contrôle, indépendante et modératrice *au moment où elle peut modifier la force ou la direction de la relation entre une VI et une VD* (Bereni *et al.*, 2020). Raison pour laquelle nous lui avons accordé une certaine importance dans nos analyses.

S'agissant du groupe (1, 2, 3 et 4), il est aussi considéré comme une variable indépendante parce qu'il peut prendre différentes valeurs qui représentent différentes combinaisons de conditions expérimentales (avec/sans test, avec/sans intervention). Néanmoins, le groupe n'est pas une variable analytique simple mais une étiquette composite que nous avons déconstruit en facteurs constitutifs (Test et Intervention), auxquels s'ajoutent Milieu et Genre, pour pouvoir analyser correctement les effets principaux et les interactions dans le cadre rigoureux de notre plan expérimental de Solomon. Par cette « variable », nous voulions juste voir si l'appartenance à un groupe *influençait* le score des RIO en mécanique classique et que si cette relation pouvait être modifiée par le genre et le milieu.

1.5. PLAN EXPÉRIMENTAL DE SOLOMON

1.5.1. Introduction

Le plan expérimental de Solomon, également désigné comme « Solomon four-group design » dans la littérature anglophone, constitue l'un des dispositifs méthodologiques les plus rigoureux pour la recherche en sciences humaines et sociales. Comme particularité, il permet de répondre à une question fondamentale : les effets observés sont-ils réellement dus à l'intervention, ou bien résultent-ils du simple fait d'avoir administré un test préalable ?

Le plan expérimental de Solomon constitue un outil méthodologique robuste pour la recherche interventionnelle, particulièrement lorsqu'on soupçonne un effet de sensibilisation au prétest. Les développements récents, notamment les travaux d'El Karkri *et al.* (2025), offrent aux chercheurs des lignes directrices pratiques pour sa mise en œuvre. Sa maîtrise représente un investissement méthodologique précieux pour tout chercheur soucieux de la validité de ses conclusions.

La présente revue examine les fondements théoriques de ce plan, ses développements méthodologiques et ses applications empiriques.

1.5.2. Fondements et structure du plan de Solomon

1.5.2.1. Genèse et justification théorique

Le plan de Solomon a été initialement proposé par Richard L. Solomon (1949) comme une extension des designs à groupe contrôle classiques. L'objectif était de remédier à une faiblesse méthodologique majeure : l'effet potentiel de sensibilisation au prétest (pretest sensitisation), c'est-à-dire la possibilité que l'administration d'une mesure préalable modifie la réception du traitement expérimental.

Campbell et Stanley (1966) ont ensuite systématisé ce design dans leur ouvrage fondateur sur les dispositifs expérimentaux et quasi-expérimentaux, en soulignant sa capacité à contrôler simultanément les menaces à la validité interne et externe.

1.5.2.2. Architecture du dispositif

Le plan de Solomon combine deux designs classiques : le plan prétest-posttest avec groupe contrôle et le plan posttest seulement avec groupe contrôle. Il se structure en quatre groupes :

- **Groupe 1** (expérimental avec prétest) : prétest → intervention → posttest
- **Groupe 2** (contrôle avec prétest) : prétest → absence d'intervention → posttest
- **Groupe 3** (expérimental sans prétest) : intervention → posttest
- **Groupe 4** (contrôle sans prétest) : posttest seulement

Cette architecture permet d'évaluer trois effets distincts : l'effet principal du traitement, l'effet principal du prétest, et l'effet d'interaction entre le prétest et le traitement (Solomon, 1949).

1.5.3. Les effets de sensibilisation au prétest

Les travaux pionniers de Lana (1959) ont établi que l'interaction entre le prétest et le traitement constitue une menace sérieuse pour la validité des conclusions dans les études attitudinales. Lana et King (1960) ont ensuite identifié les facteurs d'apprentissage comme déterminants de cette sensibilisation.

Une méta-analyse de Willson et Putnam (1982) a confirmé l'existence d'effets de sensibilisation, tout en montrant qu'ils varient selon la nature des mesures et que leur ampleur diminue avec le temps.

1.5.4. Contributions méthodologiques majeures

1.5.4.1. L'apport de Braver et Braver (1988)

La contribution la plus significative à l'opérationnalisation du plan de Solomon est l'article de Braver et Braver (1988) publié dans *Psychological Bulletin*. Ces auteurs ont proposé une procédure méta-analytique combinant les données des quatre groupes, et démontré que cette approche dispose d'une puissance statistique adéquate sans nécessiter d'augmentation de la taille d'échantillon.

1.5.4.2. Développements récents

El Karkri *et al.* (2025) ont récemment actualisé et étendu les travaux de Braver et Braver. Leur article met en évidence trois atouts majeurs du plan de Solomon :

1. La capacité à détecter la présence ou l'absence de sensibilisation au prétest
2. La possibilité d'analyser conjointement des variables qualitatives et quantitatives
3. La fourniture de lignes directrices pratiques pour les chercheurs en éducation et sciences sociales

1.5.4.3. 3.3. Controverses méthodologiques

Sawilowsky et Markman (1994) ont apporté une nuance importante : dans une étude par simulation Monte Carlo, ils ont démontré que le taux d'erreur expérimentale peut atteindre près du triple du niveau nominal alpha. Ils concluent que les procédures traditionnelles, lorsqu'elles ne sont pas utilisées comme tests conditionnels, peuvent être plus puissantes que l'approche méta-analytique.

1.5.5. Validité interne et externe

Dimitrov et Rumrill (2003) soulignent que le plan de Solomon, contrairement aux autres dispositifs prétest-posttest, permet d'évaluer séparément les magnitudes des effets dus au traitement, à la maturation, à l'histoire et au prétesting.

Clark et Shadish (2008) précisent que ce design évalue la plausibilité des effets de sensibilisation au prétest, c'est-à-dire si le simple fait de répondre à un questionnaire influence les scores aux administrations ultérieures.

1.5.6. Synthèse critique

1.5.6.1. Forces du dispositif

La littérature s'accorde sur plusieurs avantages du plan de Solomon :

- Contrôle optimal des menaces à la validité interne et externe ;
- Détection des effets d'interaction prétest-traitement ;
- Possibilité de généralisation plus solide des résultats.

1.5.6.2. Limites et précautions

McCambridge *et al.* (2011), dans une revue systématique publiée par *PLoS ONE*, ont examiné si les évaluations de recherche elles-mêmes pouvaient introduire des biais dans les essais sur les changements de comportement. Leur conclusion est prudente : il existe trop peu d'études de haute qualité pour conclure de manière définitive sur l'existence ou l'absence de biais liés aux évaluations de base.

Glenn *et al.* (2013) ont mis en garde contre les dangers d'ignorer les effets de design dans les études expérimentales, soulignant que même le plan de Solomon peut voir sa validité compromise si l'analyse statistique ne prend pas correctement en compte sa structure complexe.

1.5.7. Utilisation du plan de Solomon en didactique de la physique : une revue des études empiriques

1.5.7.1. Introduction

Le plan expérimental de Solomon, reconnu pour sa rigueur méthodologique, a été mobilisé dans de nombreuses recherches en didactique des sciences, et plus spécifiquement en didactique de la physique. Cette section recense les études ayant employé ce dispositif pour évaluer l'efficacité de différentes approches pédagogiques dans l'enseignement de la physique, à travers divers contextes géographiques et niveaux d'enseignement.

1.5.7.2. Ouganda : apprentissage par problèmes et méthodes pratiques

Une étude majeure menée par Kwesiga (2024) a examiné l'efficacité des méthodes pratiques de type « cookbook » (recettes) et « inquiry-based » (investigation) pour l'apprentissage des expériences de physique dans les écoles secondaires du district de Kabalore, en Ouganda. Cette recherche, qui s'inscrit dans un contexte de faibles performances en physique constatées par l'UNEB entre 2017 et 2022, a utilisé le plan de Solomon à quatre groupes non équivalents auprès de 382 apprenants âgés de 16 à 18 ans. Les résultats ont

démontré que les méthodes basées sur l'investigation améliorent significativement l'engagement, les attitudes et les performances des apprenants en physique, tout en révélant des effets psychologiques inédits sur le stress et l'anxiété des apprenants.

Toujours en Ouganda, une recherche publiée dans *Research in Science Education* (2023) a évalué l'impact de l'apprentissage par problèmes (PBL) sur les performances des apprenants en mécanique des ondes dans les écoles secondaires du Sud-Ouest du pays. L'étude a mobilisé 419 apprenants de 19 écoles, répartis selon le plan de Solomon. Les résultats montrent une amélioration significative des acquis chez les groupes exposés au PBL par rapport à l'enseignement traditionnel, avec une taille d'effet importante et des gains d'apprentissage élevés dans le groupe expérimental.

1.5.7.3. Nigéria : stratégies explicites de résolution de problèmes

Au Nigéria, Abubakar et Danjuma (2014) ont étudié les effets d'une stratégie explicite de résolution de problèmes sur les performances et la rétention des connaissances en physique chez les apprenants du secondaire supérieur. Leur recherche, publiée dans l'*ATBU Journal of Science, Technology and Education*, a employé le plan de Solomon auprès de 80 apprenants de SSII (équivalent de la première). Les résultats ont révélé que la stratégie explicite de résolution de problèmes est supérieure à la méthode magistrale pour améliorer à la fois les performances et la rétention en physique.

1.5.7.4. Kenya : approches coopératives et collaboratives

Plusieurs études kényanes ont utilisé le plan de Solomon pour évaluer des pédagogies actives. Kairo, Njagi et Kamweru (2022) ont examiné les effets de l'apprentissage coopératif sur les performances en physique dans les écoles publiques du comté de Meru. L'étude, menée auprès de 180 apprenants répartis selon le plan de Solomon, a conclu que l'approche coopérative produit des scores significativement plus élevés que l'enseignement conventionnel.

Dans le comté de Nyeri, une recherche publiée dans le *Journal of Research & Method in Education* (2021) a évalué l'effet d'une stratégie d'enseignement collaboratif sur les performances en physique auprès de 173 apprenants de quatrième année du secondaire. Les résultats ont établi que cette stratégie améliore significativement les performances, conduisant à recommander son intégration plus fréquente et la formation des enseignants à ces méthodes.

Dans le comté d'Isiolo, une étude menée à l'Egerton University (2024) a examiné les effets de l'apprentissage par problèmes sur la motivation et l'acquisition de compétences de pensée critique en physique. Utilisant le plan de Solomon auprès de 128 apprenants de deuxième année du secondaire, la recherche a montré que le PBL conduit à une augmentation de la motivation et de l'acquisition de compétences critiques, bien que l'augmentation de la motivation n'ait pas été statistiquement significative.

En guise de justification, toutes ces études ont invoqué la nécessité de contrôler l'effet de sensibilisation au prétest et d'assurer la validité des conclusions.

1.5.7.5. Philippines : Approche E-tivité de Salomon

Aux Philippines, Garcia (2020) a utilisé le plan de Solomon pour évaluer l'impact de l'approche E-tivité de Salmon sur les performances mathématiques en physique. L'étude, menée auprès de 76 apprenants de 9^{ème} année à l'école technique de Subangdaku, a combiné des simulations interactives du projet PHET (Physics Education Technology) avec des interactions via un groupe Facebook. Les cinq étapes de l'approche (accès et motivation, socialisation en ligne, échange d'information, construction de connaissances, développement) ont été mises en œuvre. Les résultats démontrent que cette approche améliore significativement les performances des apprenants, particulièrement pour les concepts mathématiques difficiles en physique.

1.5.7.6. Iran : modèle de changement conceptuel en électrostatique

Ahmadi (2020) a examiné l'efficacité du modèle de changement conceptuel (Conceptual Change Model) sur l'apprentissage des concepts de base de l'électrostatique chez des collégiennes iraniennes. Publiée dans l'*Iranian Journal of Learning and Memory*, cette recherche a utilisé le plan de Solomon avec deux groupes expérimentaux et deux groupes contrôle. Les résultats montrent que cette méthode d'enseignement actif, ancrée dans la théorie constructiviste et prenant en compte les conceptions initiales des apprenants, est supérieure à l'enseignement traditionnel pour détecter et corriger les misconceptions en physique.

1.5.7.7. États-Unis : une application précoce en sciences physiques

Une application historique du plan de Solomon en didactique des sciences physiques est la thèse de doctorat de Magnus (1973) à l'Université du Dakota du Nord. Cette recherche a comparé l'enseignement dirigé par l'enseignant et l'étude autodirigée par les étudiants dans un cours de sciences physiques destiné aux futurs enseignants du primaire. Menée auprès de 95 étudiants répartis en quatre sections, l'étude a évalué quatre dimensions : les connaissances en contenu physique, le développement et l'application des processus scientifiques, l'attitude envers les sciences physiques, et l'attitude envers l'étude autodirigée. Les résultats ont montré une meilleure rétention des connaissances à long terme dans le groupe expérimental, mais des attitudes plus positives envers l'étude autodirigée dans le groupe contrôle.

1.5.7.8. Conclusion

Le plan expérimental de Solomon a été utilisé dans au moins neuf études en didactique de la physique, réparties sur quatre continents et couvrant une période de 1973 à 2024. Ces recherches confirment sa pertinence pour évaluer rigoureusement l'efficacité des interventions pédagogiques, particulièrement dans les contextes où l'on soupçonne un effet de sensibilisation au prétest. La diversité géographique des études (Afrique, Asie, Amérique du Nord) atteste de la diffusion de ce dispositif méthodologique et de son adaptabilité aux différents systèmes éducatifs.

Pour la recherche en didactique de la physique, le plan de Solomon apparaît comme un outil précieux permettant de répondre aux exigences de validité tout en s'adaptant aux contraintes du terrain scolaire.

Toutes ces études recensées couvrent un large éventail de thématiques en didactique de la physique :

1. **Méthodes pédagogiques actives** : Apprentissage par problèmes (PBL), apprentissage coopératif et collaboratif, méthodes d'investigation.
2. **Stratégies cognitives spécifiques** : Stratégies explicites de résolution de problèmes, modèle de changement conceptuel.
3. **Intégration des technologies** : Simulations interactives (PHET) et approche E-tivité.
4. **Formation des enseignants** : Comparaison de modalités pédagogiques à l'université.

1.5.8. Justification du recours au plan de Solomon

Plusieurs arguments justifient systématiquement le choix de ce plan expérimental dans ces études :

- **Contrôle de l'effet de sensibilisation au prétest** : les chercheurs soulignent que les mesures préalables peuvent influencer la réception de l'intervention pédagogique
- **Validité interne renforcée** : le dispositif permet d'isoler l'effet réel de l'intervention des effets liés à la mesure
- **Généralisation des résultats** : la structure à quatre groupes autorise des conclusions plus robustes sur l'efficacité des méthodes testées

1.5.9. Apports et limites identifiés

1.5.9.1. Contributions méthodologiques

Ces études démontrent la pertinence du plan de Solomon pour la recherche en didactique de la physique. Elles confirment sa capacité à :

- Détecter les effets d'interaction entre le prétest et l'intervention pédagogique
- Permettre des analyses comparatives robustes entre groupes expérimentaux et contrôles
- S'adapter à des contextes variés (secondaire, universitaire) et à des contraintes de terrain

1.5.9.2. Limites et précautions

Plusieurs études mentionnent des défis dans l'application de ce plan :

- **Complexité logistique** : la mise en place de quatre groupes nécessite des ressources importantes
- **Taille des échantillons** : la répartition sur quatre groupes exige des effectifs suffisants pour maintenir la puissance statistique
- **Contrôle des variables parasites** : dans les contextes scolaires réels, l'équivalence des groupes n'est pas toujours parfaite (Njoroge, 2024)

1.6. BREF APERÇU SUR LES CONCEPTIONS ET LES REPRÉSENTATIONS EN DIDACTIQUE DES SCIENCES

1.6.1. Conceptions spontanées et sociales

1.6.1.1. Origine et processus de formation

Les conceptions spontanées (ou personnelles) émergent principalement de l'expérience sensorimotrice individuelle et de l'interaction directe avec l'environnement physique (Beaussé, 2019). L'apprenant construit ces conceptions par généralisation intuitive à partir de ses observations répétées (Vygotsky *et al.*, 2012). En revanche, les conceptions sociales sont le produit d'une transmission culturelle et langagière au sein d'un groupe donné. Elles se forment par l'intégration d'explications, de métaphores et de croyances véhiculées par la famille, les médias, les traditions ou le langage courant (Moscovici, 1961).

1.6.1.2. Universalité ou variabilité culturelle ?

Les conceptions spontanées présentent un caractère universel car elles découlent d'expériences corporelles communes à l'espèce humaine (« toujours pousser pour maintenir un objet en mouvement ! »). Driver et Easley (1978) ont montré que ces conceptions alternatives apparaissent de façon similaire chez les enfants de différents contextes culturels. À l'opposé, les conceptions sociales sont culturellement situées et variables. Leur contenu dépend des représentations collectives, des mythes, ou des explications populaires propres à une communauté (« une fusée vole parce qu'elle pousse sur l'air » !) (Cobern, 1996).

1.6.1.3. Nature et mode d'expression

Les conceptions spontanées sont souvent implicites, pré-réflexives et liées à l'action. Elles se manifestent par des raisonnements de « sens commun physique », comme l'idée qu'un objet plus lourd tombe plus vite (McDermott, 1984). Les conceptions sociales, quant à elles, sont explicites, véhiculées par le langage et les symboles partagés. Elles s'expriment à travers des expressions figées (« la Lune attire l'eau ! »), des images médiatiques ou des récits traditionnels (Martinand, 1986).

1.6.1.4. Robustesse et stratégies de remédiation

La robustesse des conceptions spontanées est élevée car elles sont constamment validées par la perception immédiate (« la sensation que le Soleil tourne autour de la Terre »). Leur modification nécessite souvent une confrontation expérimentale déstabilisante qui invalide l'évidence sensorielle (Bachelard, 1938). Les conceptions sociales, bien que parfois tenaces, peuvent être plus sensibles à une révision discursive et à une ré-explication autorisée. Leur remédiation passe par la déconstruction des métaphores erronées et l'offre d'un nouveau cadre explicatif légitimé (Tiberghien, 1994).

1.6.1.5. Interaction dans la pratique éducative

En classe, ces deux types de conceptions sont étroitement imbriqués. Une conception sociale (« la gravité n'existe pas dans l'espace ! ») peut s'appuyer sur une intuition spontanée (l'absence de sensation de poids) pour persister. Inversement, une expérience spontanée est souvent interprétée et renforcée par le discours social environnant (Viennot, 1996). L'enseignant doit donc mener un double travail : provoquer un conflit cognitif avec l'expérience personnelle et réviser les explications socialement admises.

1.6.2. Conceptions ontogénétiques et phylogénétiques

1.6.2.1. Définition et échelle temporelle

Les conceptions ontogénétiques (ou individuelles) se réfèrent au développement cognitif d'un individu tout au long de sa vie, notamment durant son enfance et son adolescence. Elles sont forgées par l'interaction directe de l'individu avec son environnement physique et social (Piaget, 1975). En revanche, les conceptions phylogénétiques (ou historiques) renvoient à l'évolution des concepts scientifiques à l'échelle des siècles, à travers l'histoire des sciences. Elles concernent les systèmes de pensée, les paradigmes et les obstacles qui ont marqué le développement des disciplines scientifiques (Kuhn, 1997).

1.6.2.2. Nature et mécanisme d'évolution

L'évolution des conceptions ontogénétiques est guidée par des processus d'assimilation et d'accommodation cognitifs, où l'individu ajuste ses schèmes mentaux pour intégrer de nouvelles expériences (Piaget, 1975). Cette évolution peut être marquée par des conflits cognitifs qui poussent à la restructuration des connaissances. À l'inverse, l'évolution des conceptions phylogénétiques suit une dynamique socio-historique et épistémologique, souvent ponctuée par des révolutions scientifiques où un paradigme ancien est remplacé par un nouveau (Kuhn, 1997). Le changement y est plus discontinu et collectif.

1.6.2.3. Analogie et relations

Une analogie classique en didactique postule que le développement des concepts chez l'enfant (ontogénèse) répète en raccourci le développement historique de ces mêmes concepts dans la science (phylogénèse). C'est le principe de la « loi de récapitulation » appliquée à la pensée scientifique (Wandersee, 1986). Cependant, cette analogie a des limites : l'enfant ne traverse pas toutes les étapes historiques, et son environnement conceptuel est radicalement différent (Vygotsky *et al.*, 2012).

1.6.2.4. Obstacles épistémologiques communs

Les obstacles épistémologiques identifiés par G. Bachelard (1938) – comme l'obstacle substantialiste ou l'obstacle animiste – présentent une double face. Ils se manifestent à la fois comme des obstacles ontogénétiques (difficultés persistantes dans l'apprentissage individuel) et comme des obstacles phylogénétiques (barrières ayant entravé le progrès scientifique historique). Par exemple, la conception du « feu comme substance » a été un obstacle historique (théorie du phlogistique) et reste un obstacle courant chez les apprenants (Martinand, 1986).

1.6.2.5. Implication pour l'enseignement des sciences

Comprendre les conceptions phylogénétiques permet à l'enseignant de relativiser et d'anticiper les difficultés des apprenants. Les obstacles qui ont résisté des siècles aux plus grands esprits (comme le passage de l'impulsion à la force en mécanique) sont naturellement tenaces chez l'apprenant (Viennot, 1996). Une approche d'enseignement inspirée de l'histoire des sciences peut donc être bénéfique : en présentant les conceptions passées et les débats qu'elles ont suscités, on aide l'élève à prendre conscience du statut provisoire et construit du savoir, et à dépasser ses propres conceptions ontogénétiques (Métoui & Trudel, 2012).

1.6.3. Conceptions et représentations initiales

1.6.3.1. Présentation

Pour surmonter une éventuelle difficulté dans l'apprentissage d'une « *nouvelle connaissance* », les apprenants trouvent inconsciemment dans leur cerveau des modèles approchant cette « *nouvelle connaissance* » pour les approcher par comparaison. Ne pas dissocier ces modèles de la « *nouvelle connaissance* » peut engendrer des erreurs (Rimars, 2015, p. 18).

Une conception initiale (alternative, naïve, préconception, spontanée) « *est une idée première préconçue de la réalité qu'un individu s'imagine à propos d'un concept, d'un phénomène, d'une chose...* » qui l'entoure (Thouin, 1989, p. 247 ; Sallaberry, 1991, p. 1085). C'est aussi une perception, une projection, une évocation, une impression, une appropriation, une vision, une image mentale, une préconception notionnelle... que les apprenants ont pu retenir dans l'enseignement des classes précédentes ou dans leur vécu quotidien avant de recevoir un nouvel enseignement formel. C'est un ensemble des idées reçues, d'explications toutes faites ou d'images mentales créées par les apprenants sur un sujet donné (DiSessa, 2004).

La **conception initiale** est ce que l'apprenant pense (**modèle mental** ou **compréhension interne invisible** à faire évoluer) tandis que la **représentation initiale** est ce qu'il dit ou dessine pour le montrer (**trace observable visible ou audible d'une production externe**, servant à identifier les erreurs et mesurer les progrès). Et tout l'art de l'enseignement est de faire en sorte que l'une et l'autre se rapprochent de la connaissance visée (Kaltakci-Gurel *et al.*, 2017).

Le mot « représentation » fait donc écho, en un sens large, au concept de représentation mentale, introduit par Piaget en psychologie cognitive, qui recouvre « *un ensemble de connaissances ou intuitions exprimées, de confusions ou de réductions, d'incapacité à expliquer un paradoxe, de non-prise en compte de certains paramètres...* » (Calmant *et al.*, 2011, p. 45). Ce sont des modèles mentaux non-scientifiques que les apprenants construisent avant tout enseignement formel sur un sujet (Frède, 2019) ; un ensemble des idées reçues et d'explications toutes faites ou d'images créées par les apprenants sur un sujet donné (Giordan, 1994) ; le fait de rendre concret un élément abstrait (Beuchat & Tschanz, 2014) ; la « *construction mentale, basée sur des pratiques, des expériences et des vécus préalables, des observations et des interactions entre individus* » (Melo-Pfeifer, 2019, p. 588).

Corriger une représentation *peut* être une occasion de corriger la conception, mais ce n'est ni automatique ni garanti. La simple soumission à l'autorité (le prof a dit) ou le mimétisme (je recopie) suffisent à produire une représentation corrigée, laissant la conception erronée intacte et prête à ressurgir. Ces deux termes n'ont pas nécessairement la même portée : la

représentation désigne la manière dont un individu ou un groupe des représente un phénomène avant un apprentissage ou une transformation, tandis que la conception fait allusion à l'élaboration d'un projet, d'une idée structurée, d'un plan de départ afin de désigner la première version d'une solution ou d'un dispositif (Bernoussi & Florin, 1995).

De ce qui précède et tenant compte de notre cadre méthodologique, nous avons opté pour le terme « représentation initiale-obstacle » (RIO), jugé plus juste et plus opérationnel que « conception initiale-obstacle » car les représentations-obstacles sont les indicateurs de conceptions alternatives (comme le concept de force impulsive, de mouvement naturel, etc.), et que l'objectif ultime de la correction de ces représentations est de favoriser un changement conceptuel. Bien que dans notre démarche nous visions aussi la conception technico-méthodologique d'un dispositif pédagogique, les aspects cognitif et épistémologique (correction) ont été priorités pour ce faire.

1.6.3.2. Fonction et utilité

Les RI chez les apprenants « *doivent toujours être au cœur du processus d'apprentissage des sciences* » et doivent être intégrées dans des nouvelles approches d'enseignement (Akhilesh, 2014 cité par Ouarzeddine, 2019, p. 20). Aussi, comprendre et traiter les RI des apprenants est essentiel pour un enseignement efficace et pour faciliter l'acquisition de connaissances solides et durables (Evrard & Plumet, 2022).

Une RI est un outil de diagnostic pour les apprenants pour un statut positif de ses connaissances (Giordan, 1994). On devrait en tenir compte avant toute « nouvelle matière », au risque de voir cette dernière se confondre avec les anciennes représentations sans les remplacer (Thouin, 1989). Dans ce cas, elle devient un obstacle lorsqu'elle est négative ou lorsqu'elle influence négativement l'apprentissage d'une « nouvelle notion », c'est-à-dire en cas de contradiction entre les conceptions nouvelles à s'approprier et celles antérieures des apprenants (Dédès & Ravanis, 2007). C'est ce que nous qualifions plus loin de RIO (représentation initiale-obstacle). Il s'agit d'un obstacle épistémologique.

Ces RI servent donc de point de départ pour toute action didactique et influencent la manière dont les apprenants interprètent et comprennent les « nouveaux » concepts (Cohen-Azria, 2020). Leur maîtrise permet la construction aisée des connaissances via la prédiction et l'appréhension de la réalité cognitive des apprenants. Aussi, cela permet le développement des compétences disciplinaires et transversales, la création des « nouveaux » outils et des nouvelles stratégies d'enseignement. Enfin, leur prise en compte permet le choix des analogies lors des explications et la détermination des éventuelles remédiations des séquences didactiques afin de réguler les actions et d'uniformiser les pensées des apprenants autour d'une « bonne et nouvelle » logique (Cautinat, 2016). Elles **doivent nécessairement** être intégrées dans le processus enseignement-apprentissage pour donner naissance à une « *nouvelle approche théorique* » visant un apprentissage actif et un engagement collaboratif des apprenants (Dehon *et al.*, 2016, pp. 28-30 ; Evrard & Plumet, 2022).

Les RI s'expriment à travers des « représentations initiales-obstacles » (schémas, explications erronées) qui font l'objet de notre étude.

1.6.3.3. Typologie et origine

Les RIO peuvent avoir plusieurs origines (Rimars, 2015) :

- **Empirique** : observations sensorielles quotidiennes (Exemple : La Terre est plate (car elle paraît plate)) ;
- **Langagière** : langage courant véhiculant des conceptions erronées (Une force = un effort musculaire) ;
- **Analogique** : Comparaisons simplistes pour expliquer des phénomènes complexes (Exemple : Le courant électrique est comme un fleuve) ;
- **Culturelle** : croyances, mythes, représentations médiatiques (Exemple : Les astronautes flottent car il n'y a pas de gravité) ;
- **Didactique** : Enseignement antérieur mal assimilé (Exemples : Les orbites des planètes sont circulaires ; les atomes sont des billes) ;
- **Téléologique** : Tendance humaine à chercher une intention derrière les phénomènes : attribution d'une finalité aux phénomènes naturels (Exemples : Les arbres produisent de l'oxygène pour nous ; le soleil se lève pour nous éclairer).

1.6.3.4. Caractéristiques

Une représentation peut être évoluée ou semi-évoluée, imagée ou à prétention interprétante (Thouin, 1989 ; Sallaberry, 1991).

Leurs caractéristiques principales sont (Dehon *et al.*, 2016) :

- **Persistance** : elles résistent à l'enseignement traditionnel ;
- **Cohérence interne** : pour l'apprenant, elles forment un système explicatif logique ;
- **Caractère implicite** : l'apprenant n'en a pas conscience.

Plusieurs chercheurs en didactique des sciences ont démontré qu'un obstacle pédagogique (didactique = lié à la manière dont le contenu est enseigné, cognitif = lié aux processus mentaux des apprenants, linguistique = lié au niveau de maîtrise d'une langue d'enseignement, socioculturel = lié aux contextes socioculturels de l'apprenant, émotionnel et/ou motivationnel = lié aux émotions et à la motivation de l'apprenant, etc.) est un réel frein à l'apprentissage (Brousseau, 1998 ; Vygotsky, 1978 ; Rimars, 2015).

Toute RI ne constitue pas d'office un obstacle d'apprentissage. À cela de noter que les obstacles épistémologiques sont des formes de connaissances devenues inopérantes dans un contexte nouveau et qui « *sont ceux auxquels on ne peut, ni ne doit échapper, du fait même de leur rôle constitutif dans la connaissance visée ; on peut les retrouver dans l'histoire des concepts eux-mêmes* » (Calmant *et al.*, 2011, p. 44).

Ainsi, un outil pédagogique technologique peut constituer un obstacle didactique dans la mesure où l'enseignant ou l'apprenant de l'a pas bien maîtrisé en termes de manipulation (Ayrinhac & Bru, 2019).

Nous retenons donc que les RI sont changeantes suivant le temps et les réalités courantes. Raison pour laquelle Vosniadou (2002) cité par Dehon (2016), pense qu'elles évoluent graduellement. Pour Chi (1992) cité toujours par Dehon (2016), l'évolution d'une RI est temporaire et arrive comme un processus radical. Et, enfin, selon Potvin et Thouin (2003, p. 537) cités par Dehon (2016, p. 30), se basant sur DiSessa, **les apprenants abandonnent facilement et rapidement leurs RI au moindre conflit sociocognitif**. Ainsi et rapidement, ils inventent de « *nouvelles RI* » après évolution ou « *maturation* » de leurs pensées en la matière.

1.6.3.5. Méthodes d'analyse et/ou de détection

1.6.3.5.1. Opérationnalisation d'une représentation initiale

Dans l'analyse d'une RI, les cinq caractéristiques d'opérationnalisation des problématiques d'Astolfi sont : (1) hypothèse sur la base d'une production ; (2) contexte et conditions ; (3) origine possible ; (4) champ conceptuel ; (5) niveau de « scientificité » (Dehon *et al.*, 2016, p. 34).

De ceci, découlent les quatre indicateurs suivants : (1) les références : modèle sur lequel s'inspire l'apprenant ; (2) la concrétisation de la réalité et de la scientificité de la représentation ; (3) les signifiants ou éléments constitutifs de la représentation ; (4) les opérations mentales réelles et riches (réflexions pour corriger la pensée) (Dehon *et al.*, 2016).

En amont, pour arriver à explorer un phénomène physique, l'apprenant confronte ses propres conceptions entre pairs et avec divers médias, distingue les éléments du monde naturel des objets manufacturés, explique le fonctionnement des phénomènes naturels, imagine en réalisant des expérimentations et en proposant des explications, communique ses propres observations à l'aide d'un vocabulaire adapté. En aval et après traitement, l'apprenant représente des phénomènes naturels avec clarté, imagine autrement et en utilisant divers outils de représentation, mène des observations répétées, trie et organise des données, confronte et communique ses observations, ses résultats, ses constats, ses interprétations et, enfin, se pose des questions et exprime ses nouvelles conceptions (Beuchat & Tschanz, 2014).

La confrontation des RI entre apprenants (en groupe de préférence) est très capitale pour asseoir la réalité de chacun. Il s'agit dès lors de la pédagogie différenciée ou sont mis en exergue la parole, l'écriture et le dessin pour les ressortir. Grâce à ces trois modes de communication ou d'expression, l'apprenant (construisant son propre savoir) se rendra compte qu'il n'était pas loin de la réalité commune ou qu'il y a aussi d'autres réflexions sur un même savoir essentiel ou concept qui peuvent être adoptées (Beuchat & Tschanz, 2014).

En d'autres termes, une RI pourra disparaître quasi-définitivement lorsqu'elle est détectée puis corrigée par l'apprenant lui-même en tentant de construire son propre savoir avec ses pairs. Pour y arriver, il devra avant tout être « perturbé » ou « déstabilisé » par une situation d'apprentissage proposée activement par l'enseignant et qui s'oppose à leur nature sociale face à l'expérimentation : c'est cela le **conflit sociocognitif** (Dehon, 2016 ; Beuchat & Tschanz, 2014).

1.6.3.5.2. Détection d'une représentation initiale

Une RI est, comme dit plus haut, difficile à détecter. Les probables causes sont (Vosniadou & Brewer, 1992) :

- Inconsistance contextuelle : Les apprenants peuvent donner une réponse « scientifique » en classe, mais revenir à leur RIO dans un autre contexte ;
- Langage ambigu : Les mots utilisés par les apprenants (« force », « énergie ») cachent souvent des malentendus profonds ;
- Réflexes de mémorisation : Certains apprenants répètent des définitions sans les comprendre, masquant leurs vraies RI ;
- Biais de désirabilité sociale : Les apprenants peuvent cacher leurs idées fausses par peur d'être jugés.

Ainsi, l'analyse des RI commence par la détermination de leur **nature** puis sur ce qu'elles expliquent ou **experiment**. C'est à l'enseignant de déceler ce qui empêche l'acquisition des connaissances de la part de l'apprenant et comment le déconstruire pour construire une nouvelle représentation scientifique (Ayrinhac & Bru, 2019).

Sans les ignorer et après les avoir cernés, les RI sont souvent analysées après leur identification précise, leur comparaison selon leur diversité et une discussion entre apprenants afin de créer un choc sociocognitif bien avant l'évolution positive (Rimars, 2015, p. 26).

Pour une acquisition durable des nouvelles connaissances, il faut détecter et corriger immédiatement les RI en pleine séquence didactique (Attrassi & Haimed, 2015, p. 155), avec une méthode adaptée (Bazangika *et al.*, 2024).

Ainsi, pour améliorer la détection des RI, il y a lieu de procéder par des méthodes telles que : les entretiens (pour un raisonnement sans pression sociale), la pose des questions ouvertes (afin d'éviter des réponses intuitives ou spontanées), l'utilisation des cartes conceptuelles (pour mieux établir les liens ou les incohérences entre les pensées), l'utilisation des situations pratiques ou réelles (pour observer les vraies RI) et l'utilisation d'un matériel expérimental (pour favoriser une acceptation personnelle) (Strike & Posner, 1982). Ainsi et selon leur typologie, le tableau 1.1 présente l'état des lieux des indicateurs de détection des RI en fonction des outils de détection utilisés :

Tableau 1.1. Typologies et indicateurs de détection des RI

Typologie des outils de détection	Indicateurs de détection	Références bibliographiques
Questionnaires	Réponses incohérentes avec les savoirs scientifiques, justifications floues ou basées sur l'expérience quotidienne.	Vosniadou & Brewer, 1992
Entretiens	Explications confuses, recours à des analogies incorrectes, difficulté à conceptualiser les phénomènes scientifiques.	Strike & Posner, 1982 ; Clement, 1982
Cartes conceptuelles	Liens erronés entre concepts, absence de hiérarchisation logique, concepts mal définis.	Novak & Gowin, 1984
Tests à choix multiples	Sélection d'options reflétant des idées préconçues plutôt que des connaissances validées.	Treagust, 1988
Mises en situation (cas pratiques)	Résolutions de problèmes basées sur des intuitions plutôt que sur des méthodes scientifiques.	Colomb <i>et al.</i> , 1993
Observations en classe	Erreurs répétitives, incompréhension persistante malgré les explications, résistance à la correction.	Brousseau, 1998
Dessins ou schémas	Représentations inexactes des phénomènes.	Reiss & Tunnicliffe, 2001
Jeux de rôle	Interprétation des phénomènes selon des croyances populaires plutôt que des faits scientifiques.	Duit, 1991

1.6.3.6. *Processus de construction de l'évolution d'une représentation initiale : la correction et/ou remédiation*

La correction nécessite un **changement conceptuel** (Vosniadou, 1994), c'est-à-dire une réorganisation ou une déconstruction profonde des structures cognitives après un **choc sociocognitif**. Les conditions identifiées par Strike & Posner (1982) sont :

- l'apprenant doit être **insatisfait** de ses conceptions actuelles ;
- la nouvelle conception doit être **intelligible, plausible et féconde**.

C'est dans cette perspective que BRVL a été conçu : les simulations génèrent un conflit cognitif, que la discussion en groupes hétérogènes transforme en conflit sociocognitif, dont la résolution collective permet l'appropriation durable des concepts scientifiques.

1.6.4. Représentations initiales-obstacles en mécanique classique

1.6.4.1. *Mécanique vue selon le programme scolaire congolais*

La mécanique est l'étude des mouvements des corps (Pérez, 2022 ; Serway *et al.*, 2000). Elle est l'une des catégories du programme scolaire des sciences physiques de 4^e année de Sciences. Les points inscrits dans ce programme scolaire par catégorie et sous-catégories sont :

1. Mécanique : cinématique (notions de base de la cinématique, MRU, MRUV, chute libre des corps, MCU et MCV), dynamique (principes/lois de Newton, balistique, forces centripète et centrifuge, moment d'inertie, poids et attraction universelle, forces de frottement, tension mécanique, plan incliné, résistance de l'air), énergie mécanique (énergie, travail et puissance mécaniques, quantité de mouvement, moment cinétique, volant et marteau).
2. Thermodynamique : notions et principes de thermodynamique ainsi que les moteurs thermiques (à 4 et à 2 temps).
3. Phénomènes périodiques : oscillateur harmonique simple, oscillateur harmonique libre et non amorti (les pendules), ondes mécaniques et électromagnétiques, composition des vibrations, interférences (constructives, destructives, lumineuses) et ondes stationnaires, acoustique (ondes sonores et effet Doppler) et courant alternatif (lois d'Ohm, puissance électrique, transformateur et rendement) (MEPST, 2021).

La mécanique structure la pensée physique, relie théorie et pratique, et prépare aux défis académiques futurs (Marleau, 2017). La mécanique classique (mouvement, forces, énergie) introduit des notions essentielles comme la cinématique, la dynamique et les lois de Newton, qui servent de base à d'autres domaines (électricité, thermodynamique, phénomènes périodiques, la physique quantique et relativiste, etc.) (Viennot, 1989). Les problèmes de mécanique enseignent aux apprenants à modéliser des situations vécues réellement dans la vie pratique et à appliquer des raisonnements mathématiques bien élaborés afin de renforcer leurs compétences dans la résolution des problèmes et de les transférer à d'autres disciplines (Etkina *et al.*, 2019). Les phénomènes mécaniques (mouvement des objets, sports, véhicules) favorisent l'ancrage dans la réalité vécue des apprenants. Ces phénomènes concrets favorisent l'engagement des apprenants et améliorent leur motivation ainsi que leur compréhension (Jardim *et al.*, 2021). Ainsi, les programmes universitaires en sciences nécessitent une base solide en mécanique pour éviter certaines lacunes dans la compréhension des autres domaines ainsi que certaines « mauvaises » RI (Baily & Finkelstein, 2015).

1.6.4.2. Principales représentations initiales-obstacles en mécanique classique

En physique, les représentations initiales proviennent de certains obstacles des sources diverses. Même en suivant déjà un enseignement en physique, des études antérieures ont confirmé que la plupart des apprenants conservent leurs représentations premières ou initiales, souvent erronées, sur les concepts de la physique. Ces idées fausses, dénommées RIO (représentations initiales-obstacles) sont liées à leur réussite en physique, tel est le plus grand obstacle (Thouin, 1985 ; Klopfer *et al.*, 1983). Les RIO sont courantes et peuvent être corrigées par des expériences pratiques, des simulations et des discussions en classe pour aider les apprenants à comprendre les concepts corrects de la mécanique classique (Evrard & Plumet, 2022).

S'agissant de la résolution des problèmes en physique, les apprenants utilisent des diagrammes et des représentations comme aide dans le processus (Rosengrant *et al.*, 2009). L'approche représentationnelle fournit aux futurs enseignants de physique une meilleure capacité de raisonnement et une meilleure compréhension conceptuelle (Sutopo *et al.*, 2012).

En cinématique où l'on décrit, étudie et prévoit les mouvements des corps, les RIO ne peuvent concerner que les concepts tels que le système de référence, temps, la position, la trajectoire, la vitesse, l'accélération, le mouvement, les équations-horaires, etc. En dynamique et applications des principes, les RI concernent les lois de Newton, le poids et la masse d'un corps ainsi que l'attraction universelle. (Bazangika *et al.*, 2024 ; Evrard & Plumet, 2022).

À ce propos, le tableau 1.2 mentionne les RI les plus persistantes en mécanique classique :

Tableau 1. 2. Causes et origines des RI les plus persistantes en mécanique

Conception naïve	Exemple	Causes de la persistance	Origines	Sources
Mouvement = Force nécessaire	Un objet en mouvement nécessite une force constante pour continuer à bouger.	Obstacles empirique et langagier de l'expérience quotidienne : les frottements (dominants) ont tendance à masquer la loi d'inertie.	Aristote : intuition sensorielle.	McCloskey, 1983
Trajectoire = Force continue	Une balle lancée a une force qui la pousse vers l'avant.	Confusion entre force et vitesse.	Langage courant : « la force du mouvement ».	Clement, 1982
Gravité = Propriété des objets	Les objets lourds tombent plus vite que ceux légers.	Observations limitées, par exemple entre une plume vs une pierre jetées en chute libre dans l'air.	Expérience empirique.	Champagne <i>et al.</i> , 1980
Énergie = Substance	L'énergie est 'dépensée' comme un carburant.	Analogie avec les liquides de suite du langage « stock d'énergie ».	Métaphores quotidiennes.	Duit, 1987
Action-Réaction annulée	Si j'appuie sur un mur, ma force et celle du mur s'annulent.	Difficulté à conceptualiser les interactions.	Méconnaissance des systèmes de forces.	Hellingman, 1989
Vitesse instantanée = Vitesse moyenne	Si une voiture accélère, sa vitesse à un instant est sa moyenne.	Abstraction mathématique difficile.	Confusion temps/espace.	Trowbridge & McDermott, 1981

Ce tableau 1.2 recense les principales idées fausses ou RI les plus résistantes en mécanique (cinématique, dynamique, énergie), leurs causes probables (empiriques, obstacles langagiers, biais cognitifs, enseignement inefficace...) et leurs origines éventuelles. Raison pour laquelle nous avons préféré l'utilisation d'un outil pédagogique technologique pour y remédier efficacement et pour tenter de les corriger efficacement.

Cette liste a été complétée dans les lignes qui suivent à travers les résultats obtenus lors de la pré-enquête de cette étude afin de démontrer son impact pédagogique.

1.6.5. La métacognition

La **métacognition** désigne la connaissance que l'on a de ses propres processus cognitifs et la capacité à les réguler (Flavell, 1976). Dans notre dispositif, elle est sollicitée lorsque l'apprenant compare ses réponses avant et après simulation, prend conscience de ses erreurs et ajuste sa compréhension. Cette prise de conscience est essentielle pour que le changement conceptuel soit durable.

1.7. LABORATOIRES VIRTUELS ET APPRENTISSAGE DE LA PHYSIQUE

1.7.1. Définition et potentiel pédagogique

Un laboratoire virtuel est un environnement numérique interactif qui simule des expériences scientifiques en permettant de manipuler des paramètres et d'observer les effets en temps réel (Brinson, 2015).

Avantages documentés (De Jong *et al.*, 2013) :

- **Accessibilité** : expériences coûteuses ou dangereuses réalisables en classe ;
- **Flexibilité** : paramètres modifiables à volonté ;
- **Sécurité** : aucun risque d'accident ;
- **Répétabilité** : expériences refaisables à l'infini.

1.7.2. Limites et conditions d'efficacité

Limites identifiées (Beaufils, 2001 ; Viennot, 1996) :

- absence de sensations tactiles ;
- risques de résultats figés ;
- difficultés d'intégration curriculaire ;
- nécessité de formation des utilisateurs.

Pour être efficace, un laboratoire virtuel doit s'inscrire dans une **ingénierie pédagogique** articulant simulation, réflexion individuelle et travail collaboratif (Smetana & Bell, 2012).

1.7.3. BRVL : un laboratoire adapté au contexte congolais

BRVL est le prototype d'un laboratoire virtuel qui a été conçu en tenant compte de ces acquis et limites. Son originalité réside dans son adaptation au contexte congolais :

- **curriculaire** : simulations couvrant les dix savoirs essentiels de la catégorie « mécanique » du programme national de physique ;
- **technique** : fonctionnement hors ligne sur équipements modestes (ordinateurs, smartphones) ;
- **pédagogique** : scénarios conçus pour générer des conflits sociocognitifs et corriger les RIO identifiées.

1.8. L'ÉPREUVE PRATIQUE DE PHYSIQUE EN RDC

Il a été démontré que dans les écoles secondaires en Afrique subsaharienne, l'enseignement de la physique pratique est confronté à plusieurs obstacles – théorisation à outrance, manque de ressources matérielles, compétences enseignantes insuffisantes, attitudes défavorables à l'expérimentation – créant un écart significatif entre la théorie enseignée et la compréhension des apprenants (Babalola & Ojobola, 2022).

En RDC, cette problématique se cristallise autour de l'Épreuve Pratique de Physique (EPP), communément dénommée « Laboratoire de physique ». Instituée en 1981 comme

épreuve hors-session de l'Examen d'État pour les finalistes de l'option Math-Physique (Bazangika, 2022 ; Bazangika *et al.*, 2024), cette évaluation sommative revêt un double caractère – qualitatif (qualité des expérimentations) et quantitatif (notation des acquis) – et poursuit des objectifs ambitieux : diagnostiquer de manière individualiste les compétences, initier à la quantification en physique, et compléter l'évaluation théorique de l'Examen d'État.

Son cadre réglementaire est précis : déroulement en laboratoire équipé, application stricte du Programme National de Physique (PNP) de 4^e année de Sciences, tirage aléatoire des questions, préparation de 15 minutes, examination par un jury autre que l'enseignant habituel, et validation docimologique des items par des experts (Bazangika, 2022 ; Bazangika *et al.*, 2024 ; MINEPSP, 2016).

Cependant, la réalité des provinces éducationnelles des Cataractes et de la Lukaya révèle un profond décalage avec ce cadre théorique. Faute de laboratoires équipés, l'épreuve se déroule dans des salles de cours ordinaires, donnant lieu à des pratiques d'improvisation généralisées : adaptation locale des questionnaires par l'IPP, composition des items la veille de l'épreuve en fonction du matériel disponible et du « niveau réel » présumé des candidats (pour éviter les échecs), affectation locale des inspecteurs, et finalement, théorisation quasi complète d'une épreuve censée être pratique (Bazangika, 2022 ; Bazangika *et al.*, 2024).

Cette situation entraîne de multiples conséquences dommageables : l'EPP n'atteint pas ses objectifs pédagogiques, ne convainc pas les apprenants de l'utilité de la physique, ne favorise ni leur autonomie ni leur compréhension pragmatique de la discipline, reste entachée de subjectivité, et surtout, crée une inégalité profonde entre établissements équipés et non équipés – vidant l'épreuve de son sens même (Bazangika *et al.*, 2024). Le programme de 4^e année, notamment sa partie consacrée à la mécanique, se trouve particulièrement affecté par ce manque de pragmatisme.

C'est pour répondre à ce double problème – **pragmatisation impossible par manque d'infrastructures et inégalité criante entre candidats** – que nous avons envisagé l'utilisation de BRVL comme support à l'EPP, permettant de restaurer le caractère pratique de l'épreuve tout en garantissant l'équité entre tous les candidats, indépendamment des ressources matérielles de leur établissement.

1.9. APPORT DE L'ANALYSE MULTICRITÈRE À LA VALIDATION DES OUTILS PÉDAGOGIQUES

L'évaluation d'un outil pédagogique comme BRVL ne peut reposer sur un seul critère. Elle doit prendre en compte des dimensions multiples, parfois contradictoires : conformité au programme, efficacité à corriger les erreurs et facilité d'utilisation. L'aide multicritère à la décision (MCDA) offre un cadre méthodologique pour traiter cette complexité (Roy, 1968 ; Figueira *et al.*, 2005).

1.9.1. Concepts fondamentaux

Plusieurs concepts sont centraux dans toute démarche multicritère (Ishizaka & Nemery, 2013) :

- un **critère** est une fonction d'évaluation qui permet de comparer des alternatives selon une dimension spécifique (exemple : conformité curriculaire) ;

- une **alternative** est une option parmi lesquelles le décideur doit choisir (par exemple, les six laboratoires virtuels comparés) ;
- un **poids** représente l'importance relative accordée à chaque critère ;
- un **classement** ordonne les alternatives selon leurs performances globales.

1.9.2. Méthodes mobilisées dans la recherche

Plusieurs familles de méthodes coexistent (Greco *et al.*, 2016) :

- les méthodes de **surclassement** (ELECTRE, PROMETHEE) comparent les alternatives par paires et identifient celles qui sont dominantes ;
- les méthodes **agrégatives** (AHP, TOPSIS) synthétisent les performances en un score unique ;
- l'**analyse conjointe** (Green & Srinivasan, 1990) permet de déterminer les poids des critères à partir des préférences exprimées par les évaluateurs.

1.9.3. Pertinence pour notre recherche

Dans cette thèse, l'analyse multicritère a été mobilisée pour **valider techniquement BRVL** auprès d'un panel d'enseignants experts. Les critères retenus (conformité curriculaire, construction des savoirs, correction des RIO, utilisabilité) l'ont été pour leur pertinence dans l'évaluation d'un outil pédagogique en contexte congolais. L'utilisation conjointe de huit méthodes (AHP, CAHP, TOPSIS, ELECTRE I, II, TRI, PROMETHEE I, II) et d'une analyse de sensibilité garantit la robustesse des résultats (Bazangika *et al.*, 2025).

1.10. CONCLUSION DU CHAPITRE 1

Ce chapitre a posé les fondements théoriques de la recherche : socioconstructivisme, approche sociogénétique, représentations initiales-obstacles, laboratoires virtuels, analyse multicritère et contexte de l'EPP en RDC. Ces éclairages permettent de situer la contribution originale de BRVL. Le chapitre suivant décrit la méthodologie déployée pour valider techniquement et pédagogiquement cet outil auprès des enseignants experts et des apprenants de Kimpese et Inkisi.

Chapitre 2. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Ce chapitre expose la démarche méthodologique mise en œuvre pour répondre aux questions de recherche et tester les hypothèses formulées. Il décrit successivement le schéma général de l'étude, les sites d'investigation, la conception de BRVL, les populations concernées, le dispositif expérimental, les instruments de collecte et les méthodes d'analyse des données.

2.1. SCHÉMA GÉNÉRAL DE LA RECHERCHE

La démarche adoptée s'articule autour de cinq phases principales, correspondant aux objectifs spécifiques de la thèse et couvrant la période 2022-2025.

- **Phase 1 : Préenquête (2022-2023)** : identification des RIO auprès de 72 apprenants et 22 enseignants, sélection des dix savoirs essentiels pour BRVL (Bazangika *et al.*, 2024).
- **Phase 2 : Conception de BRVL (2023-2024)** : développement itératif (Schild *et al.*, 2021) d'un laboratoire virtuel adapté au programme congolais, fonctionnant hors ligne sur équipements modestes (Blender, Babylon.js, SQLite).
- **Phase 3 : Tests et validation technique (septembre-octobre 2024)** : tests unitaires, validation par deux experts indépendants, phase pilote au Lycée Mfuki (n=30), puis évaluation multicritère par 22 enseignants experts (AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE).
- **Phase 4 : Formation des enseignants (octobre 2024)** : formation des 22 enseignants aux six laboratoires virtuels, puis formation spécifique des deux enseignants des groupes expérimentaux à l'approche sociogénético-constructiviste.
- **Phase 5 : Expérimentation et collecte (octobre 2024-janvier 2025)** : plan de Solomon (4 groupes, n=120), test/posttest, questionnaire d'opinion, et essai EPP auprès de 24 apprenants.

La figure 1 synthétise ces cinq phases.

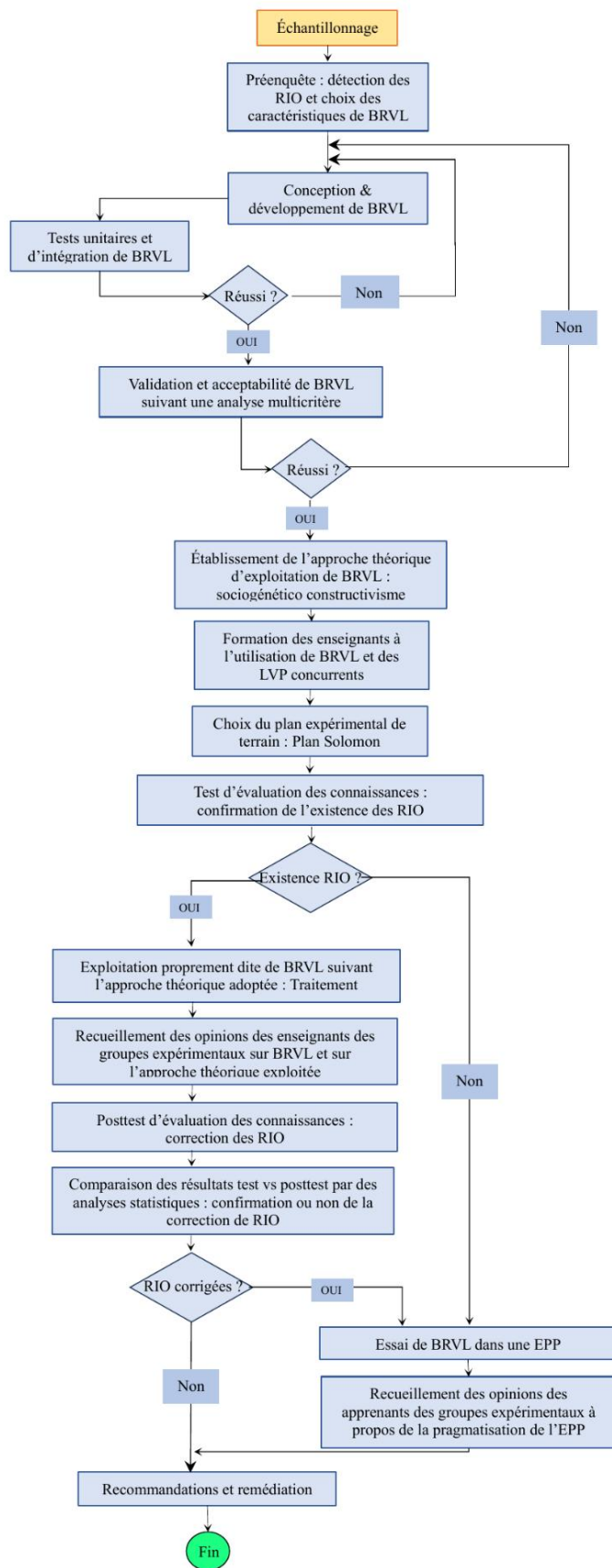


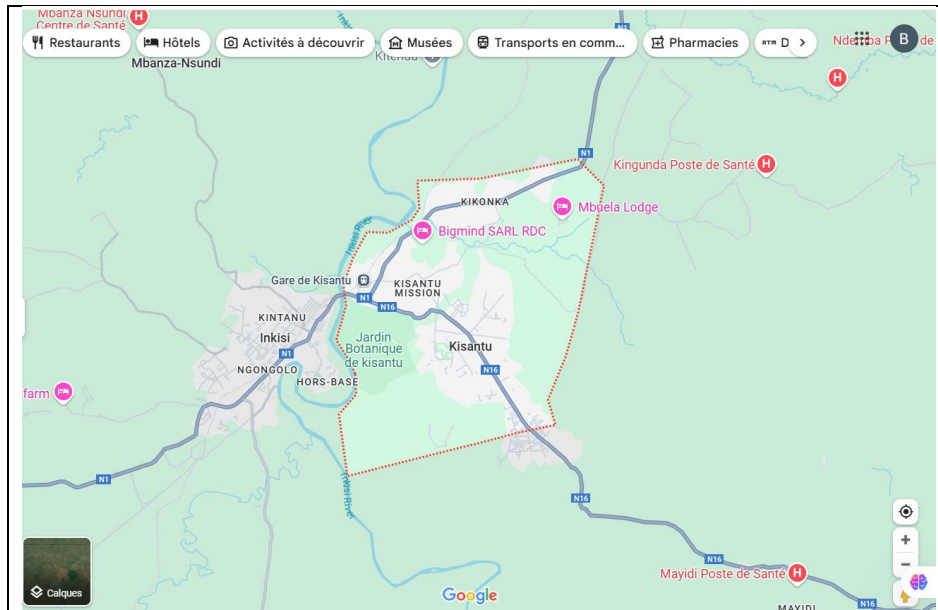
Figure 2. 1. Schéma méthodologique global

2.2. DESCRIPTION DES MILIEUX D'ÉTUDE

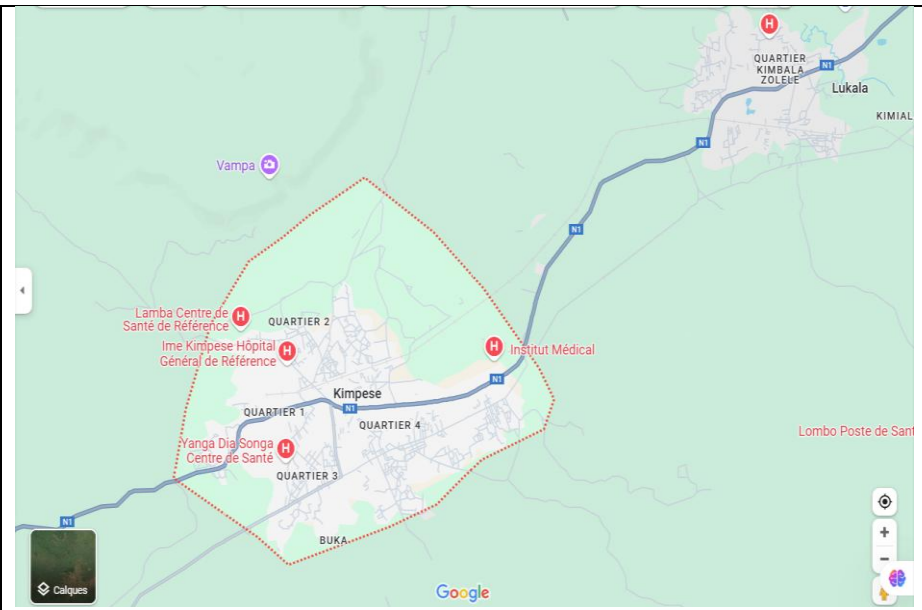
Inkisi est une Cité du Territoire de Madimba, Province du Kongo Central en République démocratique du Congo, située à quelque 120 kilomètres au sud de Kinshasa. Elle a comme coordonnées géographiques environ 5° 07' 60" Sud et 15° 04' 00" Est. Elle est située sur la route nationale 1 à 225 km au nord-ouest du chef-lieu de province Matadi (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Kisantu>). Elle comprend comme quartiers : Kintanu, Kikonka, Hors-Base, Gare, Carrière, Genève, Kasavubu, Kimbala, Kimbondo, Kinsinga, Loya, Maba, Nkandu, Wombo, Bukadi, Mfuki, Wete et Nsele (<https://www.google.com/maps/place/Kisantu/@>).

Kimpese est une Cité du Territoire de Songololo, Province du Kongo Central en République du Congo. Elle a comme coordonnées géographiques approximatives : Latitude : ~5° 33' 00" Sud ; Longitude : ~14° 25' 60" Est et Altitude : Environ 400 à 500 mètres au-dessus du niveau de la mer. Elle est située à environ 280 km (via la Route Nationale 1 – RN1), à environ 150 km de Matadi à l'est, à environ 50 km de Inkisi à l'ouest et à environ 90 km de Mbanza-Ngungu à l'ouest. Elle comprend comme quartiers : Quartier 1, Quartier 2, Quartier 3 Yanga dia Songa, Quartier 3 Fuawuna, Quartier 3 Madiadia, Quartier 4 IME et Quartier 4 Montfleury (<https://www.google.com/maps/place/Kimpese/@>).

Ci-dessous, les cartes géographiques de ces deux milieux ainsi présentés :



(https://www.google.com/maps/place/Inkisi/@-5.1314467,15.0249845,12.32z/data=!4m6!3m5!1s0x1a41f43b3c521323:0xb307a50e2cc478d6!8m2!3d-5.1382186!4d15.0908147!16s%2Fg%2F11px97qtlty?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDMyNS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)



(https://www.google.com/maps/place/Kimpese/@-5.5441568,14.4200158,13.18z/data=!4m6!3m5!1s0x1a43ad385fc2d7d9:0xec8758e483ac614d!8m2!3d-5.5603865!4d14.4373961!16s%2Fm%2F05h44yd?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDMyNS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)

Figure 2. 2. Cartes géographiques de Inkisi et de Kimpese

2.3. MATÉRIEL DE L'ÉTUDE

2.3.1. Population

La population mère de cette recherche est constituée de l'ensemble des apprenants de quatrième année de Sciences inscrits dans les écoles secondaires des cités d'Inkisi et de Kimpese durant l'année scolaire 2024-2025. Ces deux localités de la province du Kongo Central comptent respectivement 10 et 12 écoles organisant l'option Sciences, soit un total de 22 établissements. Selon les données fournies par les directions provinciales (PROVED Cataractes et Lukaya), la population s'élève à **385 apprenants** répartis comme suit : 167 à Inkisi et 218 à Kimpese (annexe I). Ces apprenants sont âgés de 16 à 20 ans pour la très grande majorité (95%), avec une répartition équilibrée entre filles (46,8%) et garçons (53,2%). Le choix de ces deux cités se justifie par la présence des laboratoires réels de physique.

2.3.2. Échantillon des apprenants pour la préenquête

La préenquête avait pour objectif d'identifier les représentations initiales-obstacles les plus fréquentes en mécanique avant la conception de BRVL. Un échantillon de **72 apprenants** (dont 36 garçons et 36 filles) a été constitué par tirage aléatoire simple sur un total de **192 apprenants** déterminé à l'aide de la table de Morgan et Krejcie (1970), garantissant une marge d'erreur acceptable. La répartition géographique (26 à Inkisi, 46 à Kimpese) respecte la proportionnalité du nombre d'écoles dans chaque cité. Ces 72 apprenants n'ont pas participé à la suite de l'expérimentation afin d'éviter tout biais de sensibilisation.

Les cartes géographiques ci-dessous illustrent mieux ces 22 écoles dans ces deux milieux d'étude. Il sied de noter que nous prenons toujours le soin de prélever les coordonnées de géolocalisation pendant notre parcours de prélèvement des données de notre enquête.

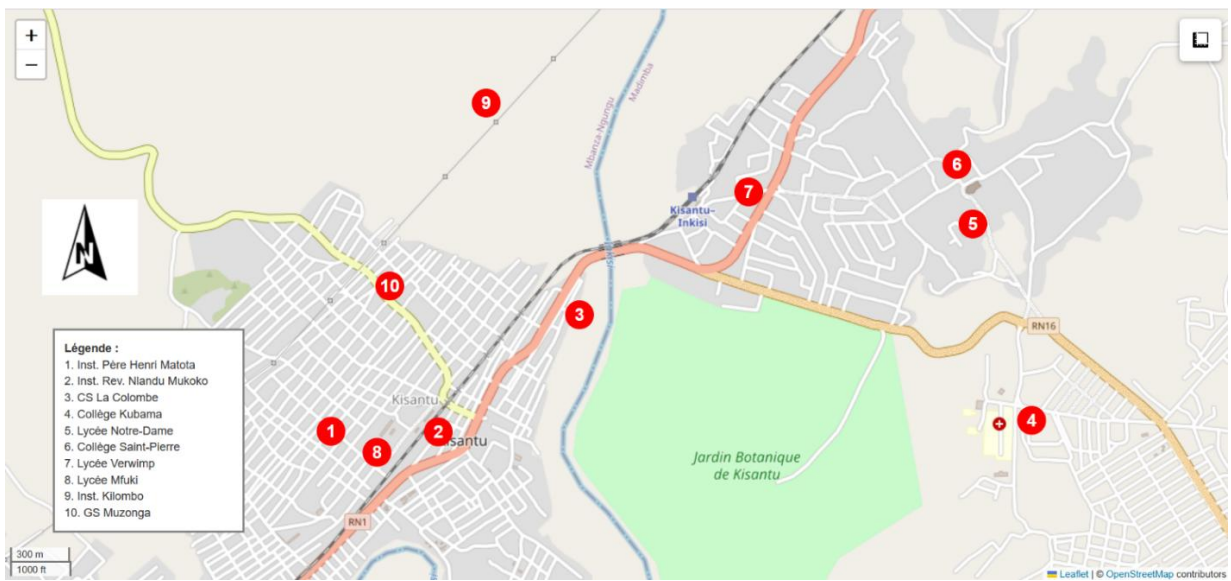
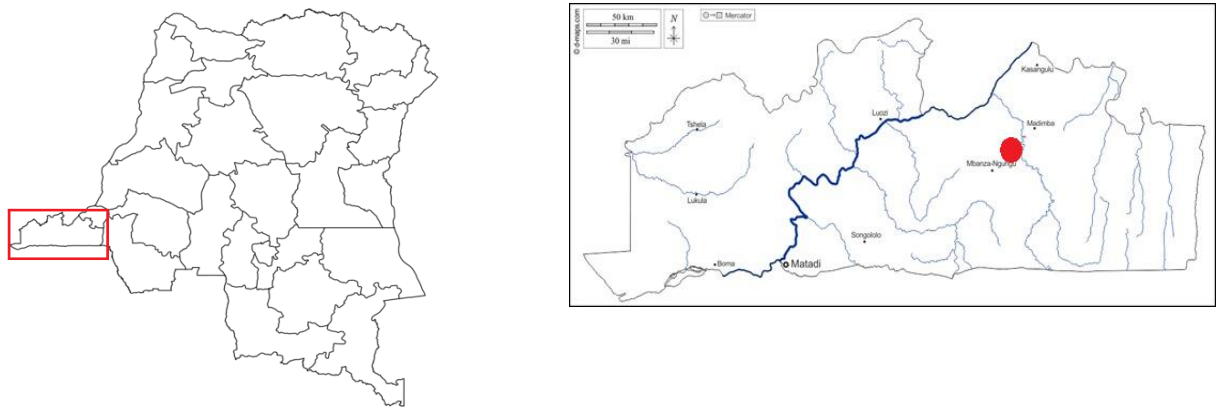


Figure 2. 3. Cartographie des écoles-cibles de la cité d’Inkisi

Ci-haut, les dix écoles faisant partie de notre population d’études dans la cité d’Inkisi.

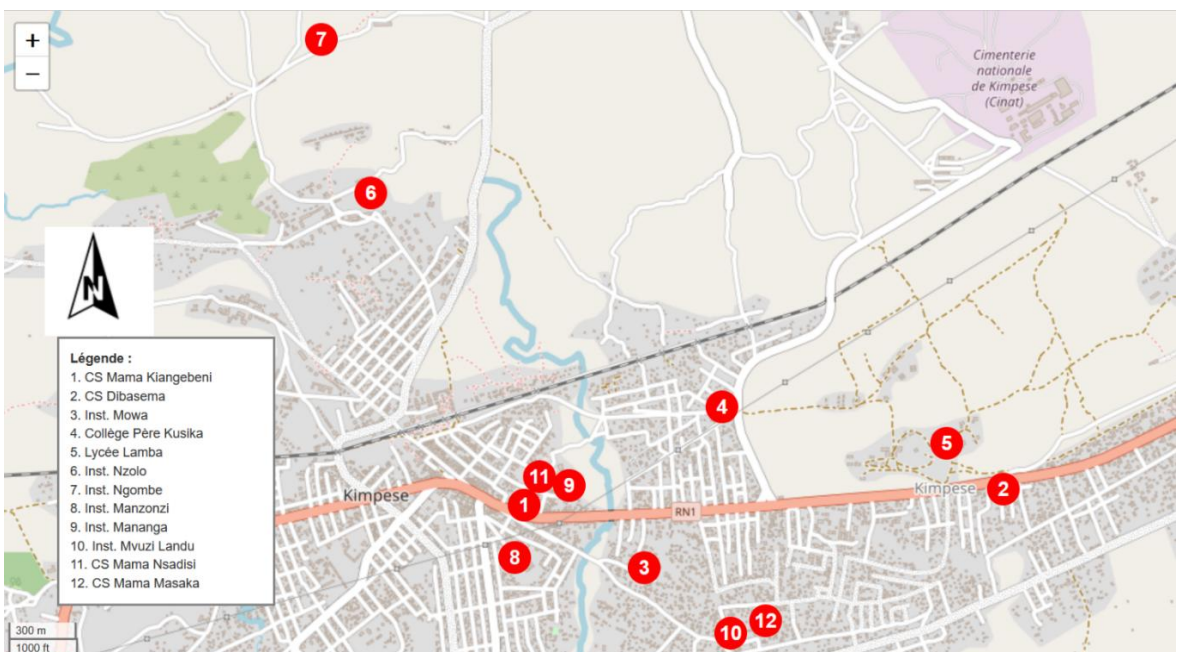
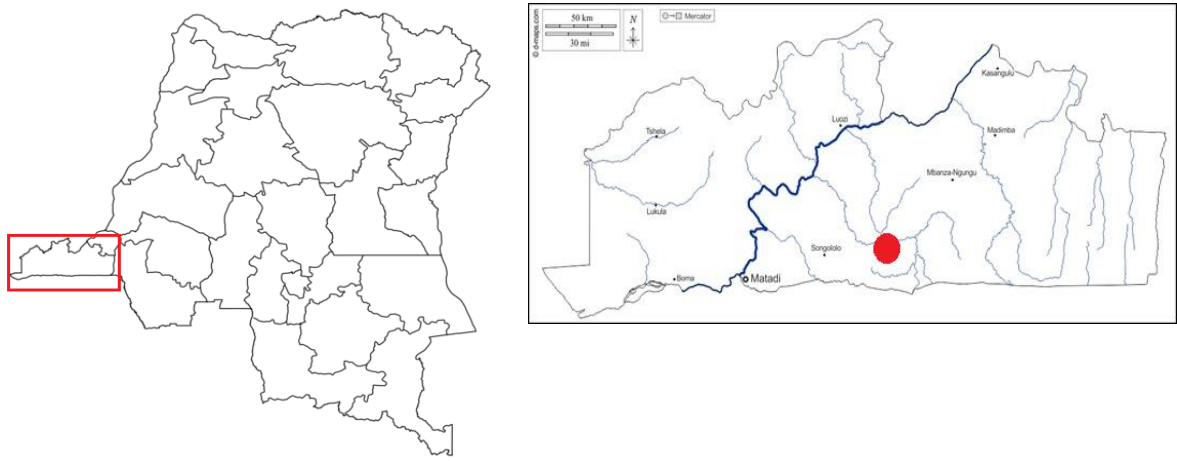


Figure 2. 4. Cartographie des écoles-cibles de la cité de Kimpese

Ci-haut, les douze écoles faisant partie de notre population d'études dans la cité de Kimpese.

2.3.3. Échantillon des apprenants pour l'expérimentation

Pour mesurer l'efficacité pédagogique de BRVL, nous avons constitué un échantillon de **120 apprenants** répartis en quatre groupes de 30 selon le plan de Solomon (Van der Maren, 2004). Le choix des établissements a obéi à des critères précis :

- **Deux écoles dotées d'un laboratoire réel de physique** (Collège Kubama à Inkisi, Institut Nzolo à Kimpese) ont été retenues comme groupes contrôles (Gr.Ctrl.), afin de comparer BRVL non seulement à l'enseignement traditionnel mais aussi à l'usage d'un laboratoire concret.
- **Deux écoles dépourvues de laboratoire** (Institut Kilombo à Inkisi, Institut Manzonzi à Kimpese) ont constitué les groupes expérimentaux (Gr.Exp.), permettant d'évaluer l'apport de BRVL dans des contextes défavorisés.

Dans chaque école, les 30 apprenants ont été sélectionnés aléatoirement parmi les élèves de quatrième année Sciences, après stratification par sexe pour garantir l'équilibre. La répartition finale est la suivante :

Tableau 2. 1. Constitution des groupes expérimentaux et de contrôle

Groupe	Établissement	Localité	Laboratoire	Effectif	Filles	Garçons
Gr. Exp. 1	Institut Kilombo	Inkisi	Non	30	17	13
Gr. Contrôle 1	Collège Kubama	Inkisi	Oui	30	17	13
Gr. Exp. 2	Institut Manzonzi	Kimpese	Non	30	11	19
Gr. Contrôle 2	Institut Nzolo	Kimpese	Oui	30	11	19
Total				120	56	64

2.3.4. Panel d'experts-enseignants pour la validation technique de BRVL

La validation technique de BRVL a mobilisé un panel distinct de **22 enseignants de physique** exerçant dans les 22 écoles de la population mère. Ces enseignants ont été sollicités en tant qu'**experts-évaluateurs** et non comme sujets de l'expérimentation. Leur rôle consistait à :

- évaluer la pertinence pédagogique de BRVL et de cinq autres laboratoires virtuels selon quatre critères (conformité curriculaire, construction des savoirs, correction des RIO, utilisabilité) ;
- participer à l'analyse conjointe (Green & Srinivasan, 1990) pour la pondération des critères ;
- contribuer à l'analyse multicritère (AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE) ayant abouti au classement de BRVL.

Tous ces enseignants justifient d'au moins de trois ans d'expérience dans l'enseignement de la physique en quatrième année de Sciences. Ils ont également été associés à la phase de test de BRVL (validation externe) et à la formation spécifique pour les enseignants des groupes expérimentaux.

2.3.5. Processus et outils de collecte des données

2.3.5.1. Constitution du focus group

Pour garantir la validité de contenu des instruments de collecte, un focus group a été constitué, réunissant six experts aux compétences complémentaires :

- **deux physiciens** (dont l'un a joué le rôle de modérateur), chargés d'élaborer les items en rapport avec la mécanique et les RIO y relatives ;
- **un inspecteur de physique**, garant de l'alignement des items avec les objectifs pédagogiques officiels ;
- **un informaticien**, responsable des aspects techniques liés au logiciel et à la présentation des instruments ;
- **un psychopédagogue**, en charge de la validation pédagogique (respect de la taxonomie, docimologie) et de la proposition des tests statistiques ;
- **un linguiste**, chargé de vérifier la clarté et la précision linguistique des items.

Ce groupe s'est réuni à plusieurs reprises entre avril 2022 et mai 2025 pour discuter de la traçabilité méthodologique, reformuler les items ambigus, valider les manipulations réalisables selon le programme national, et analyser la cohérence des checklists.

2.3.5.2. Choix et construction des instruments de collecte des données

Sept instruments principaux ont été élaborés, correspondant aux différentes phases et populations de la recherche :

1. **Questionnaire – chefs d'établissement** (22 items) : évaluation des compétences pédagogiques des enseignants et des conditions d'enseignement de la physique.
2. **Questionnaire – enseignants (préenquête)** (52 items) : recueil des pratiques déclarées, des difficultés rencontrées et des attentes vis-à-vis des laboratoires virtuels.
3. **Questionnaire – apprenants (préenquête)** (56 items) : identification des RIO et analyse de leurs origines (pratiques culturelles, usage des TIC, etc.).
4. **Test de connaissances – apprenants (enquête proprement dite)** (30 items) : évaluation des acquis en mécanique avant l'intervention.
5. **Posttest de connaissances – apprenants (enquête proprement dite)** (30 items) : identique au test pour permettre la comparaison.
6. **Questionnaire d'opinion – apprenants (enquête proprement dite)** (32 items) : satisfaction des apprenants des groupes expérimentaux concernant BRVL et l'approche pédagogique.
7. **Grille d'évaluation de l'EPP – apprenants (enquête proprement dite)** (27 items) : évaluation des compétences expérimentales lors de l'essai de l'épreuve pratique.

La construction de ces instruments a suivi une démarche rigoureuse : définition des objectifs, élaboration d'une version provisoire, soumission au focus group, reformulation, puis validation statistique préalable (tests de cohérence interne, clarté des items).

2.3.5.3. Validation Statistique des instruments de collecte des données

Avant leur administration définitive, tous les instruments ont été soumis à des tests de fiabilité :

- **Alpha de Cronbach** : évaluation de la cohérence interne (seuil minimal fixé à 0,70) ;
- **W de Kendall** : mesure de l'accord inter-juges pour les items soumis à évaluation par plusieurs experts ;
- **Tests de normalité** (Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk) pour vérifier la distribution des données.

Les items présentant une corrélation trop faible avec le score total ont été reformulés ou supprimés après analyse factorielle exploratoire (réalisée sous SPSS 23). Une validation externe complémentaire a été effectuée par deux experts indépendants (un physicien et un informaticien) pour éliminer les risques de biais de confirmation.

2.3.6. Distinction méthodologique

Il importe de souligner que seuls les **apprenants** constituent les unités statistiques de cette recherche. Les mesures d'efficacité pédagogique (taux de correction des RIO, comparaisons inter-groupes, tailles d'effet) portent exclusivement sur leurs performances. Les enseignants, en tant qu'experts-évaluateurs, interviennent en amont pour valider techniquement l'outil, mais ne sont pas intégrés dans les analyses statistiques relatives à la correction des RIO. Cette distinction garantit la clarté méthodologique et répond aux exigences de validité interne.

2.4. DÉROULEMENT

Le déroulement de la recherche suit les cinq phases présentées plus haut. Nous détaillons ici les aspects qui n'ont pas été couverts dans le schéma général, en particulier la conception de BRVL, les tests, la formation, le dispositif expérimental, la validation technique et les méthodes d'analyse.

2.4.1. Préenquête

La préenquête (2022-2023) a été détaillée à la Section 2.1. Rappelons qu'elle a permis d'identifier les RIO les plus fréquentes en mécanique auprès de 72 apprenants et de 22 enseignants, et de sélectionner les dix savoirs essentiels implémentés dans BRVL (Bazangika *et al.*, 2024). Ses résultats ont directement orienté la conception de l'outil.

2.4.2. Conception et développement de BRVL

La conception de BRVL a suivi une méthodologie itérative (Schild *et al.*, 2021) associant une équipe pluridisciplinaire (physiciens, didacticiens, informaticiens, linguistes). Le développement a comporté plusieurs étapes :

- **Modélisation conceptuelle** : définition des objectifs pédagogiques, des scénarios d'apprentissage et de l'architecture du logiciel (catégories, sous-catégories, expériences).

- **Modélisation 3D** : création des objets et environnements avec Blender, en optimisant le nombre de polygones pour garantir la compatibilité avec des équipements modestes.
- **Programmation** : développement de l'interactivité avec Babylon.js, implémentation du moteur physique (équations de la cinématique, dynamique et énergie mécanique), et conception de la base de données SQLite pour le stockage des scores.
- **Intégration pédagogique** : élaboration des items de détection des RIO et des items de correction, structurés selon le principe "pré-test → simulation → post-test → feedback".

BRVL a été conçu pour fonctionner hors ligne, sur ordinateur comme sur smartphone, afin de s'adapter aux contraintes infrastructurelles des sites étudiés.

L'interface utilisateur a été conçue pour être intuitive et adaptée au public cible. Elle suit une arborescence logique : page d'accueil → catégorie "Mécanique" → sous-catégories (cinématique, dynamique, énergie mécanique) → expériences spécifiques. Chaque page d'expérience est structurée de manière identique pour faciliter la prise en main : objectif, items de détection des RIO, simulation paramétrable, items de correction, et affichage des scores avant/après.

Les figures 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 et 2.12 présentent quelques interfaces caractéristiques de BRVL. La figure 2.5 montre la page d'accueil. La figure 2.6 montre l'organisation des sous-catégories. La figure 2.7 montre les savoirs essentiels de la sous-catégorie « cinématique ». La figure 2.8 montre les savoirs essentiels de la sous-catégorie « dynamique ». La figure 2.9 montre les savoirs essentiels de la sous-catégorie « énergie mécanique ». La figure 2.10 illustre une page d'expérience (ici, les items sur les « Éléments de base de la cinématique »). La figure 2.11 illustre une page d'expérience (ici, l'espace de simulation sur les « Éléments de base de la cinématique »). La figure 2.12 présente l'écran de correction apparaissant après la simulation, permettant à l'apprenant de visualiser sa progression.



Figure 2. 5. Page d'accueil de BRVL

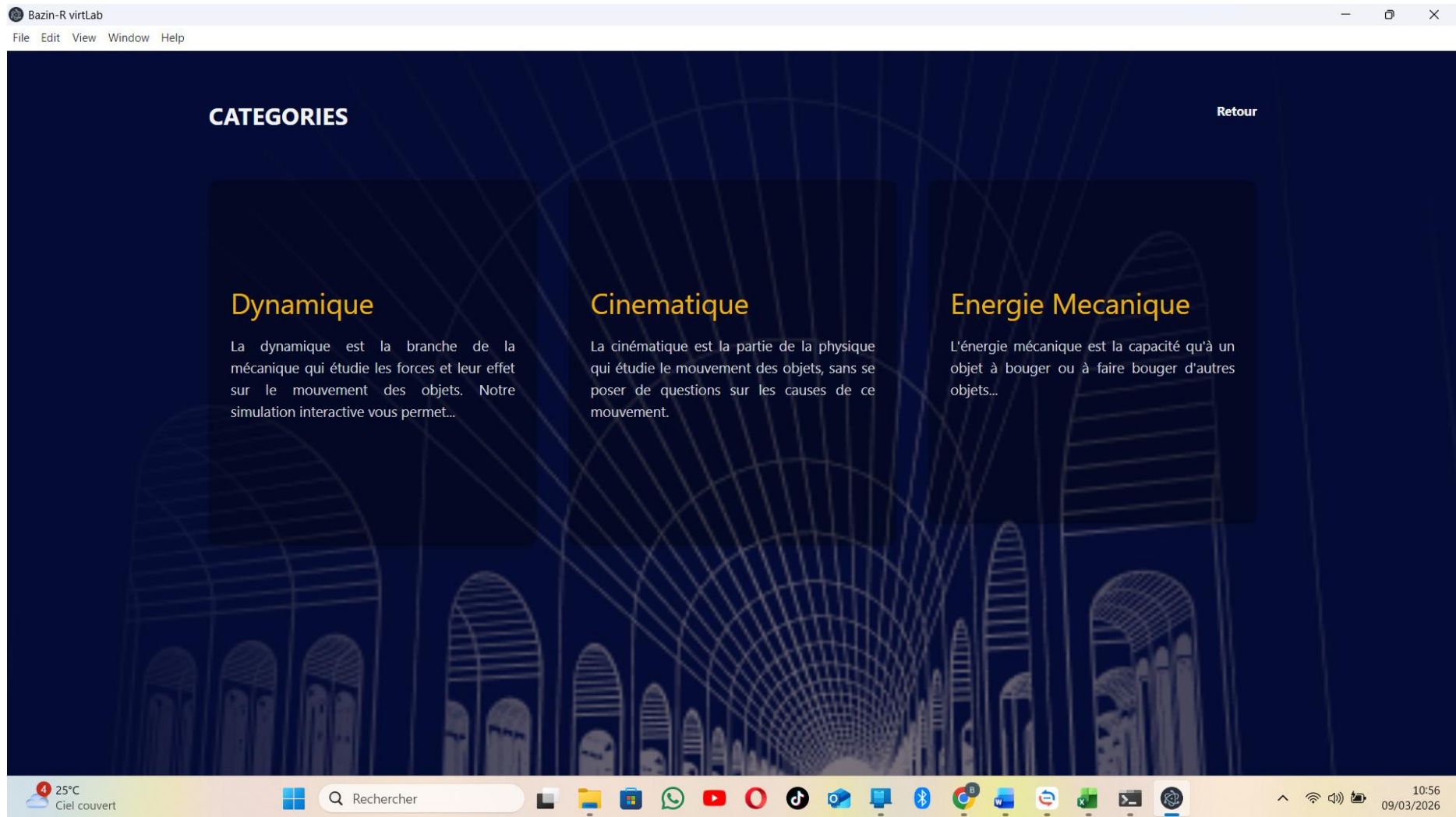


Figure 2. 6. Organisation des sous-catégories

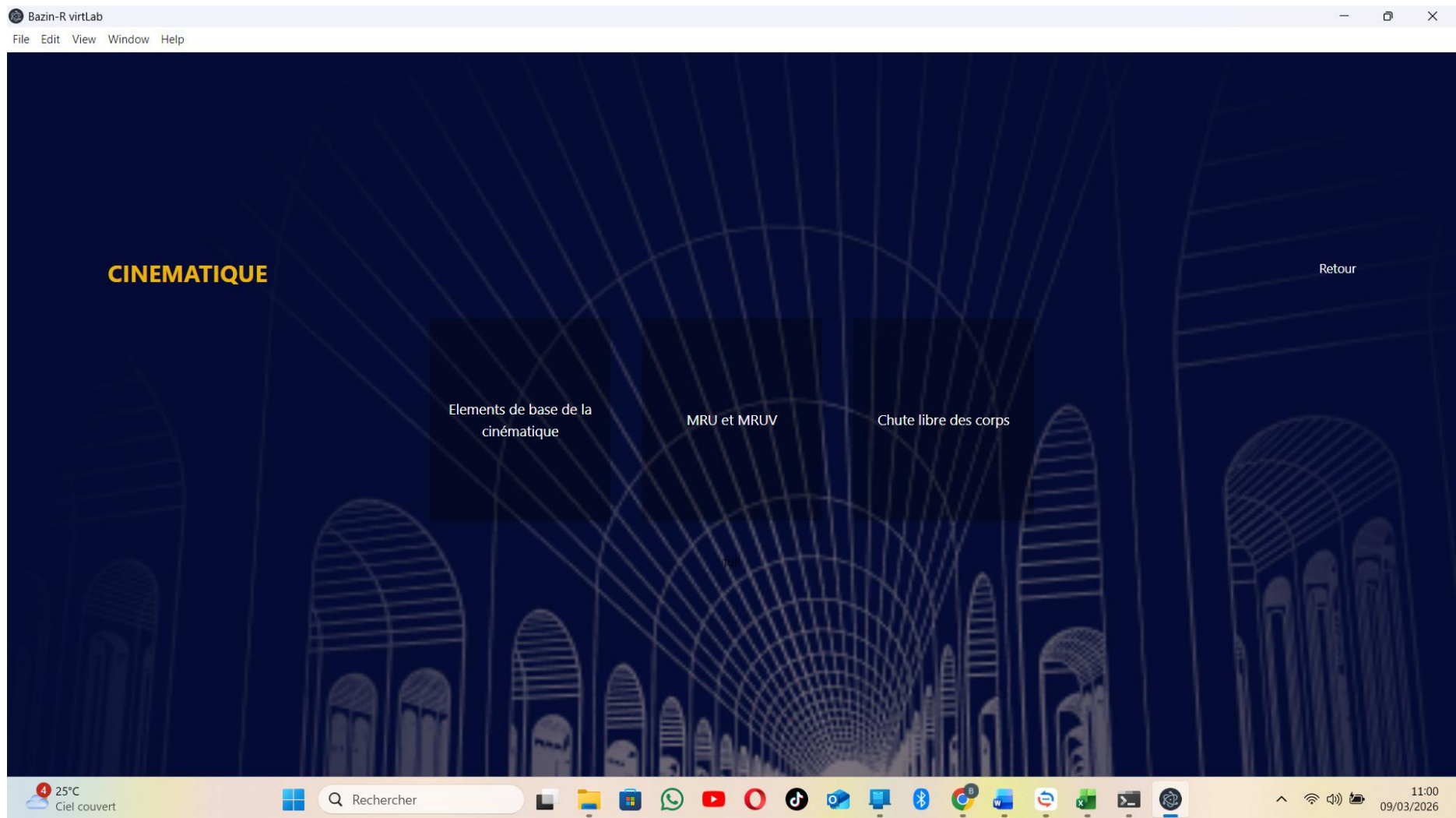


Figure 2. 7. Savoirs essentiels de la sous-catégorie "cinématique"

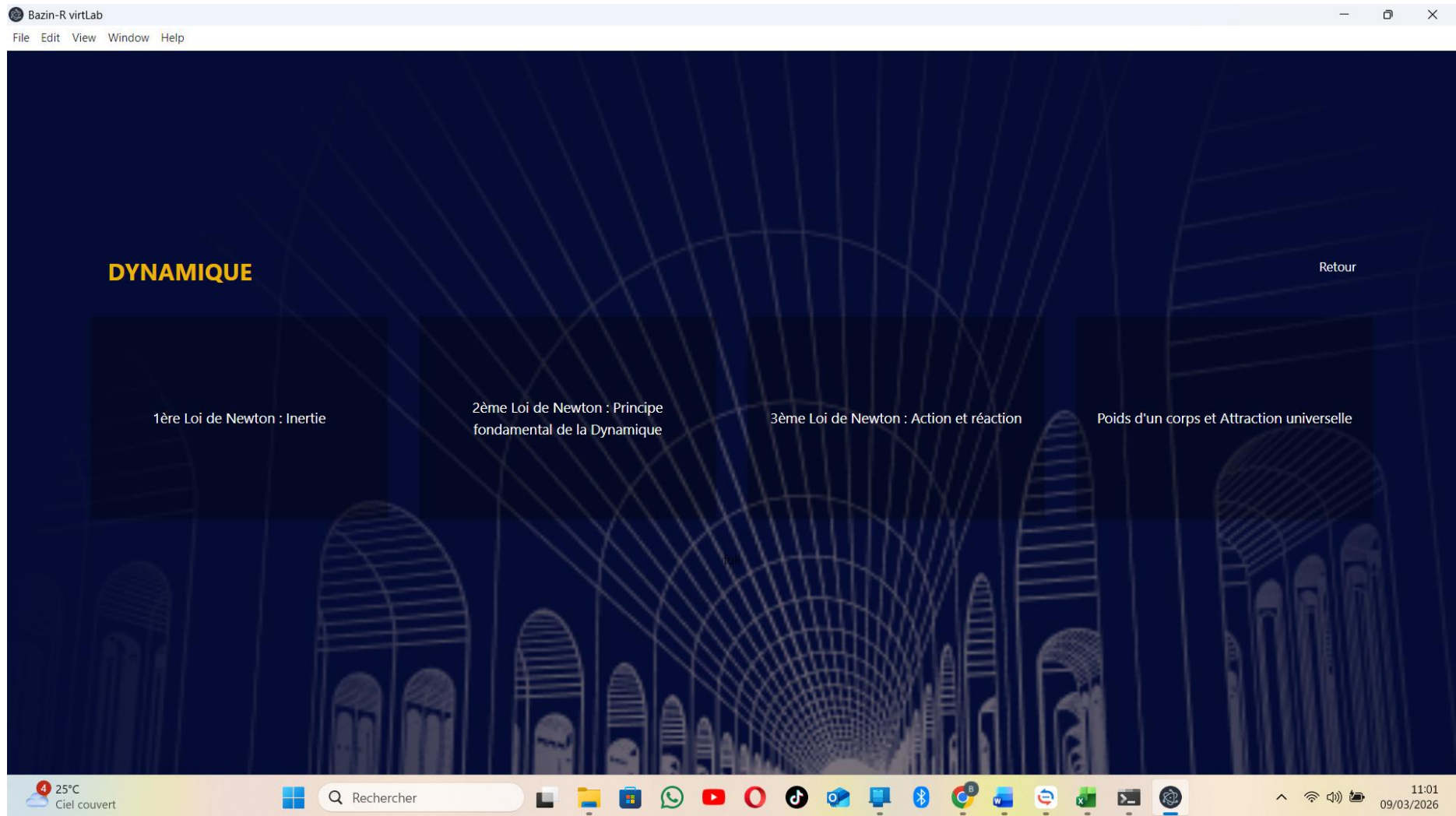


Figure 2. 8. Savoirs essentiels de la sous-catégorie "dynamique"

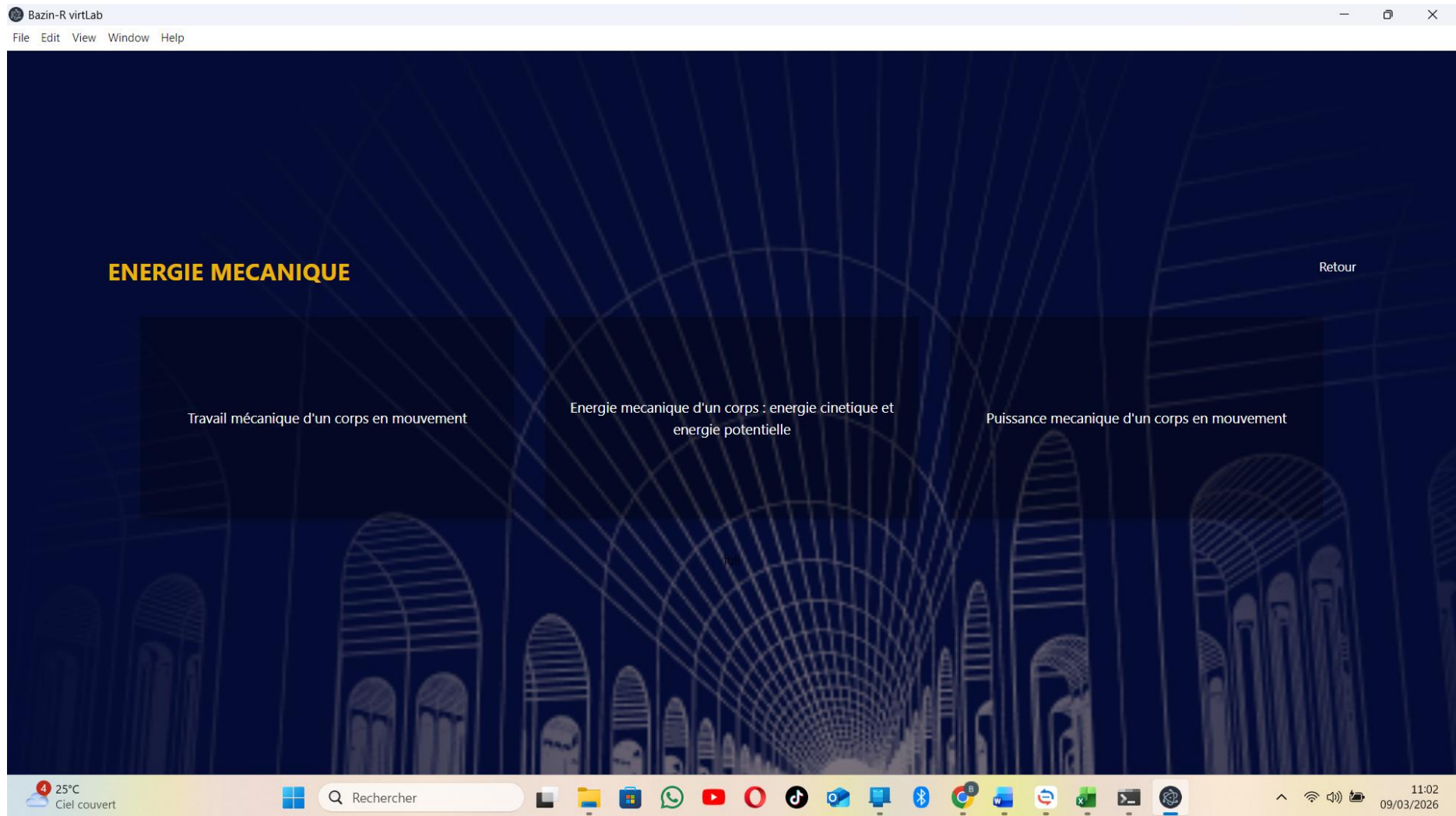


Figure 2. 9. Savoirs essentiels de la sous-catégorie "énergie mécanique"

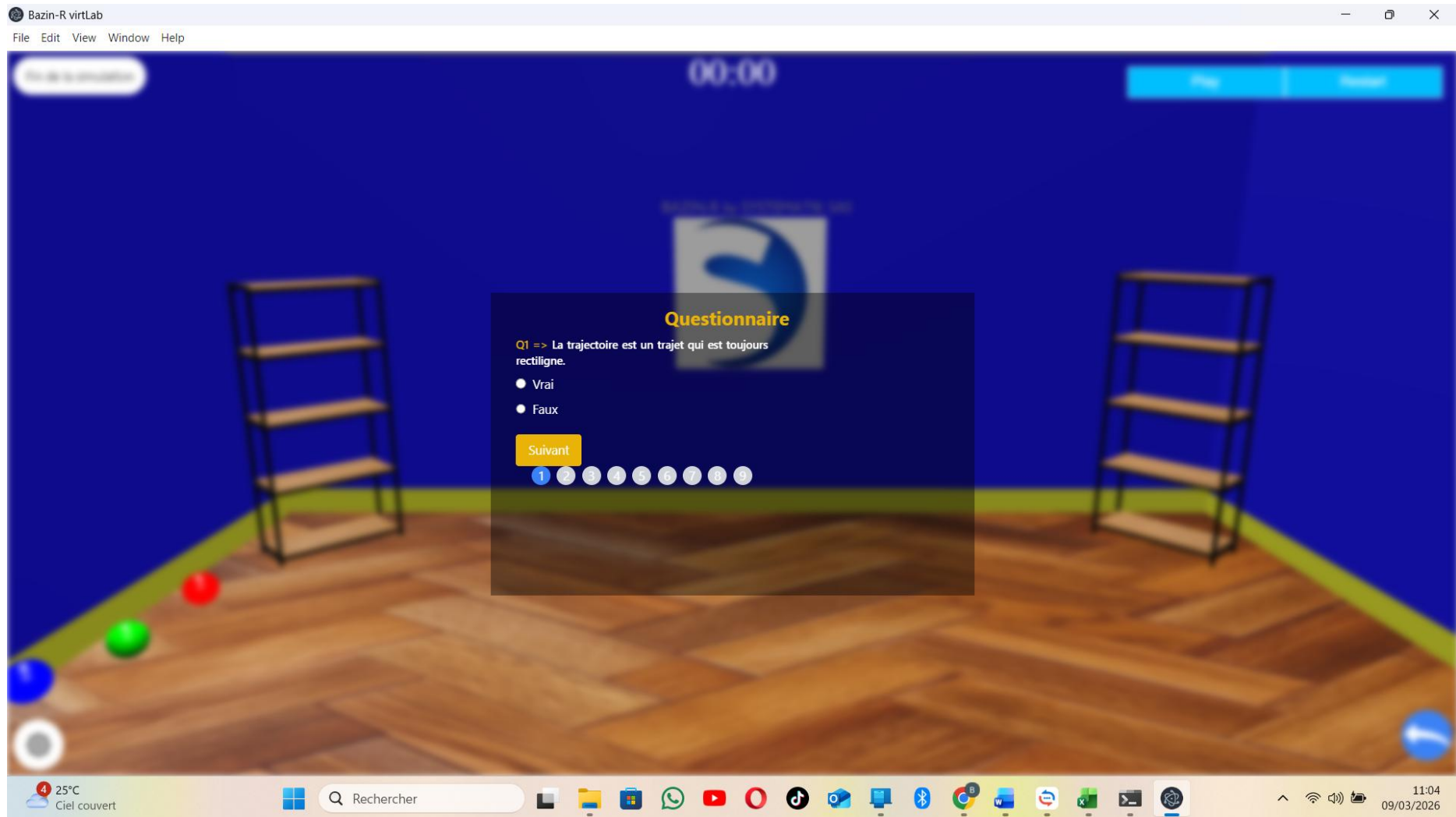


Figure 2. 10. Présentation des items à propos de l'expérience sur les "éléments de base de la cinématique"

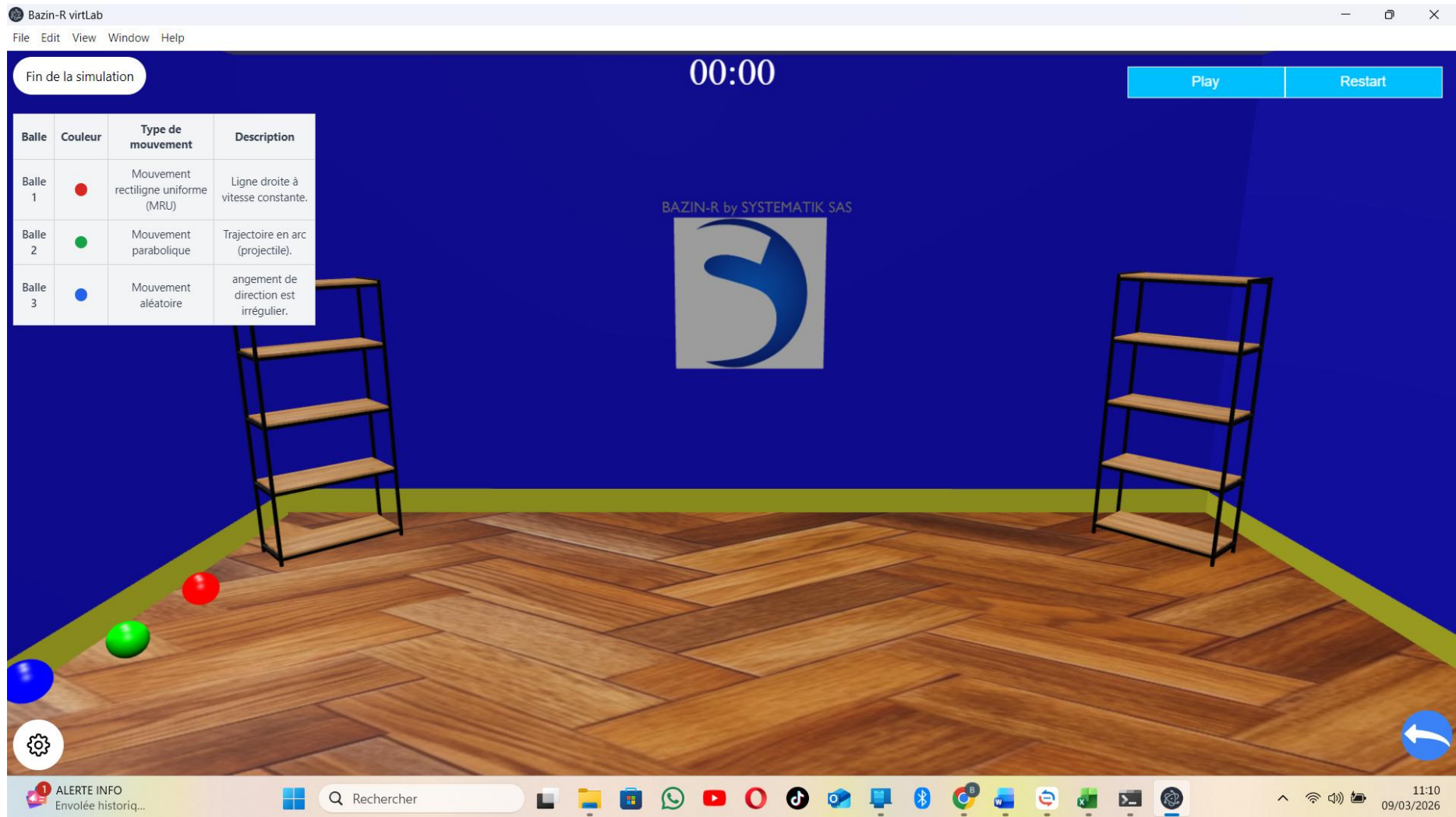


Figure 2. 11. Présentation de l'espace de simulation à propos de l'expérience sur les "éléments de base de la cinématique"

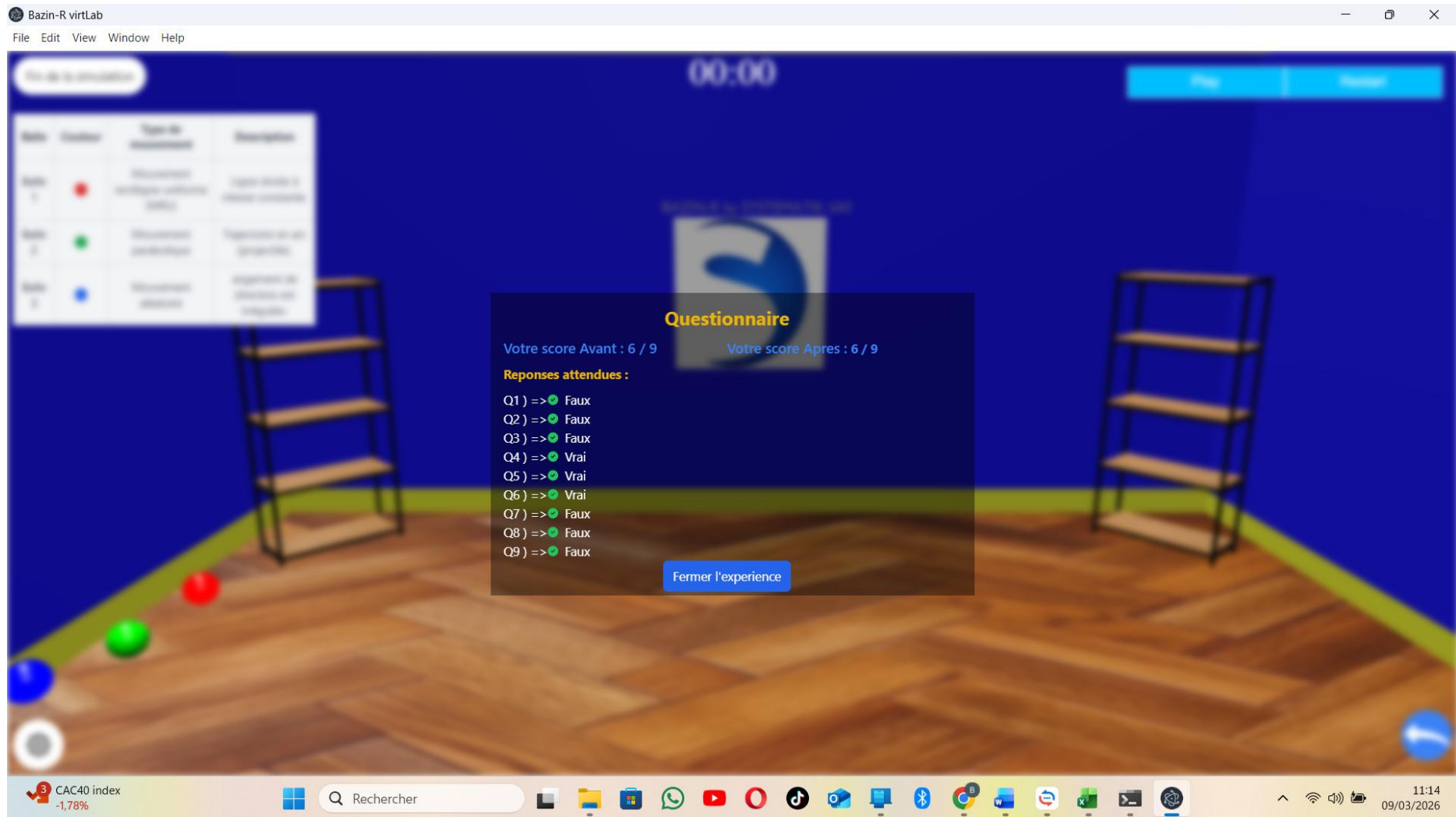


Figure 2. 12. Présentation des scores et du corrigé à propos de l'expérience sur les "éléments de base de la cinématique"

En double-cliquant sur l'icône de l'application BRVL, l'application se lance et la page d'accueil principale s'affiche.

S'agissant de la navigation dans les menus de BRVL, le parcours est intuitif et linéaire, comme un livre dont vous tournez les pages. Le tableau 2.2 explique les étapes à suivre pour naviguer avec BRVL :

Tableau 2. 2. Étapes de navigation de BRVL

Étape	Action à réaliser	Écran et Résultat
1	Sur la page d'accueil principale, lisez la description et cliquez sur le bouton Commencer.	Vous accédez à la page de la catégorie "Mécanique".
2	Sur la page "Mécanique", vous voyez les trois sous-catégories. Cliquez sur celle que vous souhaitez explorer, par exemple Cinématique.	Vous accédez à la page d'accueil de la sous-catégorie "Cinématique".
3	La page "Cinématique" liste les savoirs essentiels. Choisissez un sujet, par exemple MRU et MRUV.	Vous accédez à la page dédiée au savoir essentiel "MRU et MRUV".

Pour Revenir en arrière, il est recommandé d'utiliser toujours le bouton « Retour » en haut de l'écran pour revenir à la page précédente.

La structure de la page d'un savoir essentiel comprend :

1. **Objet du Savoir** : Lire attentivement l'objectif de l'expérience.
2. **RIO** : Identifier les RIO des apprenants par le guide.
3. **Matériels & Concepts** : Prendre connaissance des outils virtuels et des définitions théoriques.
4. **Formules de base** : Consulter les équations qui régissent l'expérience.
5. **Paramètres modifiables** : C'est ici que l'apprenant agit ! Repérer les champs à ajuster (masse, vitesse initiale, force).

Ainsi,

1. **Avant la simulation** :
 - Répondre aux items d'identification des RIO. Un score initial est enregistré.
2. **Pendant la Simulation** :
 - Cliquer sur le bouton de lancement de la simulation.
 - Modifier les paramètres et observer en temps réel l'effet sur l'expérience.
 - Effectuer des mesures à l'aide des instruments virtuels.
 - Répéter l'expérience avec plusieurs jeux de paramètres pour bien comprendre les relations entre les grandeurs physiques.
3. **Après la simulation** :
 - Consulter les items de correction des RIO pour vérifier les réponses initiales.
 - Un score final est calculé et comparé au score initial, afin de permettre une visualisation nette du progrès ainsi accompli : c'est cela la correction des RIO !

2.4.3. Tests et ajustements

BRVL a été soumis à trois niveaux de tests (septembre-octobre 2024) :

- **Tests unitaires** : vérification du fonctionnement de chaque module et correction des bugs techniques.

- **Validation externe** : évaluation par deux experts indépendants (un physicien et un informaticien) qui ont examiné l’ergonomie, la pertinence scientifique des simulations et identifié des améliorations (design, précision de certaines expériences).
- **Phase pilote** : expérimentation en classe réelle au Lycée Mfuki (Inkisi) auprès de 30 apprenants, permettant d’ajuster les scénarios pédagogiques, les fiches d’exploitation et la durée des séances (passage de 60 à 45 minutes).

Les retours de ces tests ont conduit à des modifications : changement de dénomination ("Bazin-R" est devenu "Bazin-R VirtLab"), repositionnement de certaines expériences, ajout de chronomètres et de formules, amélioration de l’interface.

2.4.4. Estimation du coût de développement de BRVL

L’estimation du coût de développement de BRVL est détaillée dans le tableau 2.3.

Tableau 2. 3. Estimation du coût de développement de BRVL

Poste de dépense	Éléments inclus	Estimation (USD)
Ressources humaines	Développeur 3D (Blender), programmeur (Babylon.js / Javascript), intégrateur	1500
Équipement	Ordinateurs performants (RAM >12Go)	1500
Internet	Abonnement continu	300
Tests et validation	Déplacements, formations, frais de terrain	500
Documentation et support	Rédaction des guides, fiches pédagogiques	200
Total estimé		4.000

Pour BRVL, développé dans le cadre d'une recherche doctorale avec des technologies open source (Blender, Babylon.js, JavaScript) et ciblant dix savoirs essentiels, le coût total est estimé entre 4.000 dollars. Cette estimation inclut les ressources humaines (développement 3D et programmation), l'équipement informatique nécessaire et les frais de terrain pour les tests et validations. Ce montant, modeste comparé aux équipements de laboratoire réel (40 000 à 55 000 dollars selon une étude américaine), confirme la pertinence économique de l'approche virtuelle pour les contextes à ressources limitées. Cette estimation se justifie par plusieurs facteurs :

- Technologies open source : L'utilisation de Blender (gratuit), Babylon.js (open source), JavaScript et SQLite réduit considérablement les coûts de licence.
- Contexte de recherche : Le développement s'inscrit dans un travail doctoral, avec une contribution intellectuelle du chercheur qui n'est pas facturée comme le serait un développement commercial.
- Spécificités de BRVL : L'outil cible spécifiquement 10 savoirs essentiels, ce qui limite l'ampleur du développement.
- Retour sur investissement : Comme le souligne Falode & Gambari (2017), bien que le développement puisse être coûteux, les bénéfices éducatifs (gain moyen de 33,45 points aux tests) justifient l'investissement.

2.4.5. Scénario d'utilisation de BRVL

Le tableau 2.4 présente le scénario d'un apprenant qui étudie l'influence de la masse sur la chute libre des corps.

Tableau 2. 4. Étude de l'influence de la masse sur la chute des corps

Étape	Actions concrètes de l'utilisateur	Ce qui se passe à l'écran
1. Accès	L'apprenant lance BRVL > Commencer > Mécanique > Cinématique > Chute libre des corps.	L'écran "Chute libre" s'affiche avec toutes ses sections.
2. Test	L'apprenant répond à la question : « Selon vous, un corps lourd tombe-t-il plus vite qu'un corps léger dans le vide ? »	Le score initial est enregistré (exemple : 0/1 si la réponse est « Oui »).
3. Paramétrage	Dans la section Paramètres, il configure : - Masse du corps 1 : 1 kg - Masse du corps 2 : 100 kg - Hauteur de chute : 50 m	Les valeurs sont saisies. L'écran montre deux corps de tailles différentes prêts à être lâchés.
4. Expérience	Il clique sur le bouton Lâcher.	Les deux corps sont libérés simultanément. L'apprenant observe qu'ils touchent le sol exactement au même moment. Un chronomètre virtuel affiche le temps de chute.
5. Analyse	Il modifie la hauteur (100 m) et relance la simulation.	Le temps de chute augmente, mais les deux corps restent toujours côte à côte.
6. Post-test & Correction	Il consulte la correction qui explique le principe d'équivalence et cite l'expérience de Galilée.	Son score final est de 1/1. L'apprenant visualise sa progression et comprend que la masse n'influe pas sur la vitesse de chute dans le vide.

Il est conseillé à l'enseignant d'utiliser BRVL en projection pour que tous les apprenants voient au même moment et, aussi, d'évaluer l'acquisition immédiate d'un concept grâce aux items de score avant/après simulation.

2.4.6. Formation des enseignants

En octobre 2024, deux sessions de formation ont été organisées :

- Une première session a réuni les **22 enseignants** de la population pour les former à l'utilisation des six laboratoires virtuels en compétition (Algodoo, BRVL, LVP, Physic virtual lab, Physion, Virtual Lab). Cette formation, assurée par un expert indépendant en TICE, visait à garantir que tous les évaluateurs maîtrisent les outils avant la phase de notation.
- Une seconde session, spécifique aux **deux enseignants des groupes expérimentaux**, a approfondi l'approche sociogénético-constructiviste et l'utilisation pédagogique de BRVL (fiches de préparation, gestion des groupes hétérogènes, exploitation des conflits sociocognitifs).

2.4.7. Dispositif expérimental : le plan de Solomon

Pour mesurer l'effet de BRVL sur la correction des RIO tout en contrôlant les sources potentielles de biais, nous avons adopté le plan expérimental de Solomon (Solomon, 1949), également appelé "plan à quatre groupes". Ce dispositif est reconnu en sciences de l'éducation pour sa capacité à isoler l'effet réel d'un traitement des effets parasites liés à la mesure préalable (Van der Maren, 2004).

2.4.7.1. Principes du plan Solomon

Le plan de Solomon combine deux dispositifs classiques : le plan test-posttest avec groupe contrôle, et le plan posttest seulement avec groupe contrôle. Il comprend quatre groupes répartis aléatoirement (Campbell & Stanley, 1963) :

Tableau 2. 5. Organisation des groupes selon le plan Solomon

Groupe	Test	Traitement	Posttest
Groupe 1 (expérimental)	Oui	Oui	Oui
Groupe 2 (contrôle)	Oui	Non	Oui
Groupe 3 (expérimental)	Non	Oui	Oui
Groupe 4 (contrôle)	Non	Non	Oui

Ce dispositif permet de :

- mesurer l'**effet principal du traitement** en comparant les groupes 1 et 3 (avec traitement) aux groupes 2 et 4 (sans traitement) ;
- évaluer l'**effet de la mesure préalable** (test) en comparant les groupes 1 et 2 (avec test) aux groupes 3 et 4 (sans test) ;
- détecter d'éventuelles **interactions** entre le test et le traitement (comparaison spécifique groupes 1 et 3) ;
- contrôler les **effets de maturation** et d'**histoire** (évolution naturelle des sujets) grâce aux groupes contrôles (Shadish, Cook & Campbell, 2002).

2.4.7.2. Configuration retenue

Adaptant ce plan à notre contexte et à nos contraintes (écoles dispersées sur deux sites), nous avons constitué quatre groupes de 30 apprenants chacun, soit 120 participants au total.

Tableau 2. 6. Configuration des groupes selon le plan Solomon

Groupe	Établissement	Localité	Laboratoire	Test	Traitement	Posttest
Gr. Exp. 1	Institut Kilombo	Inkisi	Non	Oui	BRVL	Oui
Gr. Ctrl. 1	Collège Kubama	Inkisi	Oui	Oui	Enseignement traditionnel	Oui
Gr. Exp. 2	Institut Manzonzi	Kimpese	Non	Non	BRVL	Oui
Gr. Ctrl. 2	Institut Nzolo	Kimpese	Oui	Non	Enseignement traditionnel	Oui

Gr. Exp = Groupe expérimental ; *Gr. Ctrl.* = Groupe de contrôle

Le choix de ces établissements répond à une double exigence :

- **comparabilité** : deux écoles par site, dont une avec laboratoire réel et une sans, permettant d'évaluer l'apport spécifique de BRVL dans des contextes contrastés ;
- **randomisation** : au sein de chaque école, les 30 apprenants ont été tirés au sort parmi l'ensemble des apprenants de quatrième année de Sciences, après stratification par sexe pour garantir l'équilibre (Annexe 1).

2.4.7.3. Justification du choix

Le plan de Solomon présente plusieurs avantages décisifs pour notre recherche :

- **Contrôle des variables parasites** : contrairement au simple plan test-posttest, il permet de distinguer l'effet du traitement de l'effet de sensibilisation au test (Fortin & Gagnon, 2022). C'est crucial car les items du test pourraient, par eux-mêmes, attirer l'attention des apprenants sur certaines notions et biaiser les résultats.
- **Validité interne renforcée** : la présence de deux groupes contrôles (l'un avec test, l'autre sans) permet de vérifier que les différences observées sont bien imputables au traitement et non à des facteurs historiques ou maturationnels (Fraenkel, Wallen & Hyun, 2019).
- **Validité externe améliorée** : en incluant des groupes sans test, on peut généraliser les résultats à des populations qui n'auraient pas été soumises à une mesure préalable, ce qui correspond aux conditions réelles d'utilisation de BRVL (Creswell & Creswell, 2018).
- **Économie de moyens** : un seul dispositif permet de répondre à plusieurs questions de recherche (effet du traitement, effet du test, interactions), sans multiplier les expérimentations (Kazdin, 2017).

2.4.7.4. Limites et précautions

Le plan de Solomon n'est pas exempt de limites. Son principal inconvénient est l'impossibilité de vérifier l'équivalence initiale des groupes 3 et 4, puisqu'ils ne sont pas soumis au test (Tuckman & Harper, 2012). Pour pallier cette difficulté, nous avons :

- procédé à une **randomisation stricte** des apprenants au sein de chaque école ;
- vérifié l'**homogénéité inter-groupes** sur les variables démographiques (âge, sexe, ancienneté) et contextuelles (milieu d'habitation) ;
- comparé, a posteriori, les scores des groupes 1 et 2 au test pour confirmer leur équivalence initiale (aucune différence significative, $p > 0,05$).

Par ailleurs, la mortalité expérimentale (abandon de sujets en cours d'étude) a été nulle, tous les protocoles ayant été récupérés intégralement (taux de retour : 100%).

2.4.7.5. Représentation schématique

La figure 2.13 illustre la configuration adoptée et les comparaisons effectuées pour isoler les différents effets. Ce schéma guide l'ensemble des analyses présentées au chapitre 3 (Van der Maren, 2004).

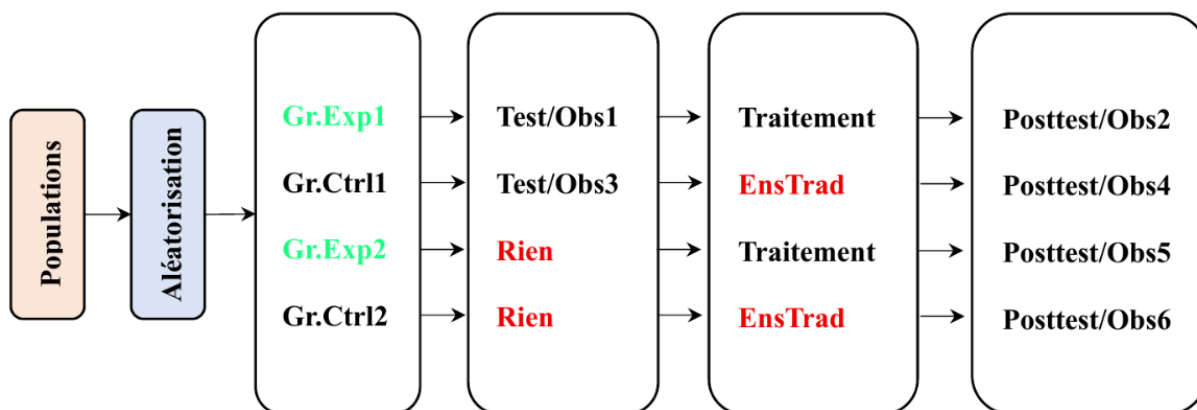


Figure 2. 13. Plan Solomon adapté à notre étude

2.5. VALIDATION TECHNIQUE PAR ANALYSE MULTICRITÈRE

La validation technique de BRVL vise à établir sa pertinence en tant qu'outil pédagogique avant même d'évaluer son efficacité sur le terrain. Cette validation a été confiée à un panel de 22 enseignants experts, selon une démarche multicritère rigoureuse inspirée des travaux de Roy (Bazangika *et al.*, 2025).

2.5.1. Sélection des critères d'évaluation

Le choix des critères est une étape fondamentale dans toute analyse multicritère (Ishizaka & Nemery, 2013). Ils doivent être pertinents au regard de l'objectif visé, mesurables de manière fiable, et non redondants. Après une revue de la littérature sur l'évaluation des outils éducatifs numériques (Squires & Preece, 1999 ; Smetana & Bell, 2012), nous avons retenu quatre critères inscrits dans le tableau 2.7.

Tableau 2. 7. Critères sélectionnés pour l'évaluation des laboratoires virtuels

Critère	Description	Modalités	Références
Conformité curriculaire	Alignement du contenu du LVP avec le programme officiel de physique en RDC (objectifs, compétences, savoirs essentiels)	Conforme / Non conforme	Van Etten & Smit (2005) ; Kilani et al. (2024)
Construction des savoirs	Capacité du LVP à favoriser un apprentissage actif et constructif, où l'apprenant formule des hypothèses et tire des conclusions	Efficacement / Partiellement / Aucunement	Queiroz-Neto <i>et al.</i> (2015) ; Lee <i>et al.</i> (2024)
Correction des RIO	Efficacité du LVP à identifier et corriger les représentations initiales-obstacles des apprenants	Totale / Partielle / Aucune	Liu & Fang (2023) ; Moosapoor (2023)
Utilisabilité	Accessibilité technique et ergonomie (interface conviviale, compatibilité, autonomie d'utilisation)	Très facile / Facile / Difficile	Kapenieks (2013) ; Uchima-Marin <i>et al.</i> (2024)

Ces quatre critères couvrent à la fois les dimensions **curriculaire** (conformité au programme), **cognitive** (construction des savoirs et correction des RIO) et **technique** (utilisabilité). Leur pertinence a été validée par le focus group.

2.5.2. Identification des alternatives

Six laboratoires virtuels de physique (tableau 2.8) ont été sélectionnés pour la comparaison. Le choix a été guidé par les contraintes du contexte congolais (fonctionnement hors ligne, gratuité, compatibilité avec des équipements modestes) et la nécessité de disposer d'un éventail représentatif d'outils.

Tableau 2. 8. Caractéristiques des laboratoires virtuels en compétition

Laboratoire	Concepteur	Année	Notions traitées	Fonctionnement
Algodoo	Emil Ernerfeldt	2009	Mécanique classique, optique, circuits	Hors ligne
Bazin-R VirtLab	Bazangika Rama	2024	Cinématique, dynamique, énergie mécanique	Hors ligne
LVP	Équipe universitaire	1990-2000	Cinématique, dynamique, thermodynamique	Hors ligne
Physic virtual lab APK	Entreprises spécialisées	2010	Mécanique, électricité, magnétisme	Hors ligne (APK)
Physion	Dimitris Xanthopoulos	2010	Mécanique, fluides, oscillations	Hors ligne
Virtual Lab	Divers	2010	Mécanique, énergie, optique	Hors ligne

2.5.3. Pondération des critères par analyse conjointe

Pour déterminer l'importance relative que les enseignants experts accordent à chaque critère, nous avons eu recours à l'analyse conjointe (Green & Srinivasan, 1990). Cette méthode décompositionnelle permet d'estimer les utilités partielles des différentes modalités à partir des préférences exprimées sur des profils hypothétiques.

2.5.3.1. Principe de l'analyse conjointe

L'analyse conjointe repose sur l'idée que tout produit ou service peut être décrit par un ensemble d'attributs (critères), chaque attribut pouvant prendre différentes modalités. En présentant aux répondants des profils fictifs combinant ces modalités, et en recueillant leurs évaluations (notation ou classement), on peut décomposer la préférence globale en utilités partielles pour chaque modalité (Hair *et al.*, 2019). L'importance relative d'un critère est alors donnée par l'étendue des utilités de ses modalités.

2.5.3.2. Génération des profils fictifs

Avec quatre critères ayant respectivement 2, 3, 3 et 3 modalités, le plan factoriel complet compterait $2 \times 3 \times 3 \times 3 = 54$ profils, ce qui est trop pour une évaluation fiable. Nous avons donc utilisé la procédure ORTHOPLAN de SPSS 23 pour générer un plan orthogonal fractionnaire réduisant le nombre de profils à 9 (tableau 2.9) tout en préservant l'indépendance des effets (Addelman, 1962).

Tableau 2. 9. Profils fictifs générés par ORTHOPLAN

Profil	Conformité curriculaire	Construction des savoirs	Correction des RIO	Utilisabilité
1	Conforme	Partiellement	Aucune	Très facile
2	Conforme	Aucunement	Totale	Facile
3	Non conforme	Efficacement	Aucune	Facile
4	Non conforme	Aucunement	Partielle	Très facile
5	Non conforme	Partiellement	Totale	Difficile
6	Conforme	Aucunement	Aucune	Difficile
7	Conforme	Efficacement	Totale	Très facile
8	Conforme	Efficacement	Partielle	Difficile
9	Conforme	Partiellement	Partielle	Facile

2.5.3.3. Administration et estimation des utilités

Chacun des 22 enseignants experts a noté ces 9 profils sur une échelle de 0 à 10. Les données ont été traitées par le module CONJOINT de SPSS, qui estime les utilités par régression monotone (MONANOVA). Le modèle s'écrit :

$$U(p) = \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^{m_k} \beta_{kj} \cdot x_{kj} + Constante \quad (1)$$

Où p est le profil, β_{kj} l'utilité de la modalité j du critère k et x_{kj} une variable indicatrice.

La qualité d'ajustement a été vérifiée par le coefficient de corrélation de Pearson ($r = 0,991$) et le tau de Kendall ($\tau = 0,889$), indiquant une excellente cohérence entre les préférences observées et celles prédites par le modèle. Le nombre d'inversions (incohérences dans les réponses) était très faible (moins de 2 par critère), confirmant la fiabilité des jugements.

2.5.3.4. Poids des critères

L'importance relative de chaque critère a été calculée à partir de l'étendue des utilités de ses modalités :

$$I_k = \frac{\max(u_{kj}) - \min(u_{kj})}{\sum_{i=1}^4 (\max(u_{ij}) - \min(u_{ij}))} \quad (2)$$

Où max et min désignent respectivement le maximum et le minimum des utilités.

La correction des RIO apparaît comme le critère le plus important (28,8 %), suivie de la conformité curriculaire (26,1 %), de la construction des savoirs (24,4 %) et enfin de l'utilisabilité (20,7 %). Ces poids ont été utilisés pour la suite des analyses multicritères (Cf. Tableau 2.10.).

Tableau 2. 10. Résultats de l'analyse conjointe

Critère	Poids (importance)	Modalités	Utilités
Conformité curriculaire	26,08 %	Conforme	-1,917
		Non conforme	-3,833
Construction des savoirs	24,43 %	Efficacement	-0,955
		Partiellement	-1,909
		Aucunement	-2,864
Construction des savoirs	24,43 %	Totale	-0,833
		Partielle	-1,667
		Aucune	-2,500
Correction des RIO	28,79 %	Très facile	-0,758
		Facile	-1,515
		Difficile	-2,273

2.5.4. Évaluation des performances

Les 22 enseignants experts ont ensuite évalué les six laboratoires virtuels réels sur chacun des quatre critères, selon la même échelle de 0 à 10. Pour garantir la fiabilité des évaluations, une formation préalable à l'utilisation de chaque LVP avait été dispensée. Les notes individuelles ont été agrégées par moyenne arithmétique pour obtenir une matrice de décision.

Tableau 2. 11. Notes moyennes attribuées par les juges

Labo virtuel	Conformité curriculaire	Construction des savoirs	Correction des RIO	Utilisabilité
Algodoo	5,27	7,36	4,82	6,68
BRVL	7,59	7,27	7,73	6,77
LVP	5,86	7,09	5,45	7,23
Physic virtual lab	6,09	7,77	5,59	7,32
Physion	4,73	7,41	4,68	6,86
Virtual Lab	5,55	6,77	5,36	6,95

La matrice de décision finale (Tableau 2.11) combine ces performances moyennes avec les poids issus de l'analyse conjointe.

2.5.5. Méthodes multicritères appliquées

Pour garantir la robustesse des conclusions, nous avons mobilisé huit méthodes d'aide à la décision multicritère, relevant de familles différentes (surclassement, agrégation complète, méthode hybride).

2.5.5.1. Méthodes de surclassement (ELECTRE)

La famille ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité), développée par Roy (1968), repose sur la construction de relations de surclassement entre alternatives. Une alternative surclasse une autre si elle est jugée au moins aussi bonne sur une majorité de critères (concordance) sans être trop mauvaise sur les autres (discordance).

- **ELECTRE I** (Roy, 1968) : méthode de choix qui identifie un noyau d'alternatives non dominées (le "noyau").
- **ELECTRE II** (Roy & Bertier, 1973) : méthode de classement qui établit un préordre complet à l'aide de deux seuils de concordance (fort et faible).
- **ELECTRE TRI** (Mousseau, Slowinski & Zielniewicz, 1999) : méthode d'affectation qui classe les alternatives dans des catégories prédéfinies (ici : Élevé, Moyen, Faible).

2.5.5.2. Méthodes de surclassement (PROMETHEE)

PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enriched Evaluation), proposée par Brans & Vincke (1985), construit également des relations de surclassement mais introduit des fonctions de préférence pour nuancer les comparaisons.

- **PROMETHEE I** : fournit un classement partiel (préordre) en calculant des flux entrants et sortants.
- **PROMETHEE II** : fournit un classement complet à partir des flux nets.

2.5.5.3. Méthodes d'agrégation complète (AHP, TOPSIS)

- **AHP** (Analytic Hierarchy Process) : méthode de Saaty (1980) qui décompose le problème en une hiérarchie et construit des comparaisons par paires pour dériver des priorités.
- **CAHP** (Conjoint AHP) : variante hybride développée par Ngoie *et al.* (2025) qui utilise les poids de l'analyse conjointe dans la hiérarchie AHP.
- **TOPSIS** (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) : méthode de Hwang & Yoon (1981) qui classe les alternatives selon leur proximité à une solution idéale positive et leur éloignement d'une solution idéale négative.

2.5.5.4. Paramétrage des méthodes

Certaines méthodes (tableau 2.12) nécessitent le réglage de paramètres. Nous avons suivi les recommandations de la littérature (Maystre, Pictet & Simos, 1994 ; Behzadian *et al.*, 2010).

Tableau 2. 12. Réglage des paramètres des méthodes MCDA

Méthode	Paramètres	Valeurs retenues
ELECTRE I	Seuil de concordance (c), seuil de discordance (d)	c = 0,70 ; d = 0,30
ELECTRE II	c, d, seuil de veto (v)	c = 0,70 ; d = 0,30 ; v = 4
ELECTRE TRI	c, d, v, catégories	c = 0,70 ; d = 0,30 ; v = 5 ; [Élevé, Moyen, Faible]
PROMETHEE	Seuil d'indifférence (q), seuil de préférence (p), fonction	q = 0,50 ; p = 1,50 ; fonctions : usuelle, linéaire, gaussienne

Ce tableau présente une démarche structurée avec des paramètres cohérents pour les méthodes ELECTRE I, II et TRI (c = 0,70 et d = 0,30), où le seuil de concordance relativement bas exige une majorité simple tandis que le seuil de discordance strict permet de rejeter une action sur la base d'un écart de 30 % sur un critère. L'évolution des méthodes ELECTRE montre une complexification progressive avec l'introduction d'un seuil de veto élevé (v = 4) dans ELECTRE II, puis encore plus élevé (v = 5) dans ELECTRE TRI pour l'affectation à des catégories. Pour PROMETHEE, les seuils d'indifférence (q = 0,50) et de préférence (p = 1,50) sont cohérents et définissent trois zones : indifférence en dessous de 0,5, préférence faible entre 0,5 et 1,5, et préférence forte au-delà. Une analyse de sensibilité serait toutefois nécessaire pour vérifier la robustesse de ces choix paramétriques.

2.5.6. Analyse de sensibilité

Les valeurs des paramètres pouvant influencer les résultats, nous avons réalisé une analyse de sensibilité systématique (Ishizaka & Nemery, 2013). Pour ELECTRE, nous avons fait varier :

- le seuil de concordance c de 0,60 à 0,80 par pas de 0,05 ;
- le seuil de discordance d de 0,40 à 0,20 par pas de -0,05 ;
- le seuil de veto v de 4 à 8 par pas de 1 (pour ELECTRE II et TRI).

Pour PROMETHEE, nous avons fait varier :

- le seuil d'indifférence q de 0,1 à 1,0 par pas de 0,1 ;
- le seuil de préférence p de 1 à 2 par pas de 0,1 ;
- testé les trois fonctions de préférence (usuelle, linéaire, gaussienne).

La figure 2.14 présente la synthèse de ces analyses. Dans tous les scénarios testés, BRVL reste soit dans le noyau (ELECTRE I, PROMETHEE I), soit en première position (ELECTRE II, PROMETHEE II), confirmant la robustesse des résultats.

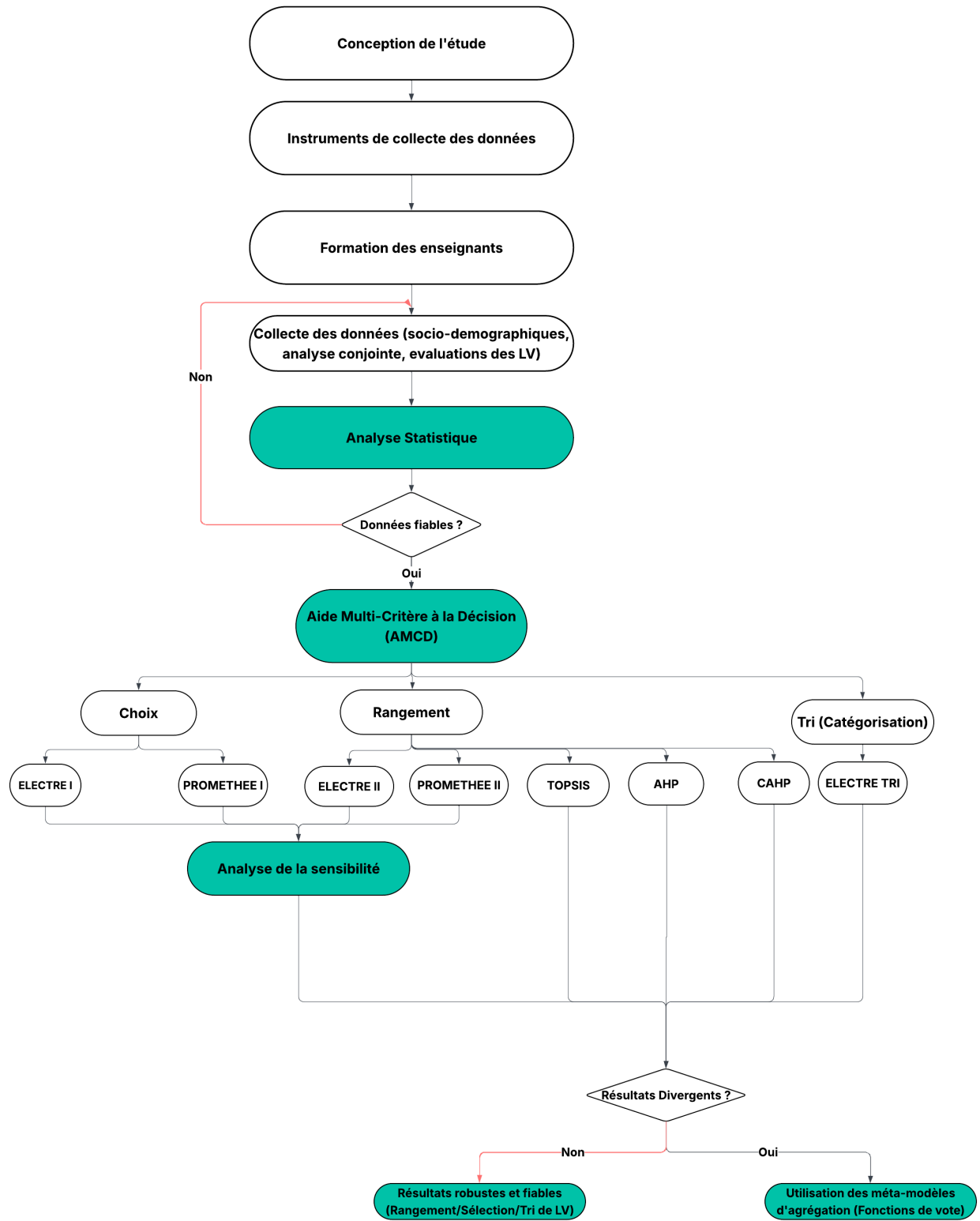


Figure 2. 14. Schéma méthodologique de validation et d'acceptabilité de BRVL

2.5.7. Synthèse

L'ensemble de ces analyses permet de conclure à la **validation technique de BRVL** :

- ses performances moyennes sont élevées sur les quatre critères (tableau 2.11) ;
- il obtient les meilleurs classements dans la quasi-totalité des huit méthodes MCDA (tableau 3.4) ;
- les résultats résistent à l'analyse de sensibilité, garantissant leur fiabilité.

Cette validation technique étant acquise, nous avons pu aborder sereinement l'expérimentation pédagogique dont les résultats sont présentés au chapitre 3.

2.6. EXPÉRIMENTATION PÉDAGOGIQUE

L'expérimentation pédagogique vise à mesurer l'impact réel de BRVL sur la correction des représentations initiales-obstacles en mécanique, conformément à l'objectif spécifique 3 et à l'hypothèse 3. Elle s'est déroulée d'octobre 2024 à janvier 2025 dans les quatre établissements retenus.

2.6.1. Calendrier de l'expérimentation

Le calendrier a été contraint par le mouvement de grève survenu en début d'année scolaire, entraînant un étalement des posttests entre décembre 2024 et janvier 2025.

Tableau 2. 13. Calendrier des activités d'expérimentation

Étape	Groupes concernés	Date	Lieu
Test initial	Gr. Exp. 1 et Gr. Contrôle 1	21 octobre 2024	Inkisi
Début du traitement	Tous les groupes	21-23 octobre 2024	Inkisi et Kimpese
Fin du traitement (dernière notion)	Tous les groupes	5-15 janvier 2025	Inkisi et Kimpese
Posttest	Gr. Contrôle 1	19 décembre 2024	Inkisi
Posttest	Gr. Contrôle 2	24 janvier 2025	Kimpese
Posttest	Gr. Exp. 1	25 janvier 2025	Inkisi
Posttest	Gr. Exp. 2	29 janvier 2025	Kimpese
Questionnaire d'opinion	Gr. Exp. 1 et Gr. Exp. 2	Janvier 2025	Inkisi et Kimpese

L'étalement des posttests, bien qu'imposé par les circonstances, présente l'avantage de permettre une évaluation de la **persistance** des apprentissages : l'intervalle entre la fin du traitement et le posttest varie de quelques jours à plusieurs semaines selon les groupes.

2.6.2. Test d'évaluation des connaissances

Le test initial a été administré aux groupes expérimental 1 et contrôle 1 avant tout enseignement des notions de mécanique au programme de quatrième année. Il poursuivait un double objectif :

- **confirmer la présence des RIO** identifiées lors de la préenquête auprès des nouveaux apprenants ;
- **établir un niveau de référence** pour mesurer ultérieurement la progression.

2.6.2.1. Structure du test

Le test (annexe II.4) comprend 30 items à choix unique, répartis en quatre sections correspondant aux objectifs d'apprentissage :

Tableau 2. 14. Répartition d'items par section

Section	Savoirs essentiels ciblés	Nombre d'items
A	Généralités sur la mécanique	3
B	Cinématique (notions de base, MRU, MRUV, chute libre)	15
C	Dynamique (inertie, force, action-réaction, poids)	6
D	Énergie mécanique (énergie, travail, puissance)	6

Chaque item ne comporte qu'une seule réponse correcte. La durée de passation était de 45 minutes. Les consignes ont été lues collectivement avant la distribution.

2.6.2.2. Conditions de passation

Le test a été administré par les enseignants-titulaires des classes, dans les conditions habituelles d'évaluation (calme, travail individuel, non-autorisation des échanges). Tous les protocoles (30 par groupe) ont été récupérés immédiatement après la séance et remis au chercheur, garantissant l'absence de perte.

2.6.3. Traitement : utilisation de BRVL dans les groupes expérimentaux

Les groupes expérimentaux 1 et 2 ont bénéficié de l'utilisation de BRVL pour l'enseignement de dix leçons de mécanique, selon l'approche sociogénético-constructiviste décrite au chapitre 1.

2.6.3.1. Contenu enseigné

Les dix expériences implémentées dans BRVL et utilisées durant le traitement sont :

1. Éléments de base de la cinématique

Répondre par V ou F :

- 1) La trajectoire est un trajet qui est toujours rectiligne (F)
- 2) Le temps et la durée expriment la même chose (F)
- 3) La vitesse fait toujours allusion à la précipitation ou à un excès d'accélération (F)
- 4) Tout corps en mouvement est un mobile (V)
- 5) Un référentiel est un système de coordonnées permettant de localiser un point dans l'espace (V)
- 6) Tout mouvement fait appel à un changement de référentiel (V)
- 7) Translation et rotation sont deux mouvements identiques (F)
- 8) Le repos signifie un mouvement sans bouger (F)

9) Une surface plane est toujours rectiligne (F)

Situation virtuelle d'apprentissage :

Trois boules de couleurs différentes (bleue, verte et rouge) sont situées en un point de départ défini d'une surface plane. Après les avoir lancées en mouvement au même moment selon le chronomètre déclenché, elles se déplacent de leur origine jusqu'à atteindre, suivant la même vitesse, le point d'arrivée en laissant des traces sur la surface plane. Comment sont les trajectoires de chaque boule ? Pourquoi ces trois boules ne sont pas arrivées au même moment et pourtant elles ont quitté le même point à la même vitesse ? Comment dénomme-t-on les traces laissées par ces boules sur la surface plane ?

2. Mouvement rectiligne uniforme (MRU) et Mouvement rectiligne uniformément varié (MRUV)

Répondre par V ou F :

- 1) Un mouvement est dit uniformément varié lorsque sa vitesse reste la même (F)
- 2) Un mouvement est dit rectiligne lorsque sa trajectoire est plane et courbe (F)
- 3) La route nationale N°1 de Mbanza-Ngungu jusqu'à Kisantu décrit une trajectoire toujours curviligne (F)
- 4) Un mouvement est dit rectiligne uniforme si sa trajectoire est une ligne droite et sa vitesse variable (F)
- 5) Sur un rond-point, une moto suit une trajectoire rectiligne (F)
- 6) Un mobile en mouvement relatif signifie qu'il peut être considéré à la fois au repos ou en mouvement par rapport à un référentiel donné (V)
- 7) Une voiture qui réduit sa vitesse effectue toujours un mouvement varié (V).

Situation virtuelle d'apprentissage :

Deux voitures bleue et rouge situées au même point de départ sur une surface plane. En lançant la voiture bleue en mouvement et en observant le chronomètre, elle effectue un mouvement identiquement à elle-même jusqu'au point d'arrivée. En lançant ensuite celle rouge, on constate des changements de vitesses entre le début et la fin du mouvement. Curieusement et bien que parcourant la même distance, les deux voitures ne marquent pas le même temps de course. Comment est la trajectoire du mouvement respectif de chaque voiture ? Quelle analyse comparative faites-vous pour ces deux voitures ?

3. Chute libre des corps

Répondre par V ou F :

- 1) Un objet plus lourd tombe plus vite que celui moins lourd (F)
- 2) \vec{g} est appelée pesanteur ou gravité ou gravitation et n'agit que sur les corps possédant une masse mais en mouvement (F)
- 3) La gravité n'agit que sur les corps possédant une masse mais en mouvement (F)
- 4) Les astronautes semblent flotter sur la Lune parce que là-bas, g est trop petite (V)
- 5) La gravité n'existe pas dans le vide (F)
- 6) Gravité et gravitation signifient la même chose (F)
- 7) L'accélération de la pesanteur d'un corps en chute libre est positive (V)
- 8) Un corps sans masse ne peut pas tomber en chute libre (V)

9) L'accélération d'un corps en chute libre dépend de sa masse et de la force gravitationnelle lui appliquée par la Terre (V)

10) Le temps d'un corps en chute libre est calculé par : $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ (V)

Situation virtuelle d'apprentissage :

Sur une table posée sur une surface plane, on retrouve deux billes l'une jaune et l'autre rouge, de masses réglables. Chaque bille est suspendue grâce à un électroaimant posé sur une noix de connexion attachée à une tige de hauteur réglable posée sur un socle. Le dispositif est conçu de sorte que la bille puisse tomber sur un plateau relié au chronomètre qui sert à calculer le temps de chute de la bille. Après réglage de l'accélération de la pesanteur à utiliser, on augmente la masse de la bille rouge et on lâche, à la même hauteur, simultanément les deux billes vers leurs plateaux respectifs. On constate que les deux billes tombent à la même vitesse au regard du temps marqué par le chronomètre. On introduit ensuite le système dans une chambre à vide, on refait l'expérience et on constate que, malgré le vide, les deux billes tombent toujours en chute libre mais à la même vitesse. Comment est la trajectoire du mouvement respectif de chaque bille ? Quelle analyse comparative faites-vous pour ces deux billes dans l'air et dans le vide ?

4. Premier principe de Newton (inertie)

Répondre par V ou F :

- 1) Sans intervention d'une force externe, un objet doit rester au repos ou en mouvement (V)
- 2) Un corps est en équilibre seulement lorsqu'il ne bouge absolument pas (F)
- 3) Tout objet en mouvement possède sa propre force (F)
- 4) La dynamique est l'étude de la persévérance d'un corps (F)
- 5) L'inertie est la résistance qu'un corps massique oppose au changement de son mouvement mais pas de son repos (V)
- 6) L'arrêt ou le mouvement d'un corps n'a jamais été naturel, la force externe intervient toujours (V)
- 7) La force n'est pas une grandeur intrinsèque d'un objet mais elle naît de l'interaction entre les objets (V)
- 8) La masse, la charge et l'énergie interne sont des grandeurs intrinsèques car elles sont des grandeurs intrinsèques car elles sont mesurées indépendamment des autres objets (V)
- 9) « Loi » de Newton et « Principe » de Newton signifient la même chose (F)

Situation virtuelle d'apprentissage :

Deux billes jaune et bleue sont suspendues sur deux points fixes d'un même support à travers deux tiges rectilignes de masses négligeables. Elles sont naturellement mises en mouvement oscillatoire. En les observant après plusieurs minutes à l'aide du chronomètre, elles effectuent le même mouvement identiquement à elles-mêmes à des mêmes intervalles de temps. On clique sur la bille jaune et son s'arrête pendant que celle bleue continue son mouvement. On clique de nouveau sur la bille bleue en mouvement et elle s'arrête. On clique de nouveau sur les deux billes au repos et elles se remettent en mouvement oscillatoire. Comment interpréter ce phénomène ? Sans notre intervention, qu'est-ce qui serait arrivé ?

5. Deuxième principe de Newton (force constante)

Répondre par V ou F :

- 1) La dynamique signifie force créatrice d'un changement (V)
- 2) La force est une grandeur d'état ou une quantité vectorielle qui se conserve et qui ne peut se transférer (F)
- 3) La force est équilibrée lorsqu'elle produit un mouvement (F)
- 4) Il faut moins de force pour déplacer ou accélérer un objet plus lourd que pour le faire avec un objet léger (F)
- 5) Pas de force externe, pas de mouvement (V)
- 6) Dans le système international, la force s'exprime en Dynes (F)
- 7) La force ne sert pas à maintenir un corps en mouvement uniforme mais plutôt l'inertie (V)
- 8) La vitesse d'un corps n'est pas nécessairement proportionnelle à sa force (V)
- 9) La force peut être transférée d'un objet à un autre en lui donnant une certaine accélération et en changeant la direction et la magnitude (V)
- 10) La force n'est pas une grandeur d'état car elle ne décrit pas l'état d'un système thermodynamique mais plutôt l'interaction entre les objets (V)
- 11) Un corps qui se déplace plus vite qu'un autre est nécessairement plus fort (F)

Situation virtuelle d'apprentissage :

Deux billes bleue et rouge, de masses réglables, sont au repos. On réduit légèrement la masse de la bille bleue et on les met en mouvement. À travers leurs temps respectifs, on constate que la bille bleue évolue légèrement plus vite que celle rouge jusqu'au point d'arrivée à travers une même forme de trajectoire. On reprend l'expérience en réduisant encore la masse de la bille bleue. En lançant le mouvement, la bille bleue évolue encore plus vite qu'avant. On augmente ensuite sa masse jusqu'à atteindre celle de la bille rouge. En lançant le mouvement, les deux billes évoluent de manière identique. Comment interpréter ce phénomène ? Quel lien établissez-vous entre la vitesse et la masse ? Pouvons-nous affirmer que la force est proportionnelle à la vitesse ?

6. Troisième principe de Newton (action et réaction)

Répondre par V ou F :

- 1) L'action et la réaction sont deux forces égales mais opposées qui agissent toujours sur un même et seul objet (F)
- 2) Dans une lutte de corps à corps entre deux personnes normales, la force seule suffit pour que l'une d'elles renverse l'autre en la plaquant au sol (F)
- 3) L'action agit sur l'objet poussé ou tiré tandis que la réaction agit sur le pousseur ou le tireur (V)
- 4) L'action et la réaction ne s'annulent pas (V)

Situation virtuelle d'apprentissage :

On place une bille jaune au point O d'une surface plane à une distance déterminée d'un mur. On ajuste l'intensité de la force à appliquer et on frappe la bille qui cogne le mur en marbre et qui revient presque au point de son lancement. Plus on augmente l'intensité de la force de frappe, plus la bille cogne violemment sur le mur en marbre qui semble de moins en moins amortir le choc ainsi créé. Si l'action est posée sur la bille, pensez-vous que la réaction aussi serait sentie par la même bille ? Comment

interpréter ce phénomène ? Quel lien établissez-vous entre l'action posée et la réaction observée ? Les deux sont-elles proportionnelles ?

7. Poids d'un corps et attraction universelle

Répondre par V ou F :

- 1) Lors d'un mouvement, la masse ne s'oppose pas au mouvement (V)
- 2) Le poids et la masse sont deux grandeurs physiquement identiques (F)
- 3) Pour calculer la masse d'un corps, on utilise la formule : $P = m \times g$ (V)
- 4) Le kilogramme est l'unité du poids car sur les boîtes de conserve on écrit « poids net : X kg » (F)
- 5) La masse est une grandeur scalaire tandis que le poids est une grandeur vectorielle comme la force (V)
- 6) Le poids d'un corps est différent de sa densité relative (V)
- 7) Deux corps en mouvement et possédant une certaine masse s'attirent et se repoussent à la fois (V)
- 8) La loi d'attraction des corps a été initiée par Newton (V)
- 9) La force d'attraction est notée par : $\vec{F} = G \frac{m \times m'}{r^2}$ (V)
- 10) Un poulet « poids net 10 » équivaut à une masse de 1kg (V)

Situation virtuelle d'apprentissage :

Sur deux orbites circulaires, l'une dans l'autre et de circonférences C et C', on place respectivement deux billes (astres) orange et rouge de masses réglables tournant suivant les vitesses v et v' autour de l'axe central représentant le Soleil. Tour à tour, on observe leur mouvement lorsqu'elles ont une même masse, avec des masses différentes puis en réduisant l'accélération de la pesanteur. On constate qu'avec une masse identique, elles tournent à la même vitesse ; avec des masses différentes, la plus grosse tourne moins vite que la plus petite ; avec une accélération de la pesanteur réduite, elles tournent au ralenti. On a l'impression comme si la masse était inversement proportionnelle à la vitesse de déplacement de ces billes. Connaissant l'accélération de la pesanteur, leurs masses, la constante G et la distance séparant les deux billes, on calcule leurs poids respectifs ainsi que la force de la gravitation de ces deux billes. En supposant incessant leur mouvement de rotation, la bille jaune pourra-t-elle cogner celle rouge ou vice-versa ? Comment interpréter ces phénomènes ?

8. Énergie mécanique

Répondre par V ou F :

- 1) L'énergie est une substance physique qui se transmet d'un corps vers un autre (F)
- 2) L'énergie est la capacité qu'a un système pour fournir un effort (V)
- 3) L'énergie est transférable d'un système à un autre sous différentes formes (V)
- 4) J est appelé équivalent mécanique (V)
- 5) La chaleur peut se convertir en mouvement et vice-versa (V)
- 6) L'énergie ne concerne que les êtres vivants (F)
- 7) L'énergie n'a jamais été renouvelable (F)
- 8) Lors d'une interaction, l'énergie mécanique ne se conserve pas (F)

9) L'énergie cinétique et l'énergie potentielle signifient la même chose (F)

Situation virtuelle d'apprentissage :

Deux billes jaune et rouge, de masses réglables, sont respectivement posées sur deux électroaimants situés respectivement sur deux systèmes de tiges réglables. On règle la même hauteur h des tiges, on prélève l'accélération de la pesanteur \vec{g} , on augmente la masse de la bille jaune et on lance le mouvement de chute de ces deux billes qui tombent respectivement sur le plateau relié au chronomètre. On constate que les deux billes tombent à la même vitesse. Au même moment, on prélève le temps t de chute dès qu'elle touche le plateau car il y a arrêt du chronomètre. Pendant que ces billes sont au repos sur ce plateau, observe s'il y a présence ou non d'une force. On calcule ensuite la vitesse de chute $v=g.t$; l'énergie potentielle ($E_p=mgh$) ainsi que l'énergie cinétique ($E_c = \frac{1}{2}mv^2$). Si $E_c = E_p$, il y a conservation de l'énergie mécanique. Pouvez-vous affirmer que l'énergie mécanique de la bille jaune se conserve ? Et celle de la bille rouge ? Quelle conclusion tirez-vous en comparant les énergies cinétiques et potentielles de ces deux billes de masses différentes ?

9. Travail mécanique

Répondre par V ou F :

- 1) Si un objet parcourt une grande distance, même si la force appliquée est faible, il aura accompli un grand travail (F)
- 2) Un homme ne peut pas économiser simultanément de l'énergie et de l'argent (F)
- 3) Le travail ne dépend pas du chemin suivi mais uniquement des extrémités A et B (V)
- 4) Le travail moteur est équivalent à celui résistant (F)
- 5) Le travail s'exprime aussi en calories comme l'énergie (V)
- 6) Il n'y a travail que lorsqu'un corps tourne à l'instar d'un moteur (F)
- 7) Il n'y a travail que lorsqu'il y a transfert physique de l'énergie par contact (F)
- 8) Actuellement, on peut travailler sans pour autant dépenser son énergie physique et sans se déplacer physiquement (V)
- 9) Le travail est un coefficient exprimant le transfert de l'énergie pour le déplacement d'un corps (V)
- 10) L'angle effectué entre la direction du déplacement et celle de la force influence le travail effectué (V)
- 11) Le travail est égal au moment de force car ils s'expriment par une même unité
- 12) Le travail et la chaleur sont deux grandeurs strictement distinctes tant que l'énergie interne les reliant n'est pas nulle (V)

Situation virtuelle d'apprentissage :

Sur une table d'expérience graduée, on place un moteur dont l'intensité de sa force est réglable en Newtons. Ce moteur est attaché à un cube de masse réglable avec un fil de masse négligeable en formant un angle de 15° . On démarre ce moteur qui attire ce cube jusqu'au point d'arrivée, on a la distance $d = \overline{OO'}$. On prélève le temps de course effectué et on calcule ainsi le travail effectué par $W = F.d.\cos 15^\circ$. On augmente l'intensité de la force du moteur et on réduit le trajet de course puis on redémarre le moteur pour observer le déplacement du cube jusqu'au point d'arrivée.

On prélève le temps de course et la distance parcourue. On calcule le travail effectué par $W = F \cdot d \cdot \cos 15^\circ$.

En comparant les deux travaux calculés, quelle serait votre conclusion ? Le travail est-il proportionnel au déplacement effectué ? Le travail est-il proportionnel à la force utilisée pour opérer le déplacement ?

10. Puissance mécanique

Répondre par V ou F :

- 1) Avoir de l'énergie c'est nécessairement être puissant (F)
- 2) Puissance et pression signifient la même chose (F)
- 3) Le Watt est l'unité de la puissance dans le système international (V)
- 4) 1 CV (cheval-vapeur) équivaut à 736Watts (V)
- 5) On est puissant lorsqu'on soulève une lourde charge (F)

Situation virtuelle d'apprentissage :

Deux moteurs sont programmés pour poser 21 billes de façon équidistante respectivement sur deux surfaces de mêmes dimensions. Pour une même quantité de billes, celui de couleur rouge effectue cette tâche en moins de temps chrono par rapport à celui de couleur verte. Quel serait votre préférence s'il faut choisir le meilleur ? En comparant les deux moteurs, pouvons-nous affirmer que le rouge est plus puissant que le vert (Justifiez votre réponse) ? Si tel est le cas, pensez-vous que la puissance serait-elle évaluée en fonction du temps d'exécution d'une tâche ?

2.6.3.2. Déroulement d'une séance type

Chaque séance de 45 minutes suivait le canevas suivant (fiche – type en annexe III) :

1. **Phase 1 (5 min)** : rappel des prérequis et annonce des objectifs.
2. **Phase 2 (15 min)** : activités initiales avec BRVL (items de détection des RIO, simulation, déconstruction des connaissances).
3. **Phase 3 (15 min)** : activités principales (correction des RIO, co-construction des savoirs en groupes hétérogènes).
4. **Phase 4 (5 min)** : activités de fixation et synthèse.
5. **Phase 5 (5 min)** : évaluation formative et métacognition (comparaison scores avant/après).

Les apprenants travaillaient en groupes de 5, composés de manière hétérogène (apprenants forts, moyens et faibles) pour favoriser le conflit sociocognitif (Doise & Mugny, 1981). L'enseignant jouait un rôle de médiateur, circulant entre les groupes pour relancer la réflexion sans fournir de réponses toutes faites.

2.6.3.3. Équipement et supports

Chaque enseignant des groupes expérimentaux disposait d'un ordinateur portable avec BRVL installé, d'un rétroprojecteur et d'un drap blanc servant d'écran, de fiches pédagogiques détaillant le déroulement de chaque séance et d'une batterie de secours pour pallier les coupures de courant.

2.6.3.4. Enseignement dans les groupes contrôles

Les groupes contrôles 1 et 2 ont suivi un enseignement traditionnel de la mécanique, conforme aux pratiques habituelles. Le groupe contrôle 1 (Collège Kubama) et le groupe contrôle 2 (Institut Nzolo) ont bénéficié de séances de travaux pratiques dans leurs laboratoires réels respectifs. Les enseignants de ces groupes n'ont pas eu accès à BRVL et n'ont pas modifié leurs méthodes pédagogiques.

2.6.4. Posttest d'évaluation des connaissances

Le posttest (annexe II.5) a été administré à l'ensemble des quatre groupes à l'issue de l'enseignement des dix notions. Identique au test initial dans son contenu et dans sa structure, il permet une comparaison directe des performances avant/après pour les groupes 1 et 3, et une comparaison inter-groupes pour l'ensemble des participants.

2.6.4.1. Conditions de passation

Les mêmes consignes que pour le test initial ont été respectées : travail individuel, durée de 45 minutes, récupération immédiate des protocoles. Les enseignants ont été invités à ne pas commenter les réponses avant la fin de la collecte pour ne pas biaiser les résultats.

2.6.4.2. Taux de participation

Sur les 120 apprenants initialement sélectionnés, tous ont participé au posttest (taux de participation : 100 %). Aucune mortalité expérimentale n'est donc à signaler.

2.6.5. Questionnaire d'opinion des apprenants

Un questionnaire d'opinion (annexe II.8) a été soumis aux seuls apprenants des groupes expérimentaux (n=60) après le posttest. Il visait à recueillir leur perception de BRVL et de l'approche pédagogique associée.

2.6.5.1. Structure du questionnaire

Le questionnaire comprend 32 items répartis en quatre catégories (Cf. Tableau 2.15).

Tableau 2. 15. Structure du questionnaire d'opinion

Catégorie	Thème	Nombre d'items
A	Compréhension des concepts de mécanique	11
B	Sécurité, coût et performance informatiques	11
C	Évaluation des méthodes et procédés	6
D	Correction des RIO et recommandations	4

Les réponses sont recueillies sur une échelle de Likert à 5 niveaux (1 = pas d'accord, 5 = très d'accord). Une question ouverte finale permettait aux apprenants de formuler des suggestions libres.

2.6.5.2. Administration

Le questionnaire a été administré en classe, immédiatement après le posttest, par les enseignants des groupes expérimentaux. La durée moyenne de passation était de 30 minutes. Tous les protocoles ont été récupérés (taux de retour : 100 %).

2.7. ESSAI DE PRAGMATISATION DE L'EPP

Le quatrième objectif spécifique de cette thèse consiste à tester la faisabilité d'une épreuve pratique de physique (EPP) utilisant BRVL comme support unique, en vue de pragmatiser cette évaluation et de réduire les inégalités entre écoles équipées et non équipées (Bazangika, 2022).

2.7.1. Échantillon

Vingt-quatre apprenants ont été tirés au sort parmi les 60 des groupes expérimentaux, selon une stratification par sexe pour garantir l'équilibre (12 filles, 12 garçons). Chaque groupe expérimental a fourni 12 candidats (6 filles, 6 garçons). Ce choix permet d'éviter la partialité, les groupes contrôles n'ayant pas été formés à l'utilisation de BRVL.

2.7.2. Protocole de passation

Le déroulement de l'épreuve a été standardisé conformément aux recommandations du ministère (MINEPSP, 2016) et aux pratiques en vigueur pour l'EPP :

Étape 1 : Accueil et tirage au sort (3 minutes)

- Vérification de l'identité du candidat
- Tirage aléatoire d'un thème parmi les dix expériences de BRVL
- Remise du protocole expérimental correspondant (annexe V)

Étape 2 : Préparation (5 minutes)

- Lecture du protocole et prise de notes personnelles
- Confrontation individuelle aux items de détection des RIO (sans accès à l'ordinateur)
- Formulation d'hypothèses initiales

Étape 3 : Exécution et évaluation (10 minutes)

- Lancement de BRVL et paramétrage de l'expérience
- Réalisation de la simulation
- Réponse aux items de post-simulation
- Comparaison des réponses avant/après et argumentation

Étape 4 : Évaluation par les examinateurs (en continu)

- Deux enseignants-examinateurs (autres que l'enseignant habituel) observent et notent la prestation
- Remplissage individuel de la grille d'évaluation
- Harmonisation des notes par moyenne arithmétique en fin de journée.

La figure 2.15 présente le diagramme de flux complet du processus.

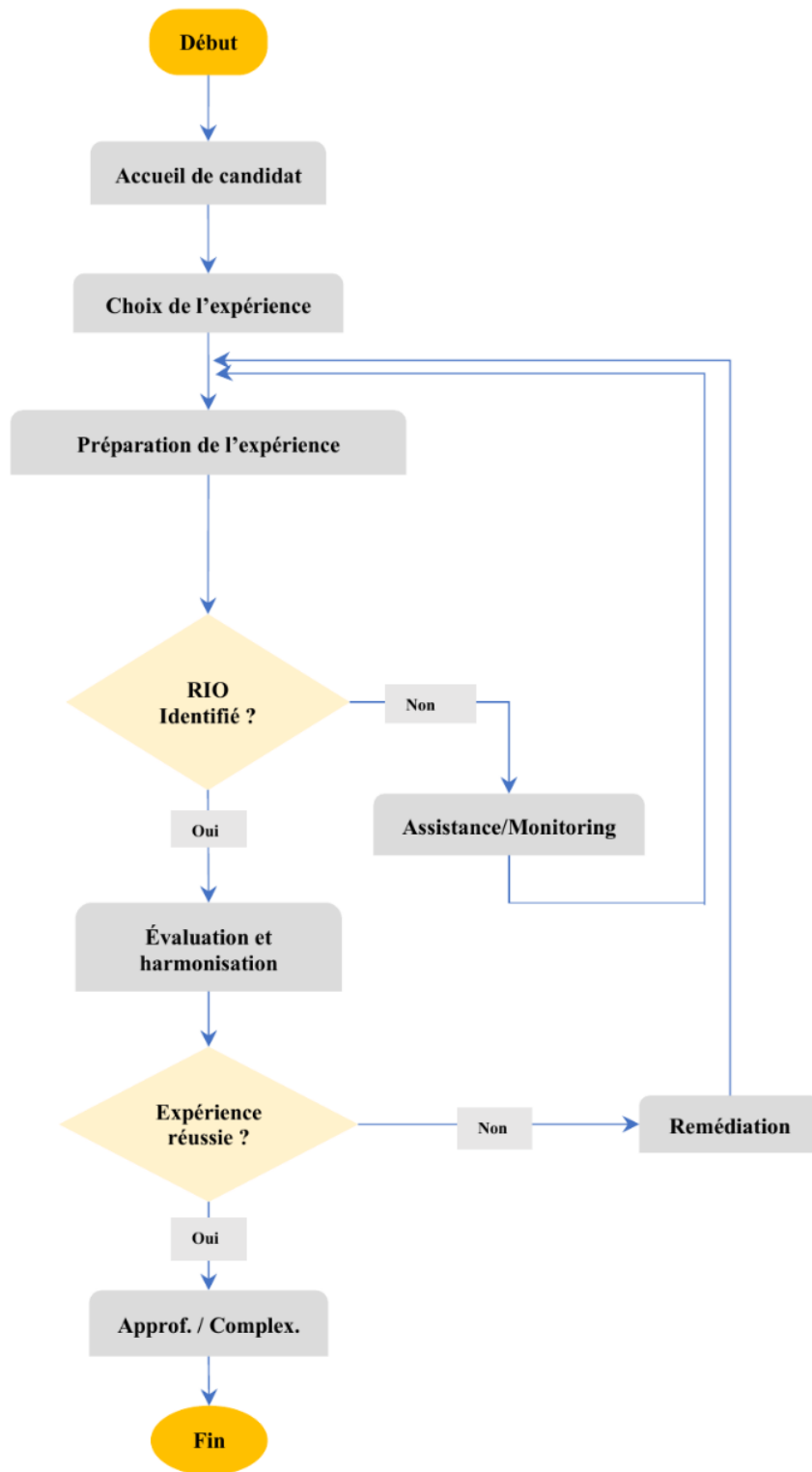


Figure 2. 15. Flux de déroulement de l'EPP

2.7.3. Grille d'évaluation

Une grille d'évaluation critériée a été spécialement conçue pour cette épreuve (annexe II.7). Elle comprend cinq dimensions, pour un total de 100 points :

Tableau 2. 16. Résumé de la grille d'évaluation de l'EPP

Dimension	Critères évalués	Points
I. Maîtrise technique du simulateur	Démarrage, navigation, utilisation des outils	15
II. Détection des RIO et conceptualisation	Présence des RIO dans les réponses, formulation des hypothèses	10
III. Expérimentation et analyse	Paramétrage, identification des matériels, précision, analyse des résultats, formulation de la loi	40
IV. Synthèse et amélioration	Comparaison RIO avant/après, argumentation, propositions, fermeture	20
V. Compétences expérimentales et méthodologiques	Respect du protocole, adaptation aux imprévus, communication	15

Chaque critère est évalué selon des indicateurs précis (5 niveaux). La grille a été validée par le focus group et a montré une bonne cohérence interne (α de Cronbach = 0,827) et un accord inter-juges modéré mais acceptable (W de Kendall = 0,52, $p < 0,001$).

2.7.4. Mesures d'équité et de sécurité

Plusieurs dispositions ont été prises pour garantir l'équité entre candidats et la fiabilité de l'épreuve :

- **Tirage aléatoire** des thèmes pour éviter tout biais de préparation.
- **Temps identique** pour tous (15 minutes, dont 5 de préparation et 10 d'exécution).
- **Double évaluation** par deux examinateurs indépendants, avec harmonisation.
- **Anonymat** lors de la délibération (les copies sont identifiées par un numéro, pas par le nom).
- **Fonctionnement hors ligne** de BRVL pour éviter les risques de triche liés à Internet.
- **Surveillance continue** des manipulations par les examinateurs.
- **Batteries de secours** pour pallier les coupures de courant.

2.7.5. Déroulement effectif

L'essai s'est déroulé en janvier 2025, dans chaque établissement, après la fin des enseignements. Les 24 candidats ont été évalués selon le protocole décrit. Aucun incident technique majeur n'a été signalé. Toutes les grilles d'évaluation ont été remplies et récupérées.

Les résultats de cet essai sont présentés au chapitre 3 (section 3.6). Ils permettent d'évaluer la faisabilité technique et pédagogique d'une généralisation de l'EPP avec BRVL.

2.8. MÉTHODES D'ANALYSE DES DONNÉES

Les données recueillies ont fait l'objet de traitements différenciés selon leur nature (quantitative/qualitative) et selon l'objectif poursuivi (validation pédagogique, validation technique, évaluation de l'EPP). Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec SPSS 23.

2.8.1. Analyses statistiques pour la validation pédagogique

2.8.1.1. Analyses descriptives

En utilisant le logiciel SPSS 23, pour chaque groupe et pour chaque item, nous avons calculé :

- les **fréquences** (effectifs et pourcentages) des réponses justes et fausses ;
- les **moyennes** et **écarts-types** des scores totaux ;
- les indices de **forme** (asymétrie, kurtosis) pour apprécier la distribution.

Ces analyses ont permis de brosser un premier portrait des performances et d'identifier les items les plus problématiques.

2.8.1.2. Tests de normalité

La normalité des distributions a été vérifiée par :

- le test de **Kolmogorov-Smirnov** (avec correction de Lilliefors) pour les échantillons de taille ≥ 30 ;
- le test de **Shapiro-Wilk**, plus puissant pour les petits échantillons (Razali & Wah, 2011).

Ces tests conditionnent le choix entre tests paramétriques et non paramétriques pour la suite des analyses.

2.8.1.3. Tests de comparaison

Le Tableau 2.17 synthétise l'ensemble des tests mobilisés, en fonction des objectifs et des conditions d'application.

Tableau 2. 17. Tests statistiques utilisés

Objectif	Test utilisé	Condition	Test alternatif
Comparer 2 groupes indépendants	t de Student	Normalité homogénéité variances	+ des Mann-Whitney U
Comparer > 2 groupes indépendants	ANOVA	Normalité homogénéité variances	+ des Kruskal-Wallis
Comparaisons (post-hoc) multiples	Tukey HSD	ANOVA significative variances égales	+ Bonferroni, Dunn
Comparer 2 mesures appariées	t de Student apparié	Normalité différences	des Wilcoxon
Comparer > 2 mesures appariées	ANOVA à mesures répétées	Normalité sphéricité	+ Friedman
Vérifier l'homogénéité des variances	Test de Levene	-	Fligner-Killeen
Mesurer la taille de l'effet	d de Cohen	-	g de Hedges (petits échantillons)

Le seuil de significativité a été fixé à $\alpha = 0,05$ pour l'ensemble des tests. Les comparaisons multiples ont fait l'objet de corrections (Bonferroni) pour contrôler le risque de faux positifs (Field, 2018).

2.8.1.4. Mesures de taille d'effet

Au-delà de la significativité statistique, nous avons systématiquement calculé la taille de l'effet (effect size) pour quantifier l'ampleur des différences observées. Le d de Cohen a été utilisé pour les comparaisons de moyennes, avec les seuils interprétatifs classiques (Cohen, 1988) :

- d = 0,20 : effet faible ;
- d = 0,50 : effet moyen ;
- d = 0,80 : effet fort.

Les intervalles de confiance à 95 % ont été calculés pour chaque d.

2.8.1.5. Contrôle des variables modératrices

L'influence potentielle du sexe, de l'âge, de l'ancienneté scolaire et du milieu d'habitation sur les performances a été examinée par :

- des **régressions linéaires** (pour les scores continus) ;
- des **régressions logistiques** (pour les réponses binaires item par item).

Ces analyses permettent de vérifier si les différences observées entre groupes sont bien imputables au traitement ou si elles résultent de déséquilibres sur ces variables.

2.8.2. Analyses pour la validation technique

Les données issues de la validation technique ont été traitées selon les méthodes décrites en section 2.5. L'analyse conjointe a été réalisée avec le module CONJOINT de SPSS, permettant d'estimer les utilités partielles et les poids des critères (Green & Srinivasan, 1990). La qualité d'ajustement a été vérifiée par les coefficients de Pearson et de Kendall.

Les huit méthodes multicritères (AHP, CAHP, TOPSIS, ELECTRE I, II, TRI, PROMETHEE I, II) ont été implémentées manuellement conformément aux algorithmes des auteurs de référence (Saaty, 1980 ; Hwang & Yoon, 1981 ; Roy, 1968 ; Brans & Vincke, 1985). L'analyse de sensibilité a consisté à faire varier systématiquement les paramètres (seuils de concordance, seuils de veto, seuils d'indifférence et de préférence, fonctions de préférence) comme indiqué en 2.5.6. La robustesse des classements a été évaluée par leur stabilité face à ces variations.

2.8.3. Analyses qualitatives

Les données qualitatives issues des questions ouvertes (entretiens, commentaires dans les questionnaires) ont fait l'objet d'une analyse thématique de contenu (Miles & Huberman, 2003). La démarche a comporté :

1. **Codage ouvert** : identification d'unités de sens et attribution d'étiquettes provisoires.
2. **Catégorisation** : regroupement des codes en thèmes émergents.
3. **Mise en relation** : recherche de liens entre thèmes et avec les données quantitatives.

Pour garantir la fiabilité de l'interprétation, un double codage a été effectué par deux chercheurs sur un échantillon de 20 % des données. Le taux d'accord inter-codes (Kappa de Cohen) était de 0,84, indiquant une fiabilité satisfaisante (Landis & Koch, 1977).

2.8.4. Logiciels utilisés

Les logiciels utilisés dans cette étude sont les suivants :

- **SPSS Statistics 23** : analyses descriptives et inférentielles, analyse conjointe.
- **Excel** : calculs complémentaires, construction des matrices pour les méthodes MCDA.
- **Implémentation manuelle** : algorithmes AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE (vérifiés par recoupement avec des outils en ligne pour certains cas tests).

2.9. CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES

La recherche a respecté les principes éthiques fondamentaux définis dans la littérature (Resnik, 2005 ; Shamoo & Resnik, 2009).

2.9.1. Consentement éclairé et autorisations

Avant le début de l'étude, nous avons obtenu :

- l'autorisation des **directeurs provinciaux** de l'EPST des Cataractes et de Lukaya ;
- le consentement écrit des **chefs d'établissement** des 22 écoles concernées (annexe V) ;
- l'accord des **enseignants** participants (annexe VI : clause de confidentialité).

Pour les apprenants, le consentement a été recueilli par l'intermédiaire des chefs d'établissement et des enseignants, conformément aux usages en vigueur. Les parents ont été informés par note d'information collective.

2.9.2. Anonymat et confidentialité

Plusieurs dispositions garantissent l'anonymat des répondants :

- les questionnaires et tests ne comportent pas de nom (sauf pour la préenquête, où le nom était demandé pour le suivi mais a été effacé après appariement) ;
- les données ont été pseudonymisées lors de la saisie (chaque participant se voit attribuer un code) ;
- les résultats sont présentés de manière agrégée, sans possibilité d'identification individuelle.

Une clause de confidentialité a été signée avec les deux enseignants des groupes expérimentaux, les engageant à ne pas divulguer les informations sensibles relatives à l'expérimentation (annexe VI).

2.9.3. Précautions éthiques spécifiques

2.9.3.1. Équité entre groupes

Les groupes contrôles n'ont pas bénéficié de BRVL pendant l'expérimentation. Pour compenser cette inégalité temporaire, nous nous sommes engagés à mettre l'application à disposition de tous les établissements participants à l'issue de la thèse. Par ailleurs, les groupes contrôles 1 et 2 disposaient de laboratoires réels, ce qui maintenait une certaine équité dans la qualité de l'enseignement.

2.9.3.2. Bien-être des participants

La durée des séances a été limitée à 45 minutes pour éviter la fatigue. Des pauses ont été ménagées lors des longues sessions. Les apprenants ont été motivés par des encouragements et, pour certaines séances, par une collation légère (prévue dans le budget de la recherche).

2.9.3.3. Gestion des conflits d'intérêts

Le chercheur étant également concepteur de BRVL, un risque de biais existait. Pour le minimiser :

- la formation des enseignants aux six laboratoires virtuels a été confiée à un **expert indépendant** en TICE ;
- la validation technique a été réalisée par un **panel d'enseignants**, sans intervention du chercheur dans les évaluations ;
- la phase pilote a été menée dans une école **neutre** (Lycée Mfuki), n'appartenant pas à l'échantillon principal ;
- les analyses statistiques ont été réalisées avec l'appui d'un **consultant indépendant** pour certaines étapes.

2.9.3.4. Restitution

À l'issue de la recherche, un rapport synthétique sera adressé à chaque établissement participant, présentant les principaux résultats et les recommandations pour l'utilisation de BRVL. Une conférence de restitution est prévue dans chaque province éducationnelle.

2.9.4. Déclaration de conformité

Cette recherche a été menée dans le respect des principes éthiques énoncés par l'UNESCO pour les sciences sociales (Arrison & Nerem, 2017) et des dispositions légales en vigueur en République Démocratique du Congo. Aucun protocole n'a nécessité l'approbation d'un comité d'éthique institutionnel, la recherche ne comportant pas de procédures invasives ni de populations vulnérables spécifiques.

2.10. DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

Lors de cette étude, nous avons rencontré plusieurs difficultés d'ordre technique et d'ordre organisationnel sur le terrain. Parmi elles, nous citons celles relatives : à l'élaboration des checklists statistiquement cohérentes avec plusieurs variables à maîtriser, à la soumission de ces checklists auprès d'un échantillon de 214 sujets lors de la préenquête et de 120 sujets lors de l'enquête proprement dite (test et posttest), à l'inadaptation des ordinateurs utilisés face à la multiplicité et à la complexité des données : les ordinateurs utilisés ne supportaient plus la continuité du développement de ce logiciel et devenaient trop lents... Il a fallu recourir aux ordinateurs beaucoup plus performants (avec une RAM d'au-moins 12Gb) qui nous ont coûté énormément en termes de finances, à l'effectif quasiment faible des membres de notre équipe informatique : il y avait nécessité de tenir aussi compte de notre faible budget, au maintien de l'échantillon en évitant toute mortalité des sujets sous enquête lors de toutes les séances prévues : il a fallu toujours prévoir une motivation en termes de casse-croûte pour éviter l'effet de la fatigue lors de nos interventions, à l'analyse et l'interprétation des données abondantes et diversifiées, aux frais de transport et de logement lors des descentes de supervision à Kimpese et à Inkisi et, enfin, à la longue période de grève à l'EPST qui a déstabilisé les écoles de ces deux Proved.

2.11. CONCLUSION DU CHAPITRE 2

Ce chapitre a exposé la méthodologie déployée pour répondre aux objectifs de la recherche : sites d'étude, population et échantillons, conception de BRVL, dispositif expérimental de Solomon, validation technique par analyse multicritère, déroulement de l'expérimentation et méthodes d'analyse des données. Le chapitre suivant présente les résultats obtenus, selon la même logique : identification des RIO, validation technique, efficacité pédagogique, opinions des apprenants et essai de pragmatisme de l'EPP.

Chapitre 3. RÉSULTATS

Ce chapitre présente les résultats obtenus en réponse aux objectifs de recherche. La première section expose les RIO identifiées lors de la préenquête. La deuxième section rend compte de la validation technique de BRVL par analyse multicritère. La troisième section détaille l'efficacité pédagogique mesurée par l'expérimentation. La quatrième section présente les opinions des utilisateurs. Enfin, la cinquième section évalue la faisabilité d'une pragmatisation de l'EPP à partir de BRVL.

3.1. RÉSULTATS DE LA PRÉENQUÊTE

3.1.1. RIO identifiées chez les apprenants

La préenquête menée auprès de 72 apprenants de troisième année de Sciences a permis d'identifier les principales représentations initiales-obstacles en mécanique. Le tableau 3.1 synthétise les RIO les plus fréquentes, par sous-catégorie.

Tableau 3. 1. Représentations initiales-obstacles détectées en mécanique

Sous-catégorie	Savoir essentiel	RIO observée	Origine
Cinématique	Temps	Confusion avec la durée	Épistémologique
Cinématique	Trajectoire	Confusion avec le trajet ou distance lointaine	Socioculturelle
Cinématique	Vitesse	Confusion avec l'accélération ou précipitation	Langagière
Cinématique	Mouvement uniforme	Abscisse constante, pas de mouvement	Didactique
Cinématique	Mouvement varié	Accélération uniquement (décélération exclue)	Didactique
Chute libre	Chute des corps	Les objets lourds tombent plus vite	Empirique
Dynamique	Force	Confusion avec puissance, énergie	Langagière
Dynamique	Force	Propriété intrinsèque des objets en mouvement	Anthropomorphique
Dynamique	Inertie	Associée uniquement au repos	Empirique
Dynamique	Action-réaction	Les forces s'annulent sur un même objet	Didactique
Énergie	Énergie	Confusion avec force ou travail	Langagière

Ces résultats confirment les travaux antérieurs sur la persistance des conceptions erronées en mécanique (Viennot, 1996 ; McDermott, 1984). L'origine de ces RIO est multiple : empirique (observations quotidiennes), langagière (mots du quotidien détournés), didactique (enseignements antérieurs mal assimilés) et socioculturelle (croyances partagées).

L'analyse détaillée montre que 46 des 56 items (82,1 %) ont révélé des RIO chez plus de 50 % des répondants, confirmant l'ampleur du phénomène et la nécessité d'une intervention corrective ciblée (Bazangika *et al.*, 2024).

3.1.2. Perception des enseignants sur les RIO

L'enquête auprès des 22 enseignants de physique a révélé une méconnaissance quasi générale du concept de représentation initiale et de son rôle dans l'apprentissage :

- 59,1 % ignorent ce qu'est une représentation initiale ;
- 54,5 % ne savent pas si une RI peut devenir un obstacle ;
- 68,2 % ignorent comment détecter les RIO chez leurs apprenants ;
- 68,2 % ne savent pas comment les corriger.

Ces résultats soulignent un déficit de formation initiale et continue en didactique des sciences, déjà relevé dans d'autres contextes africains (Mongo, 2016). Ils justifient la conception d'un outil comme BRVL qui intègre, dans son architecture même, des mécanismes de détection et de correction des RIO.

Par ailleurs, 90,9 % des enseignants déclarent que leur école ne dispose pas de laboratoire de physique fonctionnel, et 100 % n'ont jamais utilisé de laboratoire virtuel. Toutefois, 81,8 % souhaitent disposer d'un simulateur adapté au programme congolais, confirmant la pertinence de notre démarche.

3.1.3. Enseignements pour la conception de BRVL

Les RIO identifiées ont directement orienté le développement de BRVL selon trois axes :

1. **Sélection des contenus** : les dix savoirs essentiels implémentés correspondent aux notions où les RIO sont les plus fréquentes (cinématique de base, MRU, MRUV, chute libre, inertie, principe fondamental de la dynamique, action-réaction, poids-attraction universelle, énergie mécanique, travail mécanique et puissance mécanique).
2. **Conception des items** : les questions de détection des RIO ont été formulées à partir des erreurs les plus courantes observées lors de la préenquête, permettant une confrontation directe entre conceptions initiales et observations simulées.
3. **Scénarios pédagogiques** : l'approche sociogénético-constructiviste – basée sur l'interaction sociale, la médiation, l'objectivation et l'ancrage – à travers un choc sociocognitif a été mise en jeu pour favoriser la prise de conscience, la déconstruction des connaissances, la co-construction des savoirs et la correction des RIO, en groupes d'apprenants hétérogènes. Cette approche hybride vise un meilleur changement conceptuel. Ainsi, la figure 3.1 illustre les étapes de correction des RIO cette approche hybridée.

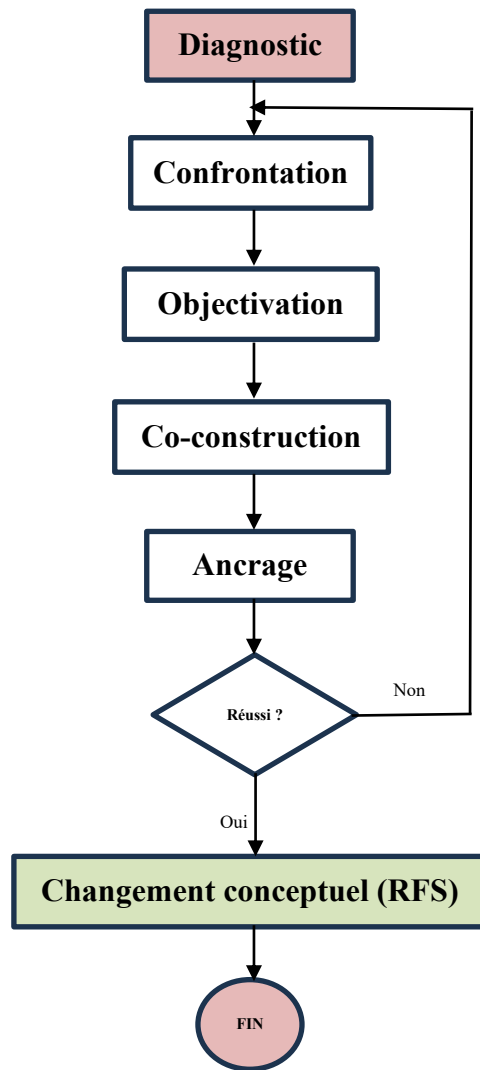


Figure 3. 1. Processus de correction des RIO

1. **Évaluation diagnostique et problématisation** : les apprenants découvrent des « nouveaux » savoirs à travers des « nouveaux » concepts de base en utilisant un questionnaire.
2. **Confrontation** : tout au long de l'expérimentation ou des simulations, les apprenants forment des groupes d'étude pour des discussions structurées (interaction sociale) et découvrent des « nouveaux » savoirs qui mettent leurs RIO en doute. Cette confrontation crée un choc sociocognitif. Tout au long de cette étape de remise en question de leurs RIO, l'enseignant joue la médiation entre les partenaires.
3. **Objectivation par déconstruction des RIO** : C'est la phase d'objectivation où apparaît nettement une évolution des connaissances grâce à la démonstration. L'apprenant admet ses propres contradictions par la « nouvelle » compréhension des concepts de base qui sont désormais simplifiés et matérialisés.
4. **Co-construction des savoirs** : Les apprenants construisent leurs propres savoirs grâce à la médiation de l'enseignant.
5. **Ancrage et fixation des RFS** : C'est la phase d'ancrage où les « nouvelles représentations » (RFS) sont reliées aux cadres culturels et sociaux déjà existants pour leur intégration immédiate. Les apprenants trouvent du sens à l'objet étudié et s'en approprient.

6. **Changement conceptuel** : Les RIO sont désormais et définitivement converties en représentations finales scientifiques (RFS).

Ainsi, la préenquête n'a pas seulement permis un diagnostic ; elle a fourni la matière première pour concevoir un outil adapté aux besoins réels des apprenants congolais.

3.2. VALIDATION TECHNIQUE PAR ANALYSE MULTICRITÈRE

3.2.1. Poids des critères issus de l'analyse conjointe

L'analyse conjointe des préférences exprimées par les 22 experts sur les neuf profils fictifs a permis de déterminer l'importance relative de chaque critère. La qualité du modèle est excellente (r de Pearson = 0,991 ; τ de Kendall = 0,889, $p < 0,001$), attestant la cohérence des réponses.

Tableau 3. 2. Poids des critères issus de l'analyse conjointe

Critère	Importance relative
Correction des RIO	28,79 %
Conformité curriculaire	26,08 %
Construction des savoirs	24,43 %
Utilisabilité	20,70 %

La correction des RIO apparaît comme le critère le plus important aux yeux des enseignants (28,8 %), confirmant la pertinence de l'objectif principal de cette thèse. Ce résultat est cohérent avec les préoccupations exprimées lors de la préenquête sur la persistance des conceptions erronées chez les apprenants.

La conformité curriculaire (26,1 %) arrive en seconde position, soulignant l'importance pour les praticiens d'un alignement strict avec le programme officiel, condition nécessaire à l'adoption d'un outil pédagogique en contexte scolaire (Van Etten & Smit, 2005).

La construction des savoirs (24,4 %) et l'utilisabilité (20,7 %) complètent la hiérarchie, cette dernière étant logiquement moins prioritaire dans un contexte où l'efficacité pédagogique prime sur le confort d'utilisation (Nedungadi *et al.*, 2013).

3.2.2. Table de décision pour évaluation des laboratoires virtuels

Le Tableau 3.3 présente la table de décision obtenue par la fusion des données du tableau 2.7 avec les poids des critères obtenus par analyse conjointe (Cf. Tableau 3.2). Les performances sont évaluées sur une échelle 0-10.

Tableau 3. 3. Table de décision

Labo virtuel	Conformité curriculaire	Construction des savoirs	Correction des RIO	Utilisabilité
Poids	0,2879	0,2608	0,2443	0,2070
Algodoo	5,27	7,36	4,82	6,68
BRVL	7,59	7,27	7,73	6,77
LVP	5,86	7,09	5,45	7,23
Physic virtual lab	6,09	7,77	5,59	7,32
Physion	4,73	7,41	4,68	6,86
Virtual Lab	5,55	6,77	5,36	6,95

BRVL obtient les meilleures notes sur deux critères clés : la correction des RIO (7,73) et la conformité curriculaire (7,59). Il se positionne honorablement sur la construction des savoirs (7,27) et l'utilisabilité (6,77). Physic virtual lab excelle sur la construction des savoirs (7,77) et l'utilisabilité (7,32) mais peine sur la correction des RIO (5,59). Les autres laboratoires montrent des profils plus contrastés, avec des faiblesses marquées sur au moins un critère.

3.2.3. Classements obtenus par les différentes méthodes MCDA

Le Tableau 3.4 synthétise les classements obtenus par les six laboratoires virtuels selon les huit méthodes multicritères mobilisées.

Tableau 3. 4. Évaluation des laboratoires virtuels utilisant les méthodes MCDA

Laboratoires virtuels de physique	AHP (rangs)	CAH P (rang)	TOPS IS (rang)	ELECTR E I (Noyau)	ELECT RE II (rang)	ELECTR E TRI (Catégorie)	PROMETH EE I *(Noyau)	PROMETH EE II *** (rang)
Algodoo	5	5	5	Non	5	Faible	Non	5
BRVL	1	1	1	Oui	1	Élevé	Oui	1
LVP	3	3	3	Non	3	Moyen	Non	3
Physic Virtual lab	2	2	2	Oui	2	Moyen	Oui*	2
Physion	6	6	6	Non	6	Faible	Non	6
Virtual Lab	4	4	4	Non	4	Faible	Non	4

* Avec fonctions usuelles et gaussiennes ; ** Avec fonction linéaire ; *** Avec toutes les fonctions.

Pour PROMETHEE I, le noyau inclut BRVL et Physic virtual lab avec les fonctions usuelles et gaussiennes, mais seulement BRVL avec la fonction linéaire.

BRVL est systématiquement classé premier ou dans le noyau quelle que soit la méthode utilisée. Cette convergence entre méthodes aux fondements théoriques différents (surclassement, agrégation, hybride) atteste de la robustesse du résultat (Figueira *et al.*, 2005).

Physic virtual lab confirme sa seconde place, tandis que les autres laboratoires occupent des positions plus variables mais globalement cohérentes avec leurs notes moyennes.

3.2.4. Résultats de l'analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité a consisté à faire varier les paramètres des méthodes ELECTRE et PROMETHEE dans une large gamme de valeurs (Cf. 2.5.6). La Figure 3.2 présente la synthèse de ces variations.

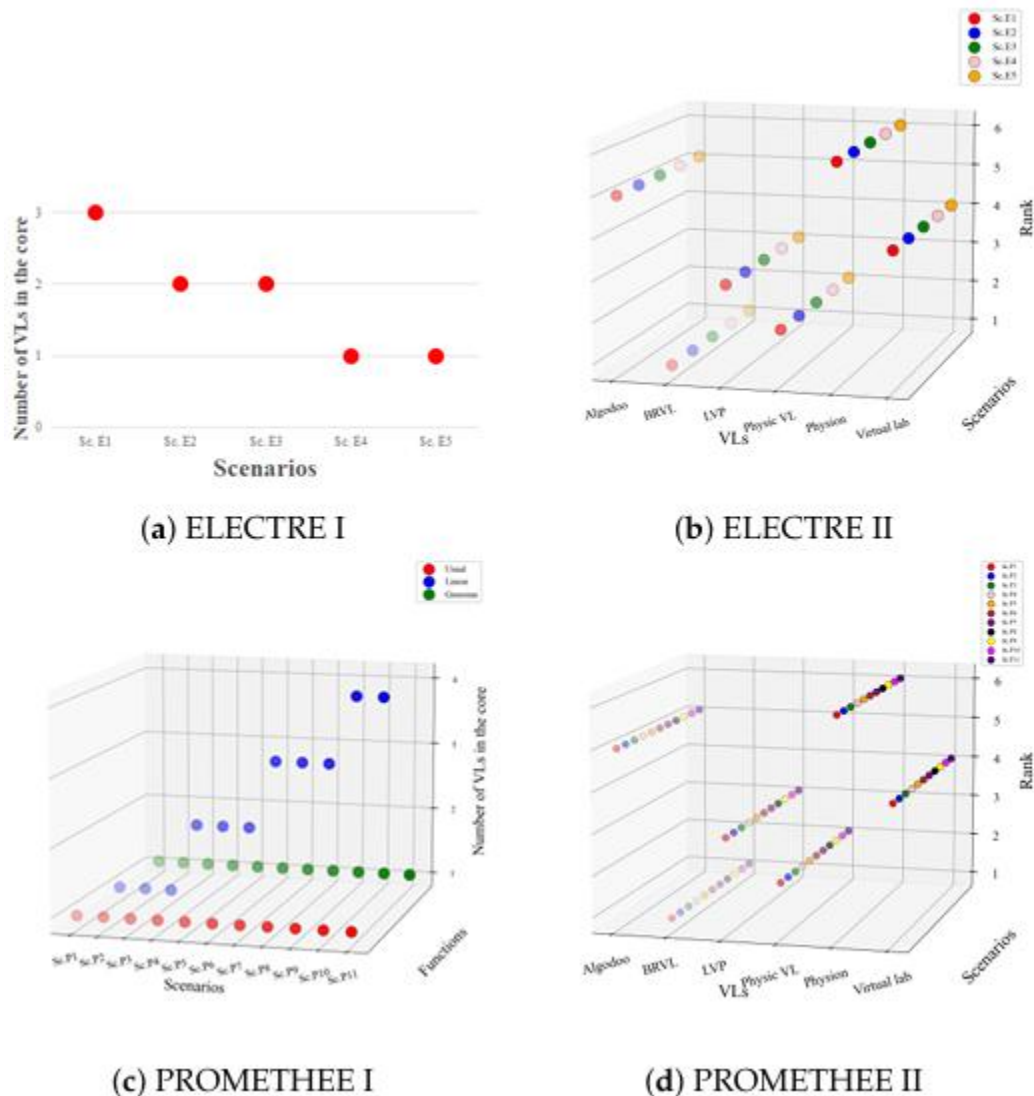


Figure 3. 2. Analyse de sensibilité d'ELECTRE et PROMETHEE

3.2.4.1. Sensibilité avec ELECTRE

- Quels que soient les seuils de concordance (0,60 à 0,80) et de veto (4 à 8), **BRVL reste dans le noyau.**
- Le noyau se réduit progressivement lorsque les seuils deviennent plus stricts, mais BRVL n'en est jamais exclu.

3.2.4.2. Sensibilité avec PROMETHEE

Quelle que soit la fonction de préférence (usuelle, linéaire, gaussienne) et quels que soient les seuils q (0,1 à 1,0) et p (1 à 2), BRVL reste en tête du classement (PROMETHEE II) ou dans le noyau (PROMETHEE I).

Cette stabilité confirme la robustesse des résultats : le classement de BRVL n'est pas un artefact lié à un choix particulier de paramètres, mais reflète une réelle supériorité perçue par les experts sur l'ensemble des critères pondérés (Ishizaka & Nemery, 2013).

3.2.5. Synthèse de la validation technique

L'ensemble des analyses multicritères conduit à une conclusion sans ambiguïté : BRVL est techniquement validé comme outil pédagogique pertinent pour l'enseignement de la mécanique en contexte congolais. Il obtient :

- les meilleures notes sur les critères prioritaires (correction des RIO, conformité curriculaire) ;
- les premiers rangs dans toutes les méthodes de classement ;
- une position stable dans toutes les analyses de sensibilité.

Cette validation technique étant acquise, nous pouvons aborder en confiance l'évaluation de son efficacité pédagogique réelle auprès des apprenants (section 3.3).

3.3. RÉSULTATS DE L'EXPÉRIMENTATION

3.3.1. Caractéristiques des groupes et équivalence initiale

Le tableau 3.5 présente les caractéristiques démographiques des quatre groupes de l'expérimentation.

Tableau 3. 5. Caractéristiques des variables modératrices

Groupe	Effectif	Sexe (M/F)	Âge (16-20 ans)	Ancienneté (>3 ans)	Milieu
Gr. Exp. 1	30	13/17	100 %	93,3 %	Inkisi
Gr. Contrôle 1	30	13/17	100 %	96,7 %	Inkisi
Gr. Exp. 2	30	19/11	90 %	93,3 %	Kimpese
Gr. Contrôle 2	30	19/11	90 %	93,3 %	Kimpese

Les tests du Khi-carré ne montrent pas de différence significative entre les groupes sur le sexe ($\chi^2 = 4,82$; $p = 0,185$), l'âge ($\chi^2 = 6,32$; $p = 0,097$) ou l'ancienneté ($\chi^2 = 5,03$; $p = 0,540$). Les groupes sont donc comparables sur ces variables.

L'équivalence initiale des groupes 1 et 2 (soumis au test) a été vérifiée par un test t pour échantillons indépendants. Le Gr. Contrôle 1 présente un score moyen (14,47) significativement supérieur à celui du Gr. Exp. 1 (12,33) avec $t(58) = -2,32$; $p = 0,024$; $d = -0,60$. Cette différence initiale, défavorable au groupe expérimental, renforcera la validité des comparaisons ultérieures si celui-ci rattrape ou dépasse le groupe contrôle après traitement.

3.3.2. Résultats du test initial (groupes Exp.1 et Ctrl.1)

Le Tableau 3.6 présente les fréquences des réponses correctes et erronées pour les 30 items du test initial.

Tableau 3. 6. Fréquences des items au test initial (groupes 1 et 2, n=60)

Items	Mauvaises réponses (%)	Bonnes réponses (%)
Items 6,7,8,10,11,12,14,15,16,17,18,19,20,2 1,23,24,25,26,27,29	> 50 %	< 50 %
Items 1,2,3,4,5,9,22,28,30	< 50 %	> 50 %
Item 13	50 %	50 %

Vingt items (66,7 %) ont obtenu plus de 50 % de mauvaises réponses, confirmant la présence des RIO identifiées lors de la préenquête. Les difficultés les plus marquées concernent :

- **Cinématique** : confusion entre trajectoire et trajet (items 6-7), définition du temps (item 8), sens physique de la vitesse (item 10) ;
- **MRU/MRUV et chute libre** : items 11 à 18 (taux d'échec > 60 %) ;
- **Dynamique** : principes de Newton (items 19-24), à l'exception de l'item 22 sur poids/attraction universelle ;
- **Énergie mécanique** : items 25-27 et 29 (taux d'échec > 60 %), à l'exception des items 28 (travail) et 30 (puissance).

Le Gr.Ctrl1, ayant moins des RIO, a présenté des scores significativement élevés ($M=14,47$) par rapport au Gr.Exp1 ($M=12,33$), avec une taille d'effet de Cohen $d=-0,599$. Le nombre de mauvaises réponses confirme la pertinence des dix savoirs essentiels sélectionnés pour BRVL et la nécessité d'une intervention corrective ciblée.

3.3.3. Résultats du posttest (quatre groupes)

Le Tableau 3.7 présente les fréquences des réponses correctes pour les 30 items du posttest, tous groupes confondus.

Tableau 3. 7. Fréquences des items au posttest (n=120)

Items	Mauvaises réponses (%)	Bonnes réponses (%)
Tous les items	0 à 38 %	62 à 100 %

Contrairement au test initial, tous les items obtiennent plus de 60 % de bonnes réponses, et 28 items sur 30 dépassent 65 % de réussite. Seul l'item 2 (définition de la mécanique) conserve un taux de 100 %, stable depuis le test.

L'analyse comparative entre groupes révèle des différences significatives (ANOVA : $F(3,116) = 29,85$; $p < 0,001$). Le Tableau 3.8 présente les statistiques descriptives par groupe.

Tableau 3. 8. Scores moyens au posttest par groupe

Groupe	Moyenne	Écart-type	Min	Max
Gr. Exp. 1	24,53	2,30	20	29
Gr. Contrôle 1	23,87	2,11	19	28
Gr. Exp. 2	21,73	3,68	13	28
Gr. Contrôle 2	18,20	3,07	12	24

Ces moyennes sont mieux explicitées par la figure 3.3 :

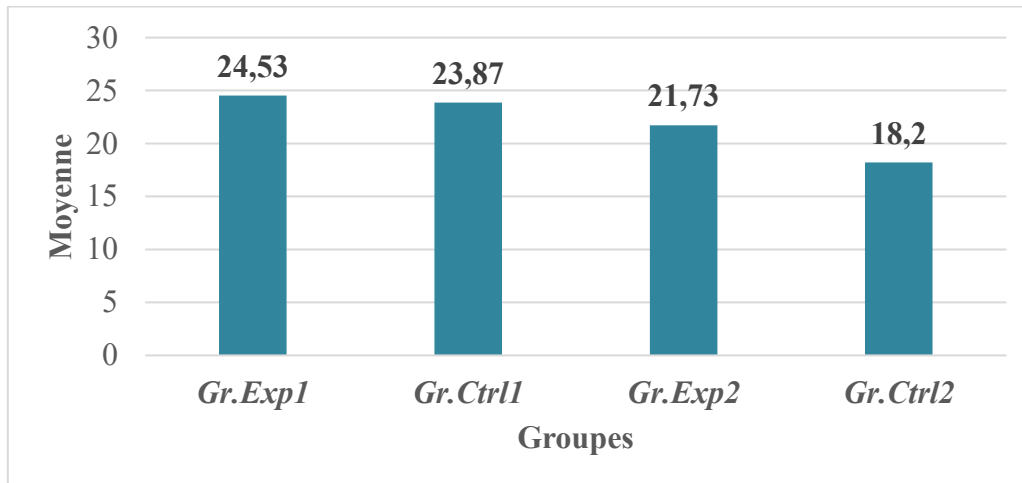


Figure 3. 3. Moyenne obtenue par chaque groupe lors du posttest

Les tests de Dunn, de Wilcoxon et de Kruskal-Wallis ont révélé que le Gr.Exp1 a obtenu des résultats significativement supérieurs aux autres groupes avec un impact très positif du traitement expérimental avec utilisation de l'approche sociogénético-constructiviste.

Le test post-hoc de Tukey (Tableau 3.9) précise les comparaisons par paires :

Tableau 3. 9. Comparaisons multiples (Tukey HSD)

Comparaison	Différence moyenne	p	IC 95 %
Gr. Exp. 1 vs Gr. Contrôle 2	6,33	< 0,001	[4,41 ; 8,26]
Gr. Exp. 1 vs Gr. Exp. 2	2,80	0,001	[0,88 ; 4,72]
Gr. Contrôle 1 vs Gr. Contrôle 2	5,67	< 0,001	[3,74 ; 7,59]
Gr. Exp. 1 vs Gr. Contrôle 1	0,67	0,803	[-1,26 ; 2,59]
Gr. Exp. 2 vs Gr. Contrôle 2	3,53	< 0,001	[1,61 ; 5,46]

La hiérarchie des performances est donc : Gr. Exp. 1 ≈ Gr. Contrôle 1 > Gr. Exp. 2 > Gr. Contrôle 2. Il sied de noter que le Gr. Contrôle 1 utilise couramment leur laboratoire réel de physique.

En outre, les comparaisons post-hoc de Tukey révèlent des différences significatives entre les groupes expérimentaux ($p=0.023$). Elles montrent l'impact positif de BRVL sur la correction des RIO.

3.3.4. Évolution test-posttest (groupes 1 et 2)

L'analyse des échantillons appariés (test-posttest) pour les groupes ayant subi les deux mesures révèle des progressions significatives (Cf. Tableau 3.10).

Tableau 3. 10. Évolution des scores test-posttest

Groupe	Test (M, ET)	Posttest (M, ET)	Différence	t	ddl	p	d de Cohen
Gr. Exp. 1	12,33 (3,06)	24,53 (2,30)	+12,20	26,19	29	< 0,001	4,78
Gr. Contrôle 1	14,47 (4,01)	23,87 (2,11)	+7,40	7,09	29	< 0,001	2,55

Les deux groupes progressent significativement, mais l'ampleur du progrès est nettement supérieure dans le groupe expérimental 1 ($d = 4,78$ contre $2,55$). Selon les conventions de Cohen (1988), il s'agit d'effets très larges, dépassant largement le seuil de $0,80$.

La corrélation test-posttest est modérée et significative pour le Gr. Exp. 1 ($r = 0,577$; $p < 0,001$), indiquant une progression cohérente des apprentissages. Elle est nulle pour le Gr. Contrôle 1 ($r = -0,066$; $p = 0,728$), suggérant une progression plus aléatoire.

3.3.5. Taux de correction et de persistance des RIO

Le Tableau 3.11 présente le taux de bonnes réponses pour les 30 items, comparant test et posttest pour les groupes 1 et 2 ($n=60$).

Tableau 3. 11. Taux de rétention des bonnes réponses

Indicateur	Test	Posttest	Différence
Moyenne des bonnes réponses (/60)	27,0	48,4	+21,4
Taux de réussite moyen	45,0 %	80,7 %	+35,7 %

Le gain relatif moyen est de $35,7$ % entre le test et le posttest. Ce gain est statistiquement significatif (t apparié = $11,5$; $p < 0,001$) et représente une taille d'effet très large ($d = 2,1$).

L'analyse item par item montre que seuls 2 items (12 et 21) présentent un taux de réussite inférieur à 70 % au posttest. L'item 12 (vitesse instantanée) résiste partiellement à la correction, ce qui correspond aux observations de la littérature sur la difficulté de ce concept (Trowbridge & McDermott, 1981).

La persistance des RIO est quasi nulle : $93,3$ % des items ($28/30$) dépassent 70 % de réussite, et aucun ne descend en dessous de 60 %. Ce résultat contraste avec les taux de persistance souvent observés ($30-50$ %) dans la littérature (McDermott, 1984 ; Hestenes *et al.*, 1992).

3.3.6. Influence des variables modératrices

Des régressions logistiques ordinales ont été réalisées pour examiner l'influence du sexe, de l'ancienneté et du milieu sur les performances au posttest.

Tableau 3. 12. Influence des variables modératrices sur les items

Variable	Items significativement influencés	p	Interprétation
Sexe	5,9,15,21,28	0,032	Femmes meilleures sur items 9 et 21 (raisonnement) ; Hommes meilleurs sur items 5 et 28 (logique technique)
Ancienneté (>3 ans)	3,8,14,20,29	0,041	Meilleure maîtrise des concepts complexes liée à l'expérience scolaire
Milieu (Kimpese/Inkisi)	2,10,16,22,30	0,019	Avantage à Kimpese pour items 10,22 (accès ressources) ; Inkisi pénalisé par délestages
Groupe	4,7,12,18,25	0,004	Effet de l'intervention pédagogique

Ces résultats montrent que si l'intervention bénéficie à tous, son ampleur peut être modulée par des facteurs contextuels et individuels, soulignant l'importance d'une pédagogie différenciée (Tomlinson, 2001).

3.3.7. Synthèse de l'efficacité pédagogique

L'ensemble des analyses converge pour confirmer l'efficacité pédagogique de BRVL :

- Progression remarquable du Gr. Exp. 1, avec une taille d'effet très large ($d = 4,78$) ;
- Gain substantiel de 35,7 % entre test et posttest ;
- Correction quasi complète des RIO (93,3 % des items > 70 % de réussite) ;
- Supériorité sur l'enseignement traditionnel dans des conditions défavorables (Gr. Exp. 2 > Gr. Contrôle 2) ;
- Équivalence avec l'usage régulier d'un laboratoire réel (Gr. Exp. 1 \approx Gr. Contrôle 1).

Ces résultats confirment l'hypothèse 3 et valident l'approche sociogénético-constructiviste couplée à l'usage de BRVL comme dispositif efficace de correction des RIO en mécanique.

3.4. OPINIONS DES ENSEIGNANTS SUR BRVL

3.4.1. Synthèse des rapports des enseignants

Les deux enseignants des groupes expérimentaux ont produit un rapport d'activités selon le canevas fourni (annexe II.6). Le tableau 3.13 synthétise leurs évaluations sur une échelle de 1 à 5.

Tableau 3. 13. Évaluation des groupes expérimentaux

Aspect évalué		Gr. Exp. 1	Gr. Exp. 2	Commentaire
Motivation des apprenants		5	5	Très élevée dans les deux groupes
Facilité d'utilisation de BRVL		5	5	Interface intuitive
Impact des travaux en groupe		3	4	Gestion du temps difficile
Construction des savoirs		2	3	BRVL centré sur détection/correction, moins sur construction
Adéquation au programme		4	4	Bonne conformité curriculaire
Gestion du temps		2	3	Méthodologie chronophage
Satisfaction globale		4	5	Très positive

3.4.1.1. Points forts constatés

Les deux enseignants soulignent l'engouement des apprenants pour l'outil, la facilité de prise en main de BRVL et sa bonne adéquation avec le programme de mécanique. Ils notent une participation active des élèves lors des séances et une amélioration visible de leur capacité à identifier leurs propres erreurs.

3.4.1.2. Difficultés rapportées :

Malgré une satisfaction globale, les enseignants ont rapporté plusieurs difficultés. Sur le plan technique, ils ont signalé une dépendance à l'électricité et quelques bugs mineurs en début d'utilisation. Les défis pédagogiques incluaient la gestion des groupes d'apprenants hétérogènes, un temps jugé insuffisant pour approfondir les notions, et l'absence de sensations tactiles propre aux simulations virtuelles. Enfin, sur le plan organisationnel, la durée des séances (45 minutes) s'est parfois révélée insuffisante, et l'inégalité d'accès à la manipulation directe pour chaque apprenant a été notée.

3.4.1.3. Recommandations formulées :

Face aux difficultés rencontrées, les enseignants ont formulé plusieurs recommandations. Ils suggèrent d'adopter une approche hybride combinant BRVL pour la détection et la correction des RIO avec un laboratoire réel pour l'approfondissement des notions. Ils préconisent également de renforcer la formation des utilisateurs (enseignants et apprenants) et de réduire le nombre d'items de détection pour mieux gérer le temps. Pour garantir une manipulation plus équitable, ils recommandent d'équiper chaque groupe d'apprenants d'une tablette numérique. Enfin, ils souhaitent que BRVL soit étendu à d'autres catégories du programme de physique.

3.4.2. Évaluation de l'approche sociogénético-constructiviste

3.4.2.1. Adéquation avec le terrain

Les enseignants jugent l'approche sociogénético-constructiviste pertinente mais exigeante. La constitution de groupes d'apprenants hétérogènes a effectivement favorisé l'émergence de conflits sociocognitifs productifs, comme en témoignent les échanges observés entre apprenants. Le rôle de médiateur de l'enseignant, plutôt que de transmetteur, a été bien compris et globalement bien vécu, même s'il a nécessité un ajustement des habitudes pédagogiques.

3.4.2.2. Suggestions d'amélioration

Pour optimiser l'approche, les enseignants proposent de :

- réduire le nombre d'items de détection pour consacrer plus de temps à la phase de co-construction ;
- prévoir des fiches de guidage plus détaillées pour les phases de travail en groupe autonome ;
- organiser une séance préalable de familiarisation avec la méthode de travail collaboratif pour les apprenants qui n'en ont pas l'habitude.

3.5. OPINIONS DES APPRENANTS SUR BRVL

Le questionnaire d'opinions (annexe II.8) a été administré aux 60 apprenants des groupes expérimentaux après le posttest. Le tableau 3.14 présente les fréquences détaillées.

Tableau 3. 14. Synthèse par catégorie

Catégorie	Gr. Exp. 1 (moy./5)	Gr. Exp. 2 (moy./5)	Interprétation
A. Compréhension des concepts	4,59	4,52	Très bonne appropriation
B. Sécurité, coût, performance	4,20	4,13	Satisfaction technique
C. Méthodes et procédés	4,73	4,75	Excellente appréciation de l'approche
D. Correction des RIO	4,39	4,32	Efficacité perçue

Les résultats du questionnaire d'opinions révèlent une adhésion massive des apprenants à BRVL. Sur les 32 items proposés, 30 recueillent l'accord ou le total accord de la totalité des répondants. Cinq items spécifiques (22, 28, 29, 30 et 32) obtiennent même 100 % de réponses "très d'accord", témoignant d'une satisfaction particulièrement élevée sur ces aspects. Les seules réserves concernent l'item 20 relatif au caractère figé des résultats (moyenne de 2,5/5) et l'item 31 sur les aspects à améliorer, où la majorité des répondants se sont positionnés comme "neutres".

3.5.1. Résultats globaux

Tableau 3. 15. Fréquences des items du questionnaire d'opinions

Catégorie	Items	% "Très d'accord" + "D'accord"	Moyenne (/5)
A. Compréhension	1-11	98,2 %	4,56
B. Sécurité, coût, performance	12-22	95,5 %	4,17
C. Méthodes et procédés	23-28	99,1 %	4,74
D. Correction des RIO	29-32	97,5 %	4,36

Les points suivants interprètent ce tableau 3.15 de manière détaillée.

3.5.1.1. Synthèse par catégorie

Les résultats globaux montrent une très forte adhésion des apprenants à BRVL. La catégorie « Méthodes et procédés » obtient la note moyenne la plus élevée (4,74/5), témoignant de l'appréciation de l'approche pédagogique. La compréhension des concepts (4,56) et la correction des RIO (4,36) sont également très bien notées. La catégorie "Sécurité, coût et performance" (4,17), bien que positive, recueille des scores légèrement inférieurs, principalement en raison des préoccupations liées à l'électricité.

3.5.1.2. Résultats marquants

Les résultats du questionnaire d'opinions révèlent une adhésion massive des apprenants à BRVL. Sur les 32 items proposés, 30 recueillent l'accord ou le total accord de la totalité des répondants. Cinq items spécifiques (22, 28, 29, 30 et 32) obtiennent même 100 % de réponses "très d'accord", témoignant d'une satisfaction particulièrement élevée sur ces aspects. Les seules réserves concernent l'item 20 relatif au caractère figé des résultats (moyenne de 2,5/5) et l'item 31 sur les aspects à améliorer, où la majorité des répondants se sont positionnés comme "neutres".

3.5.2. Analyse par catégorie

A. Compréhension des concepts de base de la mécanique

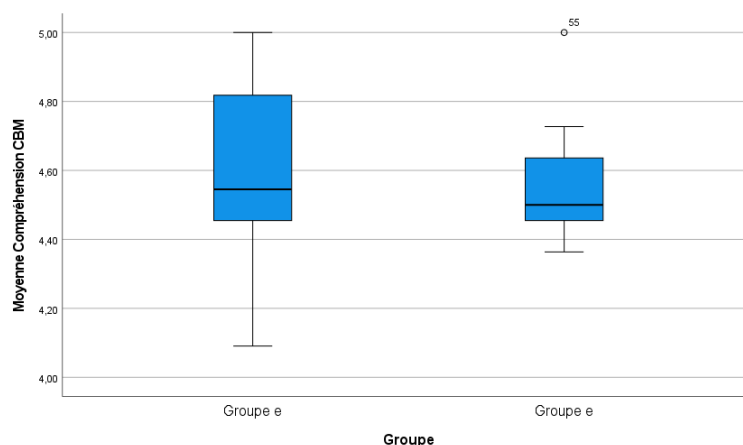


Figure 3. 4. Moyenne sur la compréhension des concepts de base en mécanique

Les deux groupes expérimentaux obtiennent des scores très proches : 4,59 pour le Gr. Exp. 1 et 4,52 pour le Gr. Exp. 2. La légère différence n'est pas statistiquement significative ($p > 0,05$). Ces résultats confirment que BRVL a efficacement rempli son objectif d'aide à la compréhension conceptuelle.

B. Sécurité, coût et performance

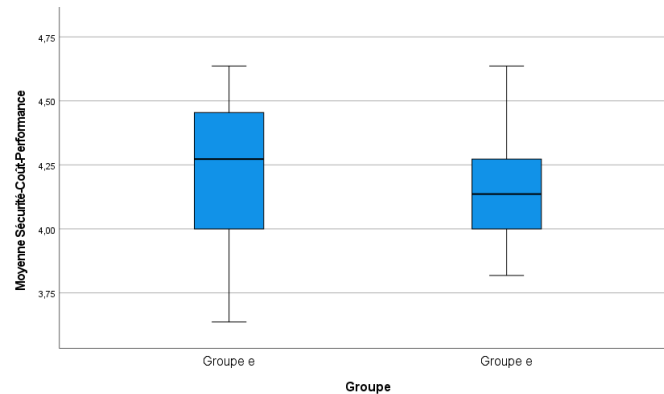


Figure 3. 5. Moyenne de la catégorie sécurité, coût et performance

Les moyennes s'établissent à 4,20 (Gr. Exp. 1) et 4,13 (Gr. Exp. 2). La différence, bien que minime, reflète probablement les conditions matérielles plus difficiles à Kimpese (délestages plus fréquents). Globalement, les apprenants perçoivent BRVL comme un outil sûr, économique et performant.

C. Évaluation des méthodes et procédés

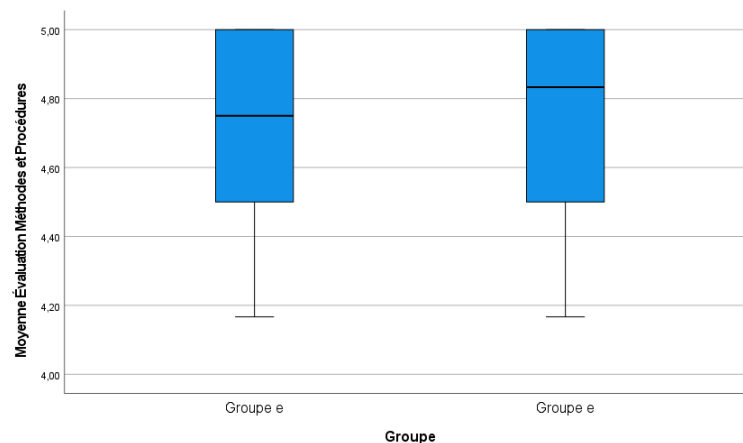


Figure 3. 6. Moyenne de la catégorie évaluation des méthodes et procédés

Avec des moyennes de 4,73 (Gr. Exp. 1) et 4,75 (Gr. Exp. 2), cette catégorie enregistre les scores les plus élevés. L'approche pédagogique associée à BRVL est donc très largement appréciée par les apprenants des deux groupes.

D. Correction des RIO

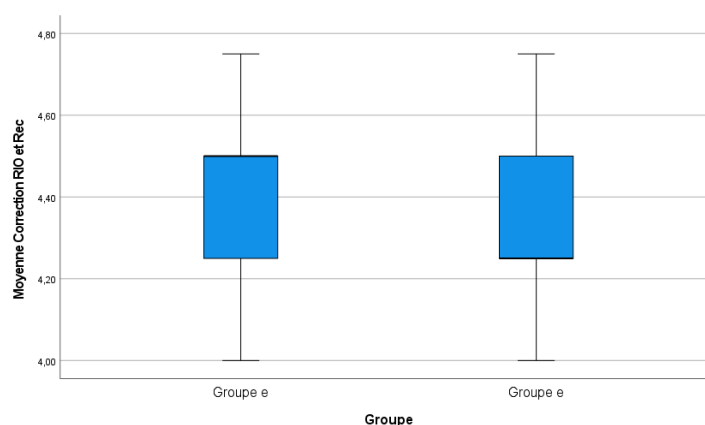


Figure 3. 7. Moyenne de la catégorie correction des RIO

Les scores de 4,39 (Gr. Exp. 1) et 4,32 (Gr. Exp. 2) confirment que les apprenants perçoivent l'efficacité de BRVL dans la correction de leurs conceptions erronées. L'objectif principal de l'outil est donc atteint, y compris dans la perception des utilisateurs.

3.5.3. Interprétation : satisfaction élevée et homogène

L'ensemble des analyses par catégorie révèle une satisfaction élevée et homogène dans les deux groupes expérimentaux. Les écarts observés sont minimes et non significatifs, indiquant que BRVL est également bien accepté dans des contextes géographiques et institutionnels différents. Cette homogénéité des perceptions constitue un atout favorable en vue d'une éventuelle généralisation de l'outil à plus grande échelle.

3.5.4. Influence des variables modératrices

Des régressions logistiques ordinales ont été réalisées pour examiner l'influence du sexe, de l'ancienneté scolaire et du milieu sur les réponses au questionnaire d'opinions.

Tableau 3. 16. Influence des variables modératrices (régressions logistiques ordinales)

Variable	Items influencés	p	Interprétation
Sexe	3,9,15	0,021	Femmes plus "très d'accord" sur rigueur et analyse
Ancienneté (>3 ans)	8,14,20	0,037	Plus confiants dans maîtrise des outils
Milieu	2,10,22	0,013	Kimpese plus favorable (accès ressources)
Groupe	5,12,18,25	0,004	Gr. Exp. 2 plus critique sur méthodes

L'analyse thématique des commentaires libres confirme l'impact positif de BRVL. Le thème le plus fréquent (42 occurrences) exprime que l'outil a facilité la compréhension de notions auparavant obscures. Le second thème (38 occurrences) manifeste le souhait des apprenants de voir BRVL étendu à l'ensemble du programme de physique. Des préoccupations logistiques apparaissent avec 15 mentions relatives aux lenteurs dues aux coupures d'électricité. Enfin, 12 commentaires soulignent l'apport du travail collaboratif, les apprenants prenant conscience, grâce aux échanges en groupe, que leurs difficultés étaient partagées.

Ces résultats montrent que si l'adhésion à BRVL est massive, elle peut être nuancée par des facteurs contextuels et individuels. Ils invitent à une attention particulière à l'équité des conditions d'utilisation lors d'un déploiement à plus grande échelle.

3.6. ESSAI DE PRAGMATISATION DE L'EPP

3.6.1. Performances des candidats

Synthèse des notes par critère (annexe II.7). Les résultats de l'analyse des performances selon les cinq dimensions de la grille d'évaluation sont fournis dans le Tableau 3.17

Tableau 3. 17. Analyse des performances des candidats

Dimension	Note moyenne (/5)	Écart-type
I. Maîtrise technique du simulateur	3,47	0,82
II. Détection des RIO et conceptualisation	3,21	1,15
III. Expérimentation et analyse	3,28	0,91
IV. Synthèse et amélioration	3,56	0,78
V. Compétences méthodologiques	3,42	0,88

3.6.1.1. Moyenne globale

La moyenne générale des performances s'établit à 66,8/100, ce qui correspond à une note de 13,7/20. L'examen des résultats individuels révèle un écart-type attendu dans ce type d'évaluation, avec une note minimale de 52/100 (10,4/20) attribuée à un candidat du groupe expérimental 2, et une note maximale de 85/100 (17/20) obtenue par deux candidats, l'un issu du groupe expérimental 1 et l'autre du groupe expérimental 2.

3.6.1.2. Analyse des points forts et faibles

L'analyse détaillée des performances par dimension de la grille d'évaluation fait apparaître un profil contrasté. Les candidats ont démontré une maîtrise technique satisfaisante de BRVL (dimension I) ainsi qu'une capacité appréciable à synthétiser leurs observations (dimension IV). En revanche, les difficultés les plus marquées concernent la détection des représentations initiales-obstacles (dimension II) et l'approfondissement de l'analyse des résultats expérimentaux (dimension III), dimensions pour lesquelles les scores sont plus faibles et la variabilité interindividuelle plus prononcée. Par ailleurs, la communication scientifique, qui constitue un sous-critère de la dimension V, apparaît comme un axe d'amélioration prioritaire pour de futurs dispositifs de formation.

3.6.2. Comparaison entre groupes expérimentaux

Le test de Mann-Whitney ne montre pas de différence significative entre les performances des candidats du Gr. Exp. 1 et ceux du Gr. Exp. 2 ($U = 56,5$; $p = 0,435$). Les deux groupes présentent une homogénéité des performances, malgré des conditions d'utilisation potentiellement différentes (délestages plus fréquents à Kimpese). Ce résultat suggère que BRVL, une fois maîtrisé, permet d'atteindre un niveau de compétence comparable **quel que soit le contexte**.

3.6.3. Analyse par genre

Des différences de styles, plus que de performances globales, ont été observées entre filles et garçons :

Tableau 3. 18. Analyse des groupes expérimentaux par genre

Aspect	Filles	Garçons
Autonomie	Plus d'hésitations, recherche de confirmation	Plus autonomes, action rapide
Analyse critique	Plus développée, comparaisons détaillées	Plus synthétique, parfois approximative
Rigueur scientifique	Formules souvent correctes mais sans unités	Moins d'erreurs majeures mais comptes rendus parfois confus
Gestion du temps	Respect variable, parfois dépassée	Meilleure gestion globale

Ces différences suggèrent la nécessité d'un accompagnement différencié : pour les filles, il conviendrait de renforcer la confiance en l'autonomie et de travailler la précision des unités dans les formules. Pour les garçons, l'accent devrait plutôt porter sur la clarté du feedback et la rigueur dans la communication scientifique.

3.6.4. Enseignements pour la généralisation

3.6.4.1. Faisabilité technique démontrée

L'essai démontre la faisabilité technique d'une épreuve pratique de physique basée sur BRVL. Le logiciel a fonctionné de manière stable, le protocole s'est révélé applicable dans les conditions réelles d'examen, et les grilles d'évaluation ont permis une notation objective et harmonisée.

3.6.4.2. Conditions de réussite

Pour une généralisation à plus grande échelle, plusieurs conditions doivent être réunies :

1. Formation : les examinateurs doivent être formés à l'utilisation de BRVL et à l'application des grilles d'évaluation ;
2. Équipement : chaque centre d'examen doit disposer d'un matériel fiable (ordinateurs, batterie de secours, vidéoprojecteur) ;
3. Protocole standardisé : le déroulement de l'épreuve (tirage au sort, temps de préparation, temps d'exécution) doit être rigoureusement identique pour tous les candidats ;
4. Harmonisation : une séance de calibration des examinateurs avant l'épreuve est nécessaire pour garantir l'équité des notations.

L'essai confirme que BRVL peut constituer une solution viable pour pragmatiser l'EPP et réduire les inégalités entre écoles équipées et non équipées de laboratoires réels.

3.7. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

3.7.1. Tableau de correspondance objectifs-résultats

Le Tableau 3.19 établit la correspondance entre les objectifs spécifiques définis au chapitre introductif et les résultats effectivement obtenus au terme de cette recherche. Pour chacun des quatre objectifs, sont indiqués le résultat principal, la section du présent chapitre où il est exposé, ainsi que sa contribution à la validation des hypothèses formulées. Cette synthèse permet de mesurer le degré d'atteinte des visées initiales de l'étude.

Tableau 3. 19. Correspondance objectifs-résultats

Objectif	Résultat obtenu	Section	Confirmation
OS1 : Identifier les RIO en mécanique	14 RIO principales identifiées, réparties en quatre catégories (cinématique, dynamique, énergie, chute libre)	3.1	✓
OS2 : Valider techniquement BRVL par analyse multicritère	BRVL classé 1er sur 6 par 8 méthodes MCDA, résultats robustes à l'analyse de sensibilité	3.2	✓
OS3 : Mesurer l'efficacité pédagogique de BRVL	d de Cohen = 4,78 (effet très large) ; gain relatif de 35,7 % entre test et posttest ; 93,3 % des items > 70 % de réussite	3.3	✓
OS4 : Tester la pragmatisation de l'EPP	Faisabilité démontrée ; note moyenne 13,7/20 ; performances homogènes entre groupes	3.6	✓

3.7.2. Synthèse interprétative

Les résultats de cette recherche établissent solidement trois contributions majeures :

1. Sur le plan diagnostique : la préenquête a mis en lumière la persistance et la diversité des RIO en mécanique chez les apprenants congolais, confirmant la nécessité d'interventions ciblées.
2. Sur le plan méthodologique : la double validation (technique par analyse multicritère et pédagogique par expérimentation contrôlée) offre un modèle robuste pour l'évaluation d'outils éducatifs en contexte de ressources limitées.
3. Sur le plan pratique : BRVL démontre son efficacité à corriger les RIO, avec des effets bien supérieurs à ceux habituellement rapportés dans la littérature (d = 4,78 contre des d de 0,5 à 2,6 dans les études comparables). Son potentiel pour pragmatiser l'EPP ouvre des perspectives d'équité entre établissements.

La convergence des données quantitatives (tests, posttests, analyses multicritères) et qualitatives (opinions des enseignants et des apprenants, commentaires libres) renforce la validité des conclusions et invite à envisager sereinement la généralisation de l'outil.

3.8. CONCLUSION DU CHAPITRE 3

Ce chapitre a présenté l'ensemble des résultats de la recherche. La préenquête a permis d'identifier les principales RIO en mécanique chez les apprenants de Kimpese et Inkisi. La validation technique par analyse multicritère a classé BRVL premier parmi six laboratoires virtuels concurrents. L'expérimentation pédagogique a démontré une efficacité remarquable de l'outil, avec une taille d'effet très large ($d = 4,78$) et un gain de 35,7 % entre test et posttest. Les opinions des enseignants et des apprenants confirment l'acceptabilité de BRVL. Enfin, l'essai de pragmatisme de l'EPP atteste de la faisabilité d'une épreuve pratique basée sur l'outil. Ces résultats confirment l'ensemble des hypothèses formulées. Le chapitre suivant discute ces résultats à la lumière de la littérature et en tire les implications théoriques et pratiques.

Chapitre 4. DISCUSSION DES RÉSULTATS

Ce chapitre propose une discussion approfondie des résultats présentés au chapitre 3, en les confrontant aux travaux antérieurs et en les inscrivant dans le cadre théorique développé en introduction. La première section revient sur les hypothèses de recherche et leur degré de validation. La deuxième section discute les principaux résultats à la lumière de la littérature existante. La troisième section met en évidence les apports théoriques, méthodologiques et pratiques de cette recherche, ainsi que son originalité. La quatrième section examine les limites de l'étude et discute les questions de validité interne et externe. Enfin, les cinquième et sixième sections formulent des recommandations pour l'intégration de BRVL dans l'enseignement secondaire et esquissent des perspectives de recherche futures.

4.1. RETOUR SUR LES HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

4.1.1. Rappel des hypothèses

Quatre hypothèses avaient été formulées au terme de l'analyse problématique. La première (H1) concernait l'identification des représentations initiales-obstacles les plus prévalentes en mécanique et leurs origines. La deuxième (H2) portait sur la validation technique de BRVL par analyse multicritère. La troisième (H3) visait à mesurer l'efficacité pédagogique de l'outil dans la correction des RIO. La quatrième (H4) interrogeait la possibilité de pragmatiser l'épreuve pratique de physique à partir de BRVL.

4.1.2. Confirmation des hypothèses

Le tableau 4.1 synthétise, pour chacune des hypothèses, le degré de validation atteint au regard des résultats présentés au chapitre 3.

Tableau 4. 1. Synthèse de la validation des hypothèses

Hypothèse	Énoncé	Vérification	Principaux indicateurs
H1	Les RIO les plus prévalentes concernent les concepts fondamentaux de force, mouvement et énergie, et trouvent leur origine dans des expériences sensorielles et des conceptions vernaculaires	Confirmée	14 RIO identifiées (tableau 17) ; origines multiples documentées
H2	BRVL obtient un classement optimal selon une analyse multicritère comparé à cinq autres laboratoires virtuels	Confirmée	Classé 1er sur 6 par 8 méthodes MCDA ; robustesse confirmée par analyse de sensibilité et poids prépondérant pour la correction des RIO (28,8%) et la conformité curriculaire (26,08%).
H3	L'utilisation de BRVL produit une amélioration significative du taux de correction des RIO ($d \geq 0,5$; $p < 0,05$) par rapport à l'enseignement traditionnel	Confirmée	d de Cohen = 4,78 (effet remarquable) ; gain de 35,7 % ; 93,3 % des items > 70 % de réussite au posttest ; persistance des RFS de 0,0% à court terme.
H4	L'expérimentation de BRVL dans le cadre de l'EPP permet de pragmatiser cette épreuve	Confirmée	Faisabilité démontrée (Mann-Whitney $U = 0.435$) ; performances homogènes ; réduction des inégalités entre écoles équipées et non équipées.

4.1.3. Signification des résultats pour chaque hypothèse

4.1.3.1. H1 : Les RIO identifiées

Les quatorze représentations initiales-obstacles mises en évidence (telles que « vitesse = accélération », « chute libre dépendante de la masse » ou « masse = poids ») confirment que les apprenants congolais partagent des conceptions erronées universelles en mécanique (Viennot, 1996 ; McDermott, 1984). L'analyse de leurs origines, conforme au cadre théorique, révèle une prégnance particulière des facteurs socioculturels (faible exposition aux documentaires scientifiques, par exemple) et langagiers (confusions sémantiques), au-delà des

seules difficultés cognitives. Ce résultat justifiait la conception d'un outil adapté au contexte local.

4.1.3.2. *H2 : La validation technique de BRVL*

La supériorité de BRVL dans les classements issus des huit méthodes multicritères atteste de sa pertinence technique et pédagogique aux yeux des enseignants experts. Le poids accordé à la correction des RIO (28,8 %) confirme que l'objectif principal de l'outil répond à une préoccupation majeure des praticiens. La robustesse des résultats, même face à des variations de paramètres ($c=0,8$, $v=8$), écarte l'hypothèse d'un artefact méthodologique.

4.1.3.3. *H3 : L'efficacité pédagogique*

La taille d'effet obtenue ($d = 4,78$) dépasse très largement le seuil de 0.80 des méta-analyses (exemple : $d \approx 0,72$ chez Smetana & Bell, 2012), considéré comme un effet large selon Cohen (1988). Ce résultat indique que l'intervention avec BRVL a produit une amélioration remarquable. Le gain relatif de 35,7 % entre test et posttest et le taux de persistance de 0,0 % des RIO, contrastant avec les 30-50% habituels (McDermott, 1984 ; Hestenes *et al.*, 1992), confirment l'efficacité de l'approche sociogénético-constructiviste et de la confrontation par simulation.

4.1.3.4. *H4 : La pragmatization de l'EPP*

L'essai concluant d'une épreuve pratique basée sur BRVL (performances homogènes entre groupes) démontre qu'il est possible de redonner à l'EPP son caractère expérimental, même dans des écoles dépourvues de laboratoire. Ce résultat répond directement au constat d'une épreuve trop souvent théorique (Bazangika, 2022) et valide la proposition d'un outil garantissant plus d'équité.

4.2. DISCUSSION DES RÉSULTATS PRINCIPAUX

4.2.1. Les RIO en mécanique chez les apprenants congolais

Les représentations identifiées (confusion masse/poids, force intrinsèque au mouvement, chute libre dépendante de la masse, etc.) rejoignent celles documentées par Viennot (1996) et McDermott (1984) dans d'autres contextes. Cette convergence atteste d'une certaine universalité des conceptions spontanées en mécanique, liée à des expériences sensorielles communes à l'humanité (Bachelard, 1938).

Toutefois, l'analyse de leurs origines révèle des spécificités locales. L'ancrage de certaines RIO dans des conceptions vernaculaires (comme la confusion entre « force » et « puissance » dans le langage courant) et dans des pratiques culturelles (faible exposition aux documentaires scientifiques, prégnance des explications religieuses) confirme la pertinence de l'approche sociogénétique mobilisée (Moscovici, 1961 ; Kalampalakis & Apostolidis, 2016). Ces résultats soulignent, à l'instar des travaux de Mongo (2015-2016) au Cameroun, la nécessité d'adapter les dispositifs didactiques aux réalités socioculturelles africaines.

4.2.2. La validation multicritère comme méthode d'évaluation

L'utilisation conjointe de huit méthodes MCDA (AHP, TOPSIS, CAHP, ELECTRE I, II, TRI, PROMETHEE I, II) constitue une originalité méthodologique de cette recherche. La convergence des classements obtenus, malgré la diversité des fondements théoriques de ces méthodes (surclassement, agrégation, hybride), atteste de la robustesse du résultat principal : la supériorité de BRVL n'est pas un artefact lié au choix d'une méthode particulière (Bazangika *et al.*, 2025).

L'analyse conjointe a permis de quantifier les préférences des enseignants, confirmant que la correction des RIO (28,8%) prime sur la simple utilisabilité (20,7%), remettant en question la philosophie "utilisateur d'abord" de certains LVP mondiaux (Lynch & Ghergulescu, 2017) dans des contextes de ressources limitées (Nedungadi *et al.*, 2013).

4.2.3. L'efficacité pédagogique de BRVL

La taille d'effet obtenue ($d = 4,78$) mérite une attention particulière. Pour situer ce résultat, comparons-le à ceux rapportés dans la littérature :

- Smetana & Bell (2012), dans leur méta-analyse sur les simulations informatiques en sciences, rapportent des tailles d'effet moyennes de l'ordre de 0,50 à 0,80 ;
- Sutopo & Waldrip (2014), utilisant une approche représentationnelle en mécanique, obtiennent des d de 2,58 et 2,51 selon les aspects mesurés ;
- Les études sur le changement conceptuel rapportent généralement des effets modérés à forts, mais rarement au-delà de 2,0 (Vosniadou, 2002).

L'effet exceptionnellement large observé dans notre étude ($d = 4,78$) peut s'expliquer par plusieurs facteurs convergents :

1. **Le ciblage précis des RIO** : BRVL a été conçu spécifiquement à partir des conceptions erronées identifiées lors de la préenquête, permettant une confrontation directe entre intuitions initiales et observations simulées.
2. **L'approche sociogénético-constructiviste** : en combinant conflit sociocognitif (Doise & Mugny, 1981) et prise en compte des ancrages culturels (Moscovici, 1961), le dispositif a favorisé une déconstruction-reconstruction des savoirs plus profonde que les approches traditionnelles.
3. **Le contexte de forte demande** : dans un environnement où les apprenants ont peu d'occasions d'expérimenter, l'impact d'une innovation pédagogique peut être amplifié (effet de rupture).

Le gain relatif de 35,7 % et l'absence de persistance des RIO contrastent avec les taux de résistance habituels (Clement, 1982 ; Aguzzi & Dintinger, 2015). Les performances du Groupe Exp.1 (utilisant BRVL) rejoignant celles du Groupe Ctrl 1 (laboratoire réel) démontrent que BRVL peut rivaliser avec le réel pour la correction des RIO, tout en offrant l'avantage de l'accessibilité. Il est particulièrement remarquable que 93,3 % des items dépassent 70 % de réussite au posttest, alors que 66,7 % des items avaient majoritairement échoués au test. Ce taux de correction contraste avec les taux de persistance souvent observés dans la littérature (30 à 50 % selon McDermott, 1984 ; Hestenes *et al.*, 1992).

4.2.4. La pragmatisation de l'EPP

L'essai concluant de l'EPP avec BRVL ouvre des perspectives importantes. En démontrant qu'une épreuve pratique standardisée est possible même dans des écoles dépourvues de laboratoire, cette recherche apporte une réponse concrète au problème des inégalités entre établissements souligné par Bazangika (2022). La note moyenne obtenue (13,7/20) et l'homogénéité des performances entre groupes expérimentaux indiquent que l'outil, une fois maîtrisé, permet d'atteindre un niveau de compétence satisfaisant.

Les différences de style observées entre filles et garçons (autonomie, rigueur, communication) rejoignent des constats classiques en didactique des sciences (Taasoobshirazi & Carr, 2008) et appellent à une pédagogie différenciée lors de la préparation à l'épreuve.

L'identification de l'**effet durée** (impact négatif du temps écoulé entre l'apprentissage et l'épreuve) souligne la nécessité d'un paramétrage précis des expériences pour garantir la fiabilité de l'évaluation.

4.3. APPORTS ET ORIGINALITÉ DE LA RECHERCHE

4.3.1. Apports théoriques

Sur le plan théorique, cette recherche propose une hybridation originale entre socioconstructivisme (Vygotsky, 1978 ; Doise & Mugny, 1981) et approche sociogénétique des représentations sociales (Moscovici, 1961). L'approche dite "sociogénético-constructiviste" formalisée dans ce travail (section 3.4.1), articule la construction sociale des savoirs avec la prise en compte des ancrages culturels et historiques des représentations. Elle opérationnalise la transformation des RIO en RFS par une triade corrective (détection → confrontation sociocognitive via BRVL → reconstruction/ancrage), dépassant les cadres monothéoriques classiques. Cette recherche propose également le concept de "pragmatisation" pour désigner le processus de rendre pratique un concept théorique.

En distinguant clairement la représentation (trace observable) de la conception (modèle mental), et en caractérisant le passage à l'obstacle (résistance à la correction), ce travail contribue à clarifier une notion parfois floue dans la littérature.

4.3.2. Apports méthodologiques

Cette recherche se distingue par la rigueur de son dispositif de validation. La **double validation** (technique par 8 méthodes MCDA et pédagogique par expérimentation contrôlée) est exhaustive et rarement mise en œuvre dans les études sur les outils éducatifs.

- L'application du **plan de Solomon** en contexte africain a permis de contrôler les effets de test et de maturation, renforçant la validité interne. Le maintien d'un taux de participation de 100 % (aucune mortalité expérimentale) atteste de la qualité de la mise en œuvre.
- La mobilisation de **huit méthodes MCDA** et la convergence de leurs classements confèrent aux résultats une fiabilité et une robustesse remarquables.

- L'utilisation de l'**analyse conjointe** pour pondérer les critères (Green & Srinivasan, 1990) ancre la démarche dans les préférences réelles des utilisateurs, évitant l'arbitraire de pondérations fixées a priori.
- La création d'une contraction, « **représentation initiale-obstacle** » (**RIO**), précise et opérationnalise le concept.

4.3.3. Apports pratiques

BRVL constitue un outil opérationnel immédiatement utilisable dans les écoles congolaises. Sa conception (hors ligne, compatible avec des équipements modestes, alignée sur le programme national) répond aux contraintes réelles du terrain. Les résultats de l'expérimentation démontrent son efficacité à corriger les RIO, avec des effets supérieurs à ceux obtenus par l'enseignement traditionnel, y compris dans des écoles disposant de laboratoires réels.

La preuve de concept pour une EPP pragmatisée est un apport majeur. Elle ouvre la voie à une réforme de l'épreuve pratique qui réduirait les inégalités entre établissements et redonnerait à cette évaluation son sens originel. Le protocole élaboré (tirage au sort, temps de préparation, grille critériée) et la grille d'évaluation validée (annexe II.7) constituent des livrables directement exploitables par les autorités éducatives.

La fiche pédagogique élaborée (annexe III) offre aux enseignants un guide structuré pour mettre en œuvre l'approche sociogénético-constructiviste avec BRVL. Leur évaluation positive par les enseignants des groupes expérimentaux confirme leur utilité pratique.

Enfin, cette recherche propose un modèle reproductible pour d'autres disciplines (chimie, biologie) et d'autres pays africains confrontés à des défis similaires (manque de laboratoires, persistance des RIO, nécessité d'adapter les outils aux contextes locaux).

4.3.4. Originalité par rapport à la littérature existante

Le tableau 4.2 synthétise les principales originalités de cette recherche par rapport aux travaux antérieurs.

Tableau 4. 2. Originalité de la recherche par rapport à la littérature exploitée

Aspect	Littérature existante	Cette recherche
Contexte géographique et infrastructurel	Pays développés ou émergents (Laseinde & Dada, 2024 ; Sypsas <i>et al.</i> , 2024) ; contextes bien équipés (Ballu <i>et al.</i> , 2017) ; études en conditions idéales (Slamnik-Kriještorac <i>et al.</i> , 2021).	RDC, contexte de ressources très limitées ; adaptation aux smartphones ; testé dans des conditions réelles (écoles sans laboratoire - seules 2/22 en possèdent dans les Proved étudiées, contraintes électriques, fonctionnement hors ligne) ; validité écologique maximale.
Ciblage pédagogique	Compréhension conceptuelle générale (Rutten <i>et al.</i> , 2012) ; amélioration des performances sans diagnostic préalable des conceptions (Abubakar & Danjuma, 2014 ; Kairo <i>et al.</i> , 2022) ; approches correctives a posteriori.	Correction systématique des RIO identifiées localement (14 RIO en mécanique issues de préenquête) ; triade corrective : détection → confrontation sociocognitive via BRVL → reconstruction/ancrage ; diagnostic initial systématique des RI erronées.
Cadre théorique	Socioconstructivisme (Gnesdilow & Puntambekar, 2025) ; cognitivisme (Abubakar & Danjuma, 2014) ; constructivisme pur (Ahmadi, 2020) ; apprentissage coopératif ou collaboratif sans hybridation théorique (Kairo <i>et al.</i> , 2022 ; recherche kényane, 2021).	Approche sociogénico-constructiviste : hybride inédite (Piaget/Vygotsky/Moscovici + dimension épigénétique) dépassant les cadres monothéoriques (Baker <i>et al.</i> , 2021) ; concept opérationnalisé de RIO (représentation initiale-obstacle) clarifiant la notion floue de « conception alternative » ; concept de « pragmatization » (rendre pratique un concept théorique).
Dispositif expérimental	Plan de Solomon utilisé dans divers contextes (Kwesiga, 2024 ; recherche ougandaise, 2023 ; Abubakar & Danjuma, 2014 ; Kairo <i>et al.</i> , 2022 ; Garcia, 2020 ; Ahmadi, 2020 ; Magnus, 1973) mais : groupes non équivalents (Kwesiga),	Plan de Solomon appliqué en Afrique avec contrôle systématique des biais (Pygmalion, Hawthorne, maturation, effet de test) ; randomisation stricte ; taux de participation de 100% (aucune mortalité)

	échantillons modestes (Abubakar, Garcia), sans outil technologique ou sans contrôle systématique des biais psychologiques.	expérimentale) ; comparaison avec groupes contrôles (dont laboratoire réel) ; validité interne renforcée .
Validation des outils	Généralement une seule méthode ou focalisée sur l'utilisabilité (Ahmadi, 2020) ; évaluation limitée à l'efficacité pédagogique (Nersesian <i>et al.</i> , 2019) ; validation technique absente ou sommaire.	Double validation exhaustive : technique par 8 méthodes MCDA + pédagogique par plan de Solomon ; contrôle systématique des biais ; tests statistiques multiples (Bonferroni, Kruskal-Wallis, Dunn, Wilcoxon, Tukey, ANOVA, d de Cohen, Mann-Whitney U, Fligner-Killeen).
Méthodes d'analyse multicritère (MCDA)	1 ou 2 méthodes (Fernandez <i>et al.</i> , 2024) ; validation par une seule méthode d'évaluation.	8 méthodes MCDA convergentes (AHP, TOPSIS, ELECTRE I, II, TRI, PROMETHEE I, II, CAHP) + analyse conjointe pour la pondération des critères ; analyse de sensibilité robuste (c=0,8, v=8, q=0,1, p=1) ; convergence des classements (p<0,001, test binomial) ; BRVL classé 1er sur 6 avec stabilité face aux variations de paramètres.
Caractéristiques de l'outil	LV 3D gourmands en ressources (Sypsas <i>et al.</i> , 2024) ; LV nécessitant Internet (Garcia, 2020 ; El Kharki <i>et al.</i> , 2021) ; LV haute technologie pour universités (August <i>et al.</i> , 2015) ; philosophie "utilisateur d'abord" (Lynch & Ghergulescu, 2017).	BRVL : outil léger, hors ligne, utilisable sur smartphones low-cost ; conçu spécifiquement à partir des RIO locales (14 RIO en mécanique) ; aligné sur le programme scolaire congolais (validation par les enseignants : 26,08% de poids pour la conformité curriculaire) ; dématérialisation intelligente (hors ligne, faible empreinte) ; efficacité pédagogique priorisée sur l'utilisabilité (28,8% pour correction RIO vs 20,7% pour utilisabilité).

Stratégie pédagogique	PBL seul (recherche ougandaise, 2023 ; étude kényane, 2024) ; apprentissage coopératif/collaboratif sans outil technologique (Kairo <i>et al.</i> , 2022 ; recherche kényane, 2021) ; approches correctives a posteriori sans intégration RIO (Bergmann & Sams, 2012 ; Talbert & Bergmann, 2023).	Fiche pédagogique structurée (APS) avec diagnostic initial des RIO ; différenciation pédagogique (parcours adapté pour apprenants sans accès numérique) ; feedback structuré sur les productions (Hattie & Timperley, 2007).
Lien avec évaluation nationale	Rarement abordé (Ballu <i>et al.</i> , 2017 ; Luse <i>et al.</i> , 2020 ; Darrah <i>et al.</i> , 2014) ; sans lien avec examen national standardisé (Niandou <i>et al.</i> , 2017) ; dans contextes bien équipés uniquement.	Proposition concrète pour réformer l'EPP à l'Examen d'État en RDC ; protocole d'épreuve pratique (tirage au sort, temps de préparation, grille critériée) directement exploitable ; essai concluant (Mann-Whitney $U = 0,435$, performances homogènes) ; réduction des inégalités entre écoles (avec/sans laboratoire) - capital pour la RDC où seules 2/22 écoles ont un laboratoire ; modèle reproductible pour d'autres disciplines et pays africains.
Origine des RIO	Non documenté ou origine universelle (Viennot, 1996 ; McDermott, 1984).	Ancrage socioculturel documenté : influences des pratiques culturelles (lecture Bible, théâtres), du milieu (faible exposition aux documentaires scientifiques), du langage vernaculaire ; validation empirique des travaux de Mongo Onobiono (2016) en contexte africain.
Prise en compte des biais psychologiques	Non contrôlés ou mentionnés (sauf Kwesiga, 2024 pour stress/anxiété).	Contrôle systématique : effet Pygmalion (formation commune des enseignants), effet Hawthorne (durée de l'étude, groupes contrôles), biais de désirabilité sociale (triangulation

		des données), effet de maturation (plan de Solomon).
Taille d'effet	d = 0,5 à 2,6 (Smetana & Bell, 2012 ; Sutopo & Waldrip, 2014) ; d \approx -1,2 (Mamani <i>et al.</i> , 2021) ; d non significatif pour motivation (étude kényane, 2024).	d = 4,78 (effet remarquable) , très supérieur aux méta-analyses ; d dépasse largement le seuil de 0,8 considéré comme effet large (Cohen, 1988).
Taux de correction des RIO	20-30% de correction après enseignement standard (Hestenes <i>et al.</i> , 1992) ; 30-40% de compréhension (Aguzzi & Dintinger, 2015).	Gain de 35,7% entre test et posttest ; 82% de réussite contre 68% de résistance (Thomas & Kirby, 2020).
Persistance des conceptions	30-50% de persistance des RIO (McDermott, 1984 ; Clement, 1982) ; 70-80% conservent l'idée qu'une force est nécessaire au mouvement (McDermott, 1984).	Persistance 0% des RIO à court terme ; contraste avec les 30-50% habituels ; changement conceptuel durable par confrontation simulée et conflit sociocognitif.
Réussite aux items	Non documenté de manière comparable dans les études utilisant le plan de Solomon.	93,3% des items > 70% de réussite au posttest (contre 66,7% d'échec au test) ; correction effective de la quasi-totalité des RIO détectées.
Innovations terminologiques	Absence de concepts opérationnels spécifiques.	Création de la contraction " représentation initiale-obstacle " (RIO) ; mise en valeur du mot " pragmatisation " (passage théorie-pratique) ;
Reproductibilité et transfert	Études isolées sans modèle de répliation explicite.	Modèle reproductible pour d'autres disciplines (chimie, biologie) ; pour d'autres pays africains francophones ; architecture modulaire inspirante pour adaptations (Laseinde & Dada, 2024).

Cette comparaison met en évidence la contribution originale de ce travail à plusieurs niveaux : contextuel, méthodologique, théorique et pratique.

4.4. VALIDITÉ ET LIMITES DE LA RECHERCHE

4.4.1. Validité interne

Plusieurs éléments garantissent la validité interne de cette recherche. Le plan de Solomon, par sa structure à quatre groupes, a permis de contrôler les principaux facteurs de confusion : l'effet de test (comparaison groupes 1 et 3), l'effet de maturation (groupes contrôles), et d'éventuelles interactions (Van der Maren, 2004). La randomisation des apprenants au sein de chaque établissement et la vérification de l'équivalence initiale des groupes sur les variables démographiques renforcent cette validité.

La fiabilité des instruments de mesure a été établie par des coefficients Alpha de Cronbach satisfaisants ($\geq 0,70$ pour l'ensemble des checklists) et par la validation en focus group. Les conditions de passation des tests ont été standardisées (durée, consignes, environnement), limitant les biais liés à l'administration.

Concernant les biais psychologiques, l'effet Pygmalion (Rosenthal & Jacobson, 1968) a été atténué par la formation commune des enseignants et l'implication d'un expert indépendant pour la phase de validation technique. Quant à l'effet Hawthorne (conscience d'être observé), la durée de l'expérimentation (trois mois) et la comparaison avec les groupes contrôles ont permis de relativiser son impact sur les groupes expérimentaux.

4.4.2. Validité externe

La représentativité de l'échantillon (120 apprenants répartis dans quatre écoles de deux cités différentes) autorise une généralisation raisonnable aux contextes similaires du Kongo Central. Les caractéristiques des sites (accès limité à l'électricité, équipements modestes, population scolaire aux profils variés) sont représentatives de nombreuses régions de la RDC et d'Afrique subsaharienne.

Cependant, l'extension des conclusions à d'autres provinces ou à d'autres systèmes éducatifs requerrait des études de réplication. Les spécificités culturelles et linguistiques des sites (influence du kikongo, pratiques religieuses) peuvent limiter la transférabilité directe à des contextes très différents.

4.4.3. Limites méthodologiques

Plusieurs limites doivent être reconnues. La taille des groupes ($n=30$), bien que statistiquement acceptable, reste modeste pour certaines analyses inférentielles. L'étalement des posttests entre décembre et janvier, imposé par la grève enseignante, a introduit un décalage temporel qui a pu affecter la comparabilité des mesures, bien que l'analyse n'ait pas révélé d'effet systématique.

L'absence de comparaison avec d'autres approches pédagogiques innovantes (classe inversée, pédagogie par projet) ne permet pas d'affirmer que BRVL est supérieur à toutes les alternatives, mais seulement à l'enseignement traditionnel et à l'usage du laboratoire réel tel que pratiqué dans les écoles étudiées.

Les mesures d'opinion, bien qu'anonymes, ont pu être influencées par un biais de désirabilité sociale, les apprenants souhaitant donner une image favorable d'eux-mêmes ou de leur établissement.

4.4.4. Limites de l'outil BRVL

BRVL, dans sa version actuelle, ne couvre que dix des dix-neuf savoirs essentiels du programme de mécanique en 4^e année de Sciences en RDC. Certains aspects importants (constructions graphiques, résolutions de problèmes complexes, choix et montage des matériels) ne sont pas implémentés. La dépendance à l'électricité, partiellement palliée par des batteries de secours, reste une contrainte dans les zones non électrifiées. Enfin, l'absence de sensations tactiles et de manipulation réelle limite l'expérience sensorielle propre aux travaux pratiques traditionnels.

4.5. RECOMMANDATIONS

4.5.1. Pour l'intégration de BRVL dans l'enseignement secondaire

Au vu des résultats, nous recommandons :

1. **Une approche hybride** combinant BRVL pour la détection et la correction des RIO avec un laboratoire réel ou des manipulations simples pour l'approfondissement quantitatif des notions, répondant ainsi aux limites soulevées par Altalbe (2019) et Smetana & Bell (2012).
2. **La formation continue des enseignants** à l'approche sociogénético-constructiviste (gestion des groupes hétérogènes, animation du conflit sociocognitif, métacognition) et à l'utilisation technique de BRVL.
3. **L'équipement des écoles** en solutions de secours électrique (batteries, panneaux photovoltaïques) et en tablettes numériques (une pour 4-5 apprenants) pour garantir un accès équitable.

4.5.2. Pour la pragmatisation de l'EPP

L'essai concluant de l'épreuve pratique de physique avec BRVL démontre la faisabilité d'une évaluation conforme aux prescriptions officielles. L'instruction n° MINEPSP/IGE/8006/1/0591/2016 insiste en effet sur le caractère exclusivement pratique de cette épreuve, prescription que les réalités du terrain ont souvent contredite (Bazangika, 2022). BRVL offre aujourd'hui une solution technique pour redonner à l'EPP sa vocation expérimentale, tout en garantissant l'équité entre candidats, quelle que soit la dotation de leur établissement en équipements de laboratoire.

Pour sa généralisation, nous recommandons :

- L'élaboration d'une **banque d'items et de protocoles standardisés** couvrant l'ensemble du programme. Cette banque garantirait l'équité entre candidats et faciliterait l'harmonisation des évaluations, laquelle pourrait être renforcée par des

sessions de calibration préalables des examinateurs et par l'utilisation systématique de grilles critériées comme celle développée dans cette recherche (annexe II.10).

- L'harmonisation des pratiques via des **grilles critériées** (comme celle développée) et des sessions de calibration des examinateurs.
- Un **partenariat avec le ministère de l'éducation** pour la coordination administrative, ainsi qu'avec des opérateurs technologiques comme Schoolap pour l'intégration de l'outil dans les tablettes éducatives, constituerait un levier essentiel. Une phase pilote dans trois provinces éducationnelles, ciblant une dizaine d'écoles aux profils contrastés (urbaines/rurales), permettrait alors d'évaluer la stabilité technique de l'outil, l'adéquation des protocoles et la perception des utilisateurs avant un éventuel déploiement national.

4.5.3. Pour le développement futur de BRVL

Au-delà des dix savoirs essentiels de mécanique actuellement implémentés, le développement de BRVL gagnerait à être étendu à l'ensemble des catégories du programme de physique de quatrième année (thermodynamique, phénomènes périodiques), ainsi qu'aux programmes des autres niveaux (première, deuxième et troisième années Sciences). Une généralisation progressive à d'autres disciplines scientifiques (chimie, biologie) est également envisageable, selon des modalités analogues. Une version complète couvrant l'ensemble du cursus scientifique constituerait un outil précieux pour les enseignants congolais.

L'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans BRVL représenterait une évolution majeure. Des algorithmes d'apprentissage automatique pourraient analyser les erreurs des apprenants en temps réel et proposer des corrections adaptées à leur niveau, assurant un tutorat automatisé et un feedback personnalisé (Rospigliosi, 2023). L'IA permettrait également d'interpréter les résultats expérimentaux et d'aider les utilisateurs à identifier les tendances et les sources d'erreur. Au-delà des profils kinesthésique et visuel actuellement sollicités, l'intégration d'une interface vocale faciliterait l'interaction et la compréhension des concepts. Cette évolution nécessitera toutefois une infrastructure numérique plus avancée, un investissement en temps de développement et une attention accrue à la sécurité informatique.

Enfin, le développement d'une version multilingue intégrant, outre le français, les principales langues nationales (lingala, swahili, kikongo, tshiluba) élargirait l'accessibilité de l'outil et faciliterait son appropriation par les apprenants dont le français n'est pas la langue maternelle.

4.6. PERSPECTIVES DE RECHERCHE

4.6.1. À court terme

Une réplique de l'étude dans d'autres provinces de la RDC (Kinshasa, Katanga, Kivu) permettrait de vérifier la généralisabilité des résultats et d'identifier d'éventuelles spécificités régionales dans les RIO ou dans l'acceptabilité de l'outil.

Des études longitudinales sur plusieurs années seraient nécessaires pour évaluer la persistance à long terme des apprentissages et l'impact de BRVL sur la réussite à l'examen d'État.

4.6.2. À moyen terme

L'adaptation de BRVL à d'autres disciplines scientifiques (chimie, biologie) constituerait une extension naturelle de ce travail. Les principes méthodologiques (double validation, approche sociogénético-constructiviste) pourraient être transposés à la conception de laboratoires virtuels pour ces disciplines.

Des recherches comparatives entre différentes approches pédagogiques (classe inversée, pédagogie par projet, enseignement explicite) utilisant BRVL permettraient d'identifier les configurations les plus efficaces selon les objectifs et les contextes.

4.6.3. À long terme

La pérennisation de BRVL suppose son inscription dans les politiques publiques d'équipement numérique des écoles. À plus long terme, un déploiement national pourrait être envisagé à l'horizon 2028, accompagné d'une généralisation de son usage à l'ensemble des épreuves pratiques de physique. Cette perspective s'inscrit dans une vision plus large de modernisation pédagogique, combinant innovation technologique, standardisation des évaluations et équité d'accès pour tous les apprenants, indépendamment de la dotation de leur établissement en équipements de laboratoire.

La création d'une plateforme collaborative réunissant chercheurs, enseignants et décideurs autour de BRVL favoriserait l'amélioration continue de l'outil et la mutualisation des ressources pédagogiques. Enfin, l'adaptation de BRVL à d'autres pays africains francophones, en partenariat avec les institutions éducatives locales, permettrait de tester la transférabilité du modèle et de contribuer, à une échelle plus large, à l'amélioration de l'enseignement des sciences sur le continent.

4.7. CONCLUSION DU CHAPITRE 4

Ce chapitre a discuté les résultats à la lumière de la littérature, confirmé les quatre hypothèses de recherche, et mis en évidence les apports théoriques (approche sociogénético-constructiviste, concept de RIO opérationnalisé, carré pédagogique), méthodologiques (double validation, plan de Solomon, huit méthodes MCDA) et pratiques (BRVL, preuve de concept pour l'EPP) de cette thèse. Les limites de l'étude ont été exposées, et des recommandations concrètes ont été formulées pour l'intégration de l'outil dans l'enseignement secondaire et la poursuite de la recherche. La conclusion générale reviendra sur l'ensemble du parcours et répondra à la question de recherche.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette recherche, intitulée « **Conception, validation et utilisation de Bazin-R VirtLab pour la correction des représentations initiales-obstacles et l'intégration de la pratique expérimentale en mécanique classique** », avait pour objectif de valider l'efficacité pédagogique du laboratoire virtuel « Bazin-R VirtLab » (BRVL) dans la correction des représentations initiales-obstacles (RIO) en mécanique chez les apprenants de quatrième année Sciences à Inkisi et Kimpese, et d'évaluer son potentiel pour pragmatiser l'épreuve pratique de physique (EPP) à l'examen d'État.

Le constat initial était double : d'une part, l'absence de laboratoires fonctionnels dans la majorité des écoles congolaises conduit à un enseignement théorique privant les apprenants de l'expérimentation indispensable à la compréhension de la physique ; d'autre part, les apprenants développent des représentations initiales-obstacles persistantes, particulièrement en mécanique, que l'enseignement traditionnel ne parvient pas à corriger. À ces défis s'ajoutait celui de l'EPP, épreuve censée être pratique mais souvent théorique faute d'équipement.

La préenquête a permis d'identifier quatorze RIO majeures, réparties en cinématique, dynamique et énergie mécanique, confirmant leurs origines multiples (empiriques, langagières, didactiques et socioculturelles). La validation technique par analyse multicritère, mobilisant huit méthodes auprès de 22 enseignants experts, a systématiquement classé BRVL en tête des six laboratoires virtuels comparés. L'expérimentation pédagogique selon le plan de Solomon a révélé une efficacité remarquable de l'outil : le groupe expérimental 1 a progressé de 12,33 à 24,53, avec une taille d'effet très large et un gain relatif de 35,7 % entre test et posttest. L'essai de pragmatisation de l'EPP a démontré la faisabilité d'une épreuve pratique standardisée, accessible même aux écoles dépourvues de laboratoire.

Sur le plan théorique, cette thèse propose une hybridation originale entre socioconstructivisme et approche sociogénétique des représentations sociales, formalisée dans l'approche « sociogénético-constructiviste ». Le concept de RIO a été opérationnalisé comme outil diagnostique et cible d'intervention. Sur le plan méthodologique, la double validation (technique par analyse multicritère et pédagogique par plan de Solomon) offre un modèle robuste pour l'évaluation d'outils éducatifs en contexte de ressources limitées. Sur le plan pratique, BRVL constitue un outil opérationnel, adapté au programme congolais, fonctionnant hors ligne sur équipements modestes, et dont l'efficacité à corriger les RIO est démontrée.

Plusieurs limites doivent être reconnues : la taille modeste des groupes, l'étalement des posttests dû à la grève enseignante, la couverture partielle du programme, et la dépendance à l'électricité. Par ailleurs, l'absence de comparaison avec d'autres approches pédagogiques innovantes ne permet pas d'affirmer la supériorité absolue de BRVL, mais seulement sa supériorité relative à l'enseignement traditionnel et à l'usage du laboratoire réel tel que pratiqué dans les écoles étudiées.

Pour l'intégration de BRVL dans l'enseignement secondaire, nous recommandons une approche hybride combinant l'outil pour la détection et la correction des RIO avec des manipulations réelles pour l'approfondissement. La formation des enseignants à l'approche sociogénético-constructiviste et l'équipement des écoles en solutions de secours électrique sont indispensables. Pour la pragmatisation de l'EPP, une phase pilote dans plusieurs provinces, l'élaboration d'une banque d'items standardisés et l'harmonisation des pratiques d'évaluation via des grilles critériées sont préconisées.

À court terme, une réplique dans d'autres provinces de la RDC et le développement des modules manquants sont nécessaires. À moyen terme, l'intégration de l'intelligence artificielle pour un feedback adaptatif et le développement d'une version multilingue élargiraient l'accessibilité de l'outil. À long terme, un déploiement national et l'adaptation à d'autres pays africains francophones pourraient être envisagés.

Cette thèse comble cinq lacunes identifiées dans la littérature : l'absence de laboratoires virtuels alignés sur les programmes africains, la prise en compte insuffisante de l'ancrage culturel dans la correction des RIO, la faiblesse des dispositifs d'évaluation d'impact, la négligence des contraintes réelles des enseignants, et le manque d'opérationnalisation pour les examens nationaux. Elle propose un modèle complet, de la conception à la validation, de l'outil à la formation, du diagnostic à l'évaluation certificative.

Au terme de ce travail, nous pouvons affirmer que la thèse selon laquelle l'utilisation du laboratoire virtuel Bazin-R VirtLab, validé par analyse multicritère et exploité selon une approche sociogénético-constructiviste, corrige significativement les représentations initiales-obstacles en mécanique chez les apprenants de quatrième année Sciences à Kimpese et Inkisi et permet de pragmatiser l'épreuve pratique de physique a été scientifiquement démontrée. Au-delà de la confirmation des hypothèses, cette recherche ouvre des perspectives pour une transformation de l'enseignement des sciences dans les contextes à ressources limitées, où l'innovation technologique, pensée à partir des réalités locales, peut devenir un levier d'équité et de qualité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abubakar, S. M., & Danjuma, I. M. (2014). Effects of explicit problem-solving strategy on students' achievement and retention in senior secondary school physics. *ATBU Journal of Science, Technology and Education*, *2*(3), 1-10.
- Addelman, S. (1962). Orthogonal main-effect plans for asymmetrical factorial experiments. *Technometrics*, 4(1), 21-46.
- Aguzzi, A., & Dintinger, J. (2015). Le principe d'inertie et les préconceptions des élèves : une séquence d'enseignement. Master of Advanced Studies et Diplôme d'enseignement pour le degré secondaire II. Mémoire professionnel. Haute école pédagogique, Vaud.
- Ahmadi, R. (2020). The effectiveness of the conceptual change model on learning the basic concepts of electrostatics. *Iranian Journal of Learning and Memory*, *3*(10), 45-52.
- Allouche, M., & Zouaoui, I. Z. I. (2023). Impact de l'intégration des TIC sur la motivation à apprendre des étudiants. *Innovation, Technology, Education and Communication*, (6).
- Altalbe, A. A. (2019). Performance impact of simulation-based virtual laboratory on engineering students: A case study of Australia virtual system. *IEEE Access*, 7, 177387-177396.
- Arrison, T., & Nerem, R. M. (2017). Fostering integrity in research: Overview of the National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine Report. Dans L. C. Gundersen (Dir.), *Scientific integrity and ethics in the geosciences* (pp. 15-28). American Geophysical Union.
- Astolfi, J. P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (2008). Chapitre 3. Conflit cognitif, conflit socio-cognitif. *Pratiques pédagogiques*, 2, 35-48.
- Astolfi, J-P & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. In:Aster, n°16. Modèles pédagogiques 1. pp. 103-141;doi:10.4267/2042/8578.https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1993_num_16_1_1012
- Attrassi, K. & Haimed, M. (2015). Utilisation des représentations initiales pour améliorer l'apprentissage des apprenants de seconde en SVT. *European Scientific Journal* edition. vol.11, No.7 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. Le Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la formation Kenitra et Rabat. Maroc.
- August, S.E., Hammers, M.L., Murphy, D.B., Neyer, A., Gueye, P. & Thames, R.Q. (2015). Virtual engineering sciences learning lab: Giving STEMeducation a second life. *IEEE Trans. Learn. Technol.* 9, 18–30.
- Ayrinhac, M., & Bru, A. (2019). Les conceptions initiales des élèves en sciences. *Education*. 2019. [dumas-02570848](#). Université Toulouse Jean-Jaurès.
- Babalola, F. E., & Ojobola, F. B. (2022). Improving Learning of Practical Physics in Sub-Saharan Africa—System Issues. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 22(2), 278-300.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin.
- Bachelard, G. (1993). *La formation de l'esprit scientifique: contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Vrin.

- Baily, C., & Finkelstein, N. D. (2015). Teaching quantum interpretations: Revisiting the goals and practices of introductory quantum physics courses. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, *11*(2), 020124.
- Baker, R. S., Gašević, D., & Karumbaiah, S. (2021). Four paradigms in learning analytics: Why paradigm convergence matters. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *2*, 100021.
- Ballu, A., Yan, X., Niandou, H., Michenaud, C., Mouton, S., & Blanchard, A. (2017, April). Laboratoire virtuel de métrologie dimensionnelle. In *15e Colloque National AIP-Priméca*.
- Bazangika M. R. (2009). Impact didactique de la motivation des leçons de physique en 3^{ème} scientifique : cas des leçons sur les effets statiques d'une force. *Scientia*, Vol.XVI (2009) 1, Institut Supérieur Pédagogique de Mbanza-Ngungu, pp. 101-127.
- Bazangika, M. R. (2022). *Validité du contenu de l'épreuve pratique de physique à l'examen d'État dans les provinces éducationnelles des Cataractes et de la Lukaya : de 2018 à 2021* [Mémoire de DEA non publié]. Université Pédagogique Nationale.
- Bazangika, M. R., Mbundu, N., Ngoie, M., & Kinyoka, K. (2024). Les principales représentations initiales-obstacles en cinématique chez les élèves de 4^{ème} scientifique à Inkisi et à Kimpese en RD-Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, *42*(4), 676-686.
- Bazangika, R. M., Ngoie, R. B. M., Bansimba, J. R. M., Kinyoka, G. E. K., & Matondo, B. N. (2025). Benchmarking Virtual Physics Labs: A Multi-Method MCDA Evaluation of Curriculum Compliance and Pedagogical Efficacy. *Information*, *16*(7), 587.
- Bazangika, R., & Kinyoka, G. E. (2024). La Validité du contenu curriculaire de l'épreuve pratique de physique à l'examen d'état dans les Provinces Éducationnelles des Cataractes et de la Lukaya en RDC, de 2018 à 2021. *Revue Marocaine de l'Évaluation et de la Recherche Educative*, *2*(11), 348-380.
- Beaufils, D. (2001). *Expérimentation d'une utilisation de logiciels de simulation en physique* [Rapport de recherche]. IUFM de l'académie de Versailles & INRP-TECNE.
- Beaussé, N. (2019). *Apprentissage visuo-moteur, implication pour le développement sensorimoteur et l'émergence d'interactions sociales* (Doctoral dissertation, Université de Cergy Pontoise).
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, *200*(1), 198-215.
- Bereni, L., Chauvin, S., Jaunait, A., & Revillard, A. (2020). *Introduction aux études sur le genre*. De Boeck Supérieur.
- Berger, L. (2017). *Co-construction, entre enseignants de 2e secondaire et chercheure, d'une grille d'analyse de la complexité des problèmes écrits proposés en algèbre au premier cycle du secondaire*. Université du Québec à Rimouski (Canada).
- Bergmann, J., & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. International society for technology in education.
- Bernoussi, M., & Florin, A. (1995). La notion de représentation: de la psychologie générale à la psychologie sociale et la psychologie du développement. *Enfance*, *48*(1), 71-87.

- Beuchat, M & Tschanz, J. (2014). La prise en compte des représentations initiales dans l'enseignement en 3ème et 4ème HarmoS. Mémoire. Formation primaire. Haute École Pédagogique – Bejune. Porrentruy.
- Boho, S. P. D. (2021). *Gestion du conflit sociocognitif et rendement scolaire. Cas des apprenants de quelques lycées d'enseignement général de la Région de l'Extrême-nord* (Doctoral dissertation, Université de Maroua (Cameroun)).
- Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management Science*, **31**(6), 647-656.
- Braver, M. W., & Braver, S. L. (1988). Statistical treatment of the Solomon four-group design: A meta-analytic approach. *Psychological Bulletin*, **104**(1), 150-154.
- Brini, R. (2024). *L'innovation en pédagogie active: regards croisés sur l'apprentissage par le Design Thinking et l'affordance numérique pour un enseignement universitaire plus engageant et inclusif* (Doctoral dissertation, Université de Bordeaux).
- Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, **87**, 218-237.
- Brougère, G. (2009). Chapitre 21. Une théorie de l'apprentissage adaptée: l'apprentissage comme participation. In *Apprendre de la vie quotidienne* (pp. 267-278). Presses Universitaires de France.
- Brousseau, G. P. (1998). Les obstacles épistémologiques, problèmes et ingénierie didactique. *La théorie des situations didactiques*, 115-160. La Pensée Sauvage. Grenoble.
- Bruner, J. (1990). *Acts of meaning: Four lectures on mind and culture* (Vol. 3). Harvard university press.
- Bruner, J. S. (1997). *The culture of education*. In *The culture of education*. Harvard university press.
- Buchs, C., Darnon, C., Quiamzade, A., Mugny, G., & Butera, F. (2008). Conflits et apprentissage. Régulation des conflits sociocognitifs et apprentissage. *Revue Française de Pédagogie*, **163**, 105-125.
- Calmant, P & Ducarme, M & Schneider, M. (2011). Obstacles à priori à l'apprentissage de l'analyse statistique inférentielle. in *Revue Statistique et Enseignement*. 2(1). pp. 43-59. SFds.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Houghton Mifflin.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1966). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Wadsworth.
- Cautinat, A. (2016). *Le rôle de la prise en compte des conceptions initiales dans l'amélioration de l'apprentissage des élèves de seconde en SVT*. France : Université de Bordeaux.
- Clark, M. H., & Shadish, W. R. (2008). Solomon four-group design. In *The SAGE encyclopedia of educational research, measurement, and evaluation*. SAGE Publications.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of physics*, **50**(1), 66-71.

- Cloes, M., Berwart, G., & Frederic, O. (2010). Les enseignants en éducation physique wallons connaissent-ils le socioconstructivisme et pensent-ils l'utiliser ?. *eJRIEPS. Ejournal de la recherche sur l'intervention en éducation physique et sport*, (21).
- Cloes, M., Derome, S., & Bonvoisin, P. H. (2014). Introduction d'approches socioconstructivistes dans le cours d'éducation physique. Avis des acteurs sur l'utilisation de fiches d'observation et du débat d'idées. *eJRIEPS. Ejournal de la recherche sur l'intervention en éducation physique et sport*, (31).
- Coburn, W. W. (1996). Worldview theory and conceptual change in science education. *Science education*, 80(5), 579-610.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2e éd.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen-Azria, C. (2020). *Les représentations initiales dans l'enseignement des sciences*. Paris. France : Harmattan.
- Colomb, J., Johsua S. & Dupin J.-J.(1993). Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. Paris, PUF. *Didaskalia*, 2(1), 133-133.
- Crahay, M. (2016). Psychologie de l'éducation : les fondements de l'apprentissage. In *Éduquer et Former* (pp. 122-133). Éditions Sciences Humaines.
- Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2017). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage publications.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5e éd.). Sage Publications.
- Darling-Hammond, L. (2000). *Teacher Quality and Student Achievement: A Review of State Policy Evidence*. Education Policy Analysis Archives, 8(1)
- Darrah, M., Humbert, R., Finstein, J., Simon, M., & Hopkins, J. (2014). Are virtual labs as effective as hands-on labs for undergraduate physics? A comparative study at two major universities. *Journal of Science Education and Technology*, 23, 803-814.
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308.
- Dédès, C., & Ravanis, K. (2007). Reconstruction des représentations spontanées des élèves : la formation des ombres par des sources étendues. *Skholê, HS* (1), 31-39.
- Dehon, A., & Derobertmeasure, A. (2016). Évaluer les représentations des apprenants en sciences : application d'une méthode d'analyse. *Évaluer. Journal international de Recherche en Éducation et Formation*, 2(2), 27-44.
- Dimitrov, D. M., & Rumrill, P. D. Jr. (2003). Pretest-posttest designs and measurement of change. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, *20*(2), 159-165.
- Disessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. *Cognition and instruction*, 22(3), 293-331.
- Doise, W., & Mugny, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. FeniXX.
- Dolan, E., & Grady, J. (2010). Recognizing students' scientific reasoning: A tool for categorizing complexity of reasoning during teaching by inquiry. *Journal of science teacher education*, 21, 31-55.

- Doung-In, S. (2017). Flip your classroom: Reach every student in every class every day. *Walailak Journal of Learning Innovations*, 3(2), 71-78.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science education*, 75(6), 649-672.
- Dykstra, Jr. D. I., Boyle, C. F., & Monarch, I. A. (1992). Studying conceptual change in learning physics. *Science education*, 76(6), 615-652.
- Ekwelle, E. T. M. (2009). *Des expérimentations virtuelles pour un meilleur enseignement des disciplines scientifiques au secondaire : application au cours d'électricité en classe de troisième* [Mémoire de master]. École normale supérieure de Yaoundé, Université de Yaoundé I.
- El Bouwab, S. (2024). Intégration des TIC dans les pratiques d'enseignement : Approches, méthodes et usages pédagogiques. *Revue Filigranes*, 3(1), 117-130.
- El Idrissi, F., & Larhrissi, N. (2025). Intégration des TIC dans l'enseignement/apprentissage au Maroc : entre innovation et défis. *L'Archétype*, 3(1), 174-187.
- El Kharki, K., Berrada, K., & Burgos, D. (2021). Design and implementation of a virtual laboratory for physics subjects in Moroccan universities. *Sustainability*, 13(7), 3711.
- El Karkri, M., Quesada, A., & Romero-Ariza, M. (2025). Methodological aspects of the Solomon four-group design: Detecting pre-test sensitisation and analysing qualitative and quantitative variables in education research. *Review of Education*, *13*(1), e70050.
- El Yaakoubi, M., El Jamali, S., Akrim, H., & Talbi, M. (2006). Le recours à la simulation informatique : besoin réel ou superflu ? *EpiNet*, (164). <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1404e.htm>. Consulté le 15 mars 2022.
- Embolo Owona, S. (2016). *Développement d'un laboratoire virtuel sur les solutions aqueuses en classe de 3ème au Cameroun* [Mémoire de master]. École normale supérieure de Yaoundé, Université de Yaoundé I.
- Essono, P. C. (2022, July). Intégration des TIC dans le processus d'enseignement-apprentissage : relâchement des apprenants en FOAD à l'AUF et déficit dans la négociation didactique. In *Sixième Colloque international du RAIFFET du 4 au 8 juillet 2022 à Libreville au GABON*.
- Etkina, E., Brookes, D. T., & Planinsic, G. (2019). *Investigative Science Learning Environment: When learning physics mirrors doing physics*. Morgan & Claypool Publishers.
- Evrard, T., & Plumet, J. (2022). *Les représentations initiales des élèves et le processus de problématisation en classe de sciences*. Université catholique de Louvain – Haute École Léonard de Vinci, Belgique : Université de Namur. *NEXUS: Connecting teaching practice and research*, 2(1), 107-129.
- Evrard, T., & Plumet, J. (2022). Les représentations initiales des élèves et le processus de problématisation en classe de sciences. *NEXUS: Connecting teaching practice and research*, 2(1), 107-129.
- Falode, O. C., & Gambari, A. I. (2017). Evaluation of virtual laboratory package on Nigerian secondary school physics concepts. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 18(2), 168-178.

- Fernandez, R. M., Garcia-Loro, F., Alves, G., Lopez-Rey, A., Meier, R., & Castro, M. (2024). New scenarios and trends in non-traditional laboratories from 2000 to 2020. *IEEE Transactions on Learning Technologies*.
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (5e éd.). Sage.
- Figueira, J. R., Greco, S., Roy, B., & Słowiński, R. (2010). ELECTRE methods: Main features and recent developments. Dans *Handbook of multicriteria analysis* (pp. 51-89). Springer.
- Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., Brans, J. P., & Mareschal, B. (2005). PROMETHEE methods. Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys, 163-186.
- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. Dans L. B. Resnick (Dir.), *The nature of intelligence* (pp. 231-235). Lawrence Erlbaum Associates.
- Fortin, M.-F., & Gagnon, J. (2022). *Fondements et étapes du processus de recherche : méthodes quantitatives et qualitatives* (4e éd.). Chenelière Éducation.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2019). *How to design and evaluate research in education* (10e éd.). McGraw-Hill.
- Frède, V. (2019). *Acquisition et construction de connaissances contre-intuitives en sciences. Considérations théoriques, méthodologiques et culturelles* (Doctoral dissertation, Université Toulouse Jean Jaurès).
- Garcia, M. (2020). Salmon's E-tivity approach in teaching mathematical concepts in physics. *CNU Journal of Higher Education*, *14*(1), 1-12.
- Gauthier, C., Desbiens, J. F., Malo, A., Martineau, S., & Simard, D. (1997). *Pour une théorie de la pédagogie*. Les Presses de l'Université de Laval.
- Giordan, A. (1994). Conceptions et connaissances. Dans A. Giordan & Y. Girault (Dir.), *Conceptions et connaissances* (pp. 319-p). Peter Lang.
- Glenn, B. A., Bastani, R., & Maxwell, A. E. (2013). The perils of ignoring design effects in experimental studies: Lessons from a mammography screening trial. *Psychology & Health*, *28*(5), 593-602.
- Gnesdilow, D., & Puntambekar, S. (2025). Middle School Students' Application of Science Learning From Physical Versus Virtual Labs to New Contexts. *Science Education*.
- Greco, S., Figueira, J., & Ehrgott, M. (2016). *Multiple criteria decision analysis*. Springer.
- Green, P. E., & Srinivasan, V. (1990). Conjoint Analysis in Marketing: New Developments with Implications for Research and Practice. *Journal of Marketing*, **54**(4), 3-19.
- Guebbas, A., & Khaldi, A. (2025). Synergie entre ingénierie pédagogique et neuromarketing : vers une optimisation de l'immixtion des apprenants. *Multilinguales*, **13**(1), 346-381.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8e éd.). Cengage Learning.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. Routledge. Taylor et Francis Groupe. 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of educational research*, **77**(1), 81-112.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, **30**(3), 141-158.

- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*. Springer-Verlag.
- Ikolongo, J.-P. (2012). *Conception et réalisation d'un didacticiel de chimie appliquée pour une pédagogie centrée sur l'apprenant* [Thèse de doctorat non publiée]. Université Pédagogique Nationale.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. Wiley.
- Jardim, W. T., Guerra, A., & Schiffer, H. (2021). History of science in physics teaching: possibilities for contextualized teaching?. *Science & Education*, 30(3), 609-638.
- Jonnaert, P. (2009). Compétences et socioconstructivisme : un cadre théorique. Armando Editore. De Boeck Supérieur.
- Kairo, N. C., Njagi, M. W., & Kamweru, P. K. (2022). Effect of cooperative learning approach on students' academic achievement in physics in public secondary schools in Meru, Kenya. Chuka University Repository.
- Kalampalakis, N., & Apostolidis, T. (2016). La perspective socio-génétique des représentations sociales. Dans G. Lo Monaco, S. Delouvé & P. Rateau (Dir.), *Les représentations sociales: théories, méthodes et applications* (pp. 101-112). De Boeck Supérieur.
- Kalampalakis, N., & Apostolidis, T. (2021). Challenges for social representations theory: the socio-genetic perspective. *Serge Moscovici's work*, 23-34.
- Kaltakci-Gurel, D., Eryilmaz, A., & McDermott, L. C. (2017). Development and application of a four-tier test to assess pre-service physics teachers' misconceptions about geometrical optics. *Research in Science Education*, *47*(4), 801-835.
- Kapenieks, J. (2013). User-friendly e-learning environment for educational action research. *Procedia Computer Science*, 26, 121-142.
- Karsenti, T., & Bugmann, J. (2017). *Enseigner et apprendre avec le numérique*. Les Presses de l'Université de Montréal.
- Kazdin, A. E. (2017). *Research design in clinical psychology* (5e éd.). Pearson.
- Kilani, H., Markov, I. V., Francis, D., & Grigorenko, E. L. (2024). Screens and Preschools: The Bilingual English Language Learner Assessment as a Curriculum-Compliant Digital Application. *Children*, 11(8), 914.
- Klopfer, L. E., Champagne, A. B., & Gunstone, R. F. (1983). Naive knowledge and science learning. *Research in Science & Technological Education*, 1(2), 173-183.
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610.
- Kuhn, T. S. (1997). *The structure of scientific revolutions* (Vol. 962). Chicago: University of Chicago press.
- Kwesiga, P. (2024). Effectiveness of the cookbook and inquiry-based practical methods for learning physics experiments in selected secondary schools in Kabalore District, Uganda. Makerere University Repository.
- Lana, R. E. (1959). Pretest-treatment interaction effects in attitudinal studies. *Psychological Bulletin*, *56*(4), 293-300.

- Lana, R. E., & King, D. J. (1960). Learning factors as determiners of pretest sensitization. *Journal of Applied Psychology*, *44*(3), 189-191.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, *33*(1), 159-174.
- Larson, D. B., Harvey, H., Rubin, D. L., Irani, N., Tse, J. R., & Langlotz, C. P. (2021). Regulatory frameworks for development and evaluation of artificial intelligence-based diagnostic imaging algorithms: summary and recommendations. *Journal of the American College of Radiology*, *18*(3), 413-424.
- Laseinde, O. T., & Dada, D. (2024). Enhancing teaching and learning in STEM Labs: The development of an android-based virtual reality platform. *Materials Today: Proceedings*, *105*, 240-246.
- Lee, H. Y., Chen, P. H., Wang, W. S., Huang, Y. M., & Wu, T. T. (2024). Empowering ChatGPT with guidance mechanism in blended learning: Effect of self-regulated learning, higher-order thinking skills, and knowledge construction. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *21*(1), 16.
- Legendre, R. (1993). *Dictionnaire actuel de l'éducation* (2e éd.). Guérin.
- Liu, G., & Fang, N. (2023). The effects of enhanced hands-on experimentation on correcting student misconceptions about work and energy in engineering mechanics. *Research in Science & Technological Education*, *41*(2), 462-481.
- Luse, A., Brown, A., & Rursch, J. (2020). Instruction in 802.11 technology in online virtual labs. *IEEE Transactions on Education*, *64*(1), 12-17.
- Lynch, T., & Ghergulescu, I. (2017, July). NEWTON virtual labs: introduction and teacher perspective. In *2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (pp. 343-345). IEEE.
- Mace, G., & Pétry, F. (2010). *Guide d'élaboration d'un projet de recherche en sciences sociales*. De Boeck Supérieur.
- Magnus, D. L. (1973). A comparison between teacher-directed instruction and student self-directed study in physical science for undergraduate elementary education majors (Doctoral dissertation, University of North Dakota).
- Majdoub, M., & Heilporn, G. (2023). Le numérique au service de la pédagogie inclusive : potentiel et barrières. *Formation et profession*, *31*(1), 1-3.
- Mamani, N. M., García-Peñalvo, F. J., Conde, M. Á., & Gonçalves, J. (2021, September). A systematic mapping about simulators and remote laboratories using hardware in the loop and robotic: Developing STEM/STEAM skills in pre-university education. In *2021 International symposium on computers in education (SIIE)* (pp. 1-6).
- Marleau, L. (2017). Mécanique classique I. *Canada, Scientific Work Place (SWP)*.
- Martinand, J. L. (1986). Connaître et transformer la matière [Knowing and transforming matter]. *Bern: Peter Lang*.
- Mayer, R. E. (2014). Incorporating motivation into multimedia learning. *Learning and instruction*, *29*, 171-173.
- Maystre, L. Y., Pictet, J., & Simos, J. (1994). *Méthodes Multicritères ELECTRE: Description, Conseils Pratiques et Cas d'Application à la Gestion Environnementale*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

- McCambridge, J., Butor-Bhavsar, K., Witton, J., & Elbourne, D. (2011). Can research assessments themselves cause bias in behaviour change trials? A systematic review of evidence from Solomon 4-group studies. *PLoS ONE*, *6*(10), e25223.
- McDermott, L. C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, *37*(7), 24-32.
- Meirieu, P. (2013). *Pédagogie: des lieux communs aux concepts clés*. Paris : ESF Sciences Humaines.
- Melo-Pfeifer, S-M. (2019). “Comprendre les représentations des enseignants de langues à travers des récits visuels. La mise en images du développement professionnel des futurs enseignants de français langue étrangère”. *EL.LE*, *8*(3), 587-610. DOI 10.30687/ELLE/2280-6792/2019/03/005
- MEPSP. (2012). Plan intérimaire de l'Éducation 2012-2014. Ministère de l'Enseignement Primaire, Secondaire et Professionnel.
- Métioui, A., & Trudel, L. (2012). The Model of the Rectilinear Propagation of Light and the Study of the Variation of the Size of a Shadow. *Online Submission*.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives* (2e éd.). De Boeck Supérieur.
- MINEPSP. (2016). Revue de l'Inspecteur de l'enseignement N°13 Bis : Examen d'État. 50ème Edition : 1967-2016. Inspection Générale de l'Enseignement.
- Ministère de l'Enseignement Primaire, Secondaire et Technique. (2021). *Programme Éducatif du Domaine d'Apprentissage des Sciences. Classe de 4^e année des Humanités Scientifiques. Sous-Domaine d'Apprentissage : Sciences Physiques et Technologies de l'Information et de la Communication*. Secrétariat Général. Direction des Programmes Scolaires et Matériel Didactique. 1 re édition. Kinshasa.
- Molinari, G., Mirza, N. M., & Tartas, V. (2021). Regards croisés des approches cognitives et socioculturelles sur l'apprentissage collaboratif: quelles contributions dans le domaine de l'éducation?. *Raisons éducatives*, *25*(1), 41-64.
- Mongo Onobiono, A.-R. (2015-2016). *Conception et réalisation d'un laboratoire virtuel de génétique pour la classe de 3ème* [Mémoire de master]. École Normale Supérieure, Université de Yaoundé I.
- Moosapoor, M. (2023). New teachers' awareness of mathematical misconceptions in elementary students and their solution provision capabilities. *Education Research International*, *2023*(1), 4475027.
- Morgan, G. A., & Krejcie, R. V. (1970). Voir Krejcie & Morgan (1970).
- Morgan, G. A., Leech, N. L., Gloeckner, G. W., & Barrett, K. C. (2004). *SPSS for introductory statistics: Use and interpretation* (2e éd.). Psychology Press.
- Moscovici, S. (1961). *La psychanalyse, son image et son public*. Presses Universitaires de France.
- Mousseau, V., Slowinski, R., & Zielniewicz, P. (1999). *ELECTRE TRI 2.0a: Methodological Guide and User's Manual*. LAMSADE, Université Paris-Dauphine.

- Nedungadi, P., Raman, R., & McGregor, M. (2013, octobre). *Enhanced STEM learning with Online Labs: Empirical study comparing physical labs, tablets and desktops*. Communication présentée à la 2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE).
- Nersesian, E., Spryszynski, A., & Lee, M. J. (2019, March). Integration of virtual reality in secondary STEM education. In *2019 IEEE integrated STEM education conference (ISEC)* (pp. 83-90). IEEE.
- Ngoie, R.-B. M., Bansimba, J.-R., Mpolo, F., Bazangika, R., Sakulu, J.-A., Mbaka, R., & Bonkile, F. (2025). A hybrid approach combining conjoint analysis and the analytic hierarchy process for multicriteria group decision-making. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, *17*(1). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v17i1.1308>
- Niandou, H., Mouton, S., Ballu, A., Blanchard, A., Michenaud, C., & Yan, X. (2017, août-septembre). *Un Laboratoire Virtuel pour Moodle*. Communication présentée au 23ème Congrès Français de Mécanique, Lille, France.
- Njoroge, S. W. (2024). Effects of the problem-based learning approach on secondary school students' motivation and acquisition of critical thinking skills in physics in Isiolo County, Kenya. Egerton University Institutional Repository.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- Ouarzeddine, A. (2019). Conceptions initiales des élèves et leur importance opérationnelle dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences. *Educrecherche*, *9*(1), 24-32.
- Pérez, J. P. (2022). *Mécanique: fondements et applications-7e éd.: Avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod.
- Phyema Miana, J. (2018a). Intégration des expériences assistées par ordinateur dans les établissements d'enseignement supérieur dépourvus d'équipements appropriés. *Revue du C.R.I.D.U.P.N.*, *II*(001), 185-191.
- Phyema Miana, J. (2018b). Prototypage d'une plateforme de télémanipulation assistée par ordinateur pour les étudiants de l'ISTA. *Revue du C.R.I.D.U.P.N.*, *II*(001), 161-171.
- Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives : problème central du développement*. Presses Universitaires de France.
- Popham, W. J. (2008). *Classroom assessments what teachers need to know*. Boston, MA: Person Education.
- Queiroz-Neto, J. P., Sales, D. C., Pinheiro, H. S., & Neto, B. O. (2015, octobre). *Using modern pedagogical tools to improve learning in technological contents*. Communication présentée à la 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE).
- Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, *2*(1), 21-33.
- Reginald, G. (2023). Teaching and learning using virtual labs: Investigating the effects on students' self-regulation. *Cogent Education*, *10*(1), 2172308.
- Reiss, M. J., & Dale Tunnicliffe, S. (2001). Students' understandings of their internal structure as revealed by drawings. In *Research in science education-Past, present, and future* (pp. 101-106). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Resnik, D. B. (2005). *The ethics of science: An introduction*. Routledge.

- Rimars, L. (2014-2015). *Les représentations initiales des apprenants sur la ville au Moyen-âge* [Mémoire de master]. École Supérieure du Professorat et de l'Éducation de l'Académie de Nantes.
- Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking: Cognitive development in social context*. Oxford university press.
- Rosengrant, D., Van Heuvelen, A., & Etkina, E. (2009). Do students use and understand free-body diagrams? *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, 5(1), 010108.
- Rosenthal, R., & Jacobson, L. (1968). *Pygmalion in the classroom*. Holt, Rinehart & Winston.
- Rospigliosi, P. A. (2023). Artificial intelligence in teaching and learning: what questions should we ask of ChatGPT?. *Interactive Learning Environments*, 31(1), 1-3.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, 2(8), 57-75.
- Roy, B., & Bertier, P. (1973). *La Méthode ELECTRE II (Une application au média-planning...)* [Rapport technique]. METRA International.
- Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & education*, 58(1), 136-153.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill.
- Sallaberry, J. C. (1991). Les représentations et la didactique des sciences physiques. *Bulletin de l'union des physiciens*, 736.
- Sawilowsky, S., & Markman, B. S. (1994). Meta-analysis and the Solomon four-group design. *The Journal of Experimental Education*, *62*(4), 361-376.
- Scallon, G. (2004). *L'évaluation des apprentissages dans une approche par compétences*. Éditions du Renouveau Pédagogique.
- Schild, E., Durantin, G., & Lamirel, J. C. (2021, janvier). *Concevoir un assistant conversationnel de manière itérative et semi-supervisée avec le clustering interactif*. Communication présentée à l'Atelier-Fouille de Textes-Text Mine 2021, en conjonction avec EGC 2021.
- Sensevy, G., Messina, V., & Lefeuvre, L. (2020). 3. Enseignement constructiviste ou enseignement direct: il faut choisir. In *Enseigner, ça s'apprend* (pp. 49-67). Retz.
- Serway, R. A., Jewett, J. W., & Perroomian, V. (2000). *Physics for scientists and engineers* (Vol. 2). Fort Worth, TX: Saunders college publishing.
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton Mifflin.
- Shamoo, A. E., & Resnik, D. B. (2009). *Responsible conduct of research* (2e éd.). Oxford University Press.
- Slamnik-Kriještorac, N., Van den Langenbergh, R., Huybrechts, T., Gutierrez, S. M., Gil, M. C., & Marquez-Barja, J. M. (2021, April). Cloud-based virtual labs vs. low-cost physical

- labs: what engineering students think. In *2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 637-644). IEEE.
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, **34**(9), 1337-1370.
- Solomon, R. L. (1949). An extension of control group design. *Psychological Bulletin*, **46**(2), 137-150.
- Solomon, R. L. (1949). An extension of control group design. *Psychological Bulletin*, **46**(2), 137-150.
- Squires, D., & Preece, J. (1999). Predicting quality in educational software. *Interacting with Computers*, **11**(5), 467-483.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, **4**(3), 231-240.
- Sutopo, & Waldrip, B. (2014). Impact of a representational approach on students' reasoning and conceptual understanding in learning mechanics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, **12**, 741-765.
- Sutopo, L., Waldrip, B., & Rusdiana, D. (2012). The need of representation approach to provide prospective physics teacher with better reasoning ability and conceptual understanding. In *Surabaya: 5Th International Seminar of Science Education*.
- Sypsas, A., Paxinou, E., Zafeiropoulos, V., Kalles, D. (2024). Virtual Laboratories in STEM Education: A Focus on Onlabs, a 3D Virtual Reality Biology Laboratory. In: May, D., Auer, M.E., Kist, A. (eds) *Online Laboratories in Engineering and Technology Education. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1135. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70771-1_16. Consulté le 15 janvier 2022.
- Taasoobshirazi, G., & Carr, M. (2008). A review and critique of context-based physics instruction and assessment. *Educational Research Review*, **3**(2), 155-167.
- Talbert, R., & Bergmann, J. (2023). *Flipped learning: A guide for higher education faculty*. Routledge.
- Thomas, C. L., & Kirby, L. A. (2020). Situational interest helps correct misconceptions: An investigation of conceptual change in university students. *Instructional Science*, **48**, 223-241.
- Thouin, M. (1985). *Les représentations de concepts en sciences physiques chez les jeunes*. *Revue des sciences de l'éducation*, **11**(2), 247-258. <https://doi.org/10.7202/900493ar>. Consulté le 19 mars 2023.
- Thouin, M. (1989). Typologie des représentations en sciences physiques chez des apprenants du secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, **15**(2), 247-266.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, **4**(1), 71-87.
- Tomlinson, C. A. (2001). *How to differentiate instruction in mixed-ability classrooms*. ASCD.
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International journal of science education*, **10**(2), 159-169.

- Trowbridge, D. E., & McDermott, L. C. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration. *American Journal of Physics*, **49**(3), 242-253.
- Tuckman, B. W., & Harper, B. E. (2012). *Conducting educational research* (6e éd.). Rowman & Littlefield Publishers.
- Uchima-Marin, C., Murillo, J., Salvador-Acosta, L., & Acosta-Vargas, P. (2024). Integration of Technological Tools in Teaching Statistics: Innovations in Educational Technology for Sustainable Education. *Sustainability*, **16**(19), 8344.
- Van der Maren, J.-M. (2004). *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2e éd.). Les Presses de l'Université de Montréal / De Boeck Université.
- Van Etten, B., & Smit, K. (2005). Learning material in compliance with the Revised National Curriculum Statement: a dilemma. *Pythagoras*, **62**, 48-58.
- Vanhoolandt, C., Mober, C., & Plumet, J. (2023). Influence d'un entraînement de courte durée aux fonctions exécutives, et particulièrement au contrôle inhibiteur, sur le changement conceptuel en physique. *Revue Neuroéducation*, **7**(1), 39-61.
- Vicovaro, M. (2023). Grounding intuitive physics in perceptual experience. *Journal of Intelligence*, **11**(10), 187.
- Viennot, L. (1989). Bilan de forces et loi des actions réciproques-Analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, **716**, 951-971.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique : la part du sens commun*. De Boeck Supérieur.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, **4**(1), 45-69.
- Vosniadou, S. (2002). On the nature of naïve physics. Dans M. Limon & L. Mason (Dir.), *Reconsidering conceptual change. Issues in Theory and Practice* (pp. 61-76). Kluwer.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive psychology*, **24**(4), 535-585.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and instruction*, **11**(4-5), 381-419.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S., Hanfmann, E., Vakar, G., & Kozulin, A. (2012). Thought and language (rev. and expanded ed.). *Cambridge, MA Massachusetts Inst. Technol.*
- Wandersee, J. H. (1986). Can the History of Science Help Science Educators Anticipate Students' Misconceptions?. *Journal of research in science teaching*, **23**(17), 581-97.
- Willson, V. L., & Putnam, R. R. (1982). A meta-analysis of pretest sensitization effects in experimental design. *American Educational Research Journal*, **19**(2), 249-258.

TABLE DES MATIÈRES

ÉPIGRAPHES	i
IN MEMORIAM	ii
DÉDICACE	iii
REMERCIEMENTS.....	iv
LISTE D'ABRÉVIATIONS ET SIGLES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES	x
RÉSUMÉ DE LA THÈSE	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
0.1. PROBLÉMATIQUE	1
0.1.1. Position du problème et état de la question	1
0.1.2. Questions de la recherche	2
0.1.2.1. Question principale.....	2
0.1.2.2. Questions spécifiques	2
0.2. HYPOTHÈSES DE LA RECHERCHE.....	2
0.2.1. Hypothèse principale	2
0.2.2. Hypothèses spécifiques	2
0.3. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE.....	3
0.3.1. Objectif principal	3
0.3.2. Objectifs spécifiques.....	3
0.4. RÉSULTATS ATTENDUS	3
0.4.1. Résultat principal	3
0.4.2. Résultats spécifiques.....	3
0.5. MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	4
0.5.1. Ancrage théorique et approche générale.....	4
0.5.2. Population, échantillon et panel d'experts.....	5
0.5.3. Déroulement de la recherche	6
0.5.4. Instruments de collecte des données	7
0.5.5. Traitement et analyse des données.....	8
0.6. CHOIX, INTÉRÊT ET ENJEUX DE LA RECHERCHE	8
0.7. DÉLIMITATION SPATIOTEMPORELLE.....	9
0.8. ORGANISATION DE LA THÈSE	10
Chapitre 1. REVUE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE.....	11
1.1. FONDEMENTS SOCIOCONSTRUCTIVISTES DE L'APPRENTIS-SAGE.....	11
1.1.1. Épistémologie de l'apprentissage : Le processus d'équilibration	11
1.1.2. Le socioconstructivisme : Une synthèse de l'individuel et du social	11
1.1.3. Le conflit sociocognitif : Moteur et conditions de l'apprentissage	12
1.1.3.1. Étapes	12
1.1.3.2. Composition et climat du groupe	13
1.1.3.3. Nature des tâches.....	13
1.1.3.4. Médiation et régulation.....	13
1.1.4. Le Rôle médiateur de l'enseignant et la zone proximale de développement ...	13

1.1.4.1.	Présentation	13
1.1.4.2.	Redéfinition de la ZPD : Au-delà de l'écart	14
1.1.4.3.	Le concept d'étayage (Scaffolding) : Une architecture de l'aide	14
1.1.4.4.	La ZPD comme espace de négociation et d'intersubjectivité	15
1.1.4.5.	La Double dimension de la ZPD : cognitive et affective	15
1.1.4.6.	Implications pour la pratique : Vers une ingénierie de la ZPD	15
1.1.4.7.	Le triptyque de l'apprentissage socioconstructiviste	16
1.1.5.	Implications pour le dispositif BRVL.....	16
1.2.	SOCIOGÉNÉTIQUE COMME APPROCHE THÉORIQUE DES REPRÉSENTATIONS SOCIALES.....	16
1.3.	APPROCHES INNOVANTES AU SERVICE DU PROCESSUS ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE.....	17
1.4.	DE L'ÉVALUATION À LA VALIDATION.....	19
1.5.	PLAN EXPÉRIMENTAL DE SOLOMON.....	20
1.5.1.	Introduction.....	20
1.5.2.	Fondements et structure du plan de Solomon	20
1.5.2.1.	Genèse et justification théorique	20
1.5.2.2.	Architecture du dispositif	20
1.5.3.	Les effets de sensibilisation au prétest.....	21
1.5.4.	Contributions méthodologiques majeures.....	21
1.5.4.1.	L'apport de Braver et Braver (1988).....	21
1.5.4.2.	Développements récents	21
1.5.4.3.	3.3. Controverses méthodologiques	21
1.5.5.	Validité interne et externe	22
1.5.6.	Synthèse critique	22
1.5.6.1.	Forces du dispositif.....	22
1.5.6.2.	Limites et précautions.....	22
1.5.7.	Utilisation du plan de Solomon en didactique de la physique : une revue des études empiriques	22
1.5.7.1.	Introduction	22
1.5.7.2.	Ouganda : apprentissage par problèmes et méthodes pratiques	22
1.5.7.3.	Nigéria : stratégies explicites de résolution de problèmes	23
1.5.7.4.	Kenya : approches coopératives et collaboratives.....	23
1.5.7.5.	Philippines : Approche E-tivité de Salomon	24
1.5.7.6.	Iran : modèle de changement conceptuel en électrostatique	24
1.5.7.7.	États-Unis : une application précoce en sciences physiques	24
1.5.7.8.	Conclusion.....	24
1.5.8.	Justification du recours au plan de Solomon	25
1.5.9.	Apports et limites identifiés	25
1.5.9.1.	Contributions méthodologiques.....	25
1.5.9.2.	Limites et précautions.....	25
1.6.	BREF APERÇU SUR LES CONCEPTIONS ET LES REPRÉSENTATIONS EN DIDACTIQUE DES SCIENCES.....	26
1.6.1.	Conceptions spontanées et sociales	26
1.6.1.1.	Origine et processus de formation.....	26
1.6.1.2.	Universalité ou variabilité culturelle ?	26

1.6.1.3.	Nature et mode d'expression.....	26
1.6.1.4.	Robustesse et stratégies de remédiation	26
1.6.1.5.	Interaction dans la pratique éducative	27
1.6.2.	Conceptions ontogénétiques et phylogénétiques	27
1.6.2.1.	Définition et échelle temporelle	27
1.6.2.2.	Nature et mécanisme d'évolution.....	27
1.6.2.3.	Analogie et relations.....	27
1.6.2.4.	Obstacles épistémologiques communs	27
1.6.2.5.	Implication pour l'enseignement des sciences	28
1.6.3.	Conceptions et représentations initiales.....	28
1.6.3.1.	Présentation	28
1.6.3.2.	Fonction et utilité.....	29
1.6.3.3.	Typologie et origine	29
1.6.3.4.	Caractéristiques	30
1.6.3.5.	Méthodes d'analyse et/ou de détection.....	31
1.6.3.5.1.	Opérationnalisation d'une représentation initiale.....	31
1.6.3.5.2.	Détection d'une représentation initiale.....	31
1.6.3.6.	Processus de construction de l'évolution d'une représentation initiale : la correction et/ou remédiation	33
1.6.4.	Représentations initiales-obstacles en mécanique classique.....	33
1.6.4.1.	Mécanique vue selon le programme scolaire congolais.....	33
1.6.4.2.	Principales représentations initiales-obstacles en mécanique classique.	34
1.6.5.	La métacognition	35
1.7.	LABORATOIRES VIRTUELS ET APPRENTISSAGE DE LA PHYSIQUE	36
1.7.1.	Définition et potentiel pédagogique.....	36
1.7.2.	Limites et conditions d'efficacité.....	36
1.7.3.	BRVL : un laboratoire adapté au contexte congolais	36
1.8.	L'ÉPREUVE PRATIQUE DE PHYSIQUE EN RDC.....	36
1.9.	APPORT DE L'ANALYSE MULTICRITÈRE À LA VALIDATION DES OUTILS PÉDAGOGIQUES.....	37
1.9.1.	Concepts fondamentaux.....	37
1.9.2.	Méthodes mobilisées dans la recherche.....	38
1.9.3.	Pertinence pour notre recherche.....	38
1.10.	CONCLUSION DU CHAPITRE 1	38
Chapitre 2.	APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	39
2.1.	SCHÉMA GÉNÉRAL DE LA RECHERCHE	39
2.2.	DESCRIPTION DES MILIEUX D'ÉTUDE	41
2.3.	MATÉRIEL DE L'ÉTUDE	43
2.3.1.	Population	43
2.3.2.	Échantillon des apprenants pour la préenquête.....	43
2.3.3.	Échantillon des apprenants pour l'expérimentation.....	46
2.3.4.	Panel d'experts-enseignants pour la validation technique de BRVL.....	46
2.3.5.	Processus et outils de collecte des données	47
2.3.5.1.	Constitution du focus group	47
2.3.5.2.	Choix et construction des instruments de collecte des données	47

2.3.5.3.	Validation Statistique des instruments de collecte des données.....	48
2.3.6.	Distinction méthodologique.....	48
2.4.	DÉROULEMENT	48
2.4.1.	Préenquête.....	48
2.4.2.	Conception et développement de BRVL.....	48
2.4.3.	Tests et ajustements.....	58
2.4.4.	Estimation du coût de développement de BRVL.....	59
2.4.5.	Scénario d'utilisation de BRVL.....	60
2.4.6.	Formation des enseignants.....	60
2.4.7.	Dispositif expérimental : le plan de Solomon.....	61
2.4.7.1.	Principes du plan Solomon.....	61
2.4.7.2.	Configuration retenue.....	61
2.4.7.3.	Justification du choix.....	62
2.4.7.4.	Limites et précautions.....	62
2.4.7.5.	Représentation schématique.....	62
2.5.	VALIDATION TECHNIQUE PAR ANALYSE MULTICRITÈRE	63
2.5.1.	Sélection des critères d'évaluation.....	63
2.5.2.	Identification des alternatives.....	64
2.5.3.	Pondération des critères par analyse conjointe.....	65
2.5.3.1.	Principe de l'analyse conjointe.....	65
2.5.3.2.	Génération des profils fictifs.....	65
2.5.3.3.	Administration et estimation des utilités.....	66
2.5.3.4.	Poids des critères.....	66
2.5.4.	Évaluation des performances.....	67
2.5.5.	Méthodes multicritères appliquées.....	67
2.5.5.1.	Méthodes de surclassement (ELECTRE).....	68
2.5.5.2.	Méthodes de surclassement (PROMETHEE).....	68
2.5.5.3.	Méthodes d'agrégation complète (AHP, TOPSIS).....	68
2.5.5.4.	Paramétrage des méthodes.....	68
2.5.6.	Analyse de sensibilité.....	69
2.5.7.	Synthèse.....	71
2.6.	EXPÉRIMENTATION PÉDAGOGIQUE	71
2.6.1.	Calendrier de l'expérimentation.....	71
2.6.2.	Test d'évaluation des connaissances.....	71
2.6.2.1.	Structure du test.....	72
2.6.2.2.	Conditions de passation.....	72
2.6.3.	Traitement : utilisation de BRVL dans les groupes expérimentaux.....	72
2.6.3.1.	Contenu enseigné.....	72
2.6.3.2.	Déroulement d'une séance type.....	78
2.6.3.3.	Équipement et supports.....	78
2.6.3.4.	Enseignement dans les groupes contrôles.....	79
2.6.4.	Posttest d'évaluation des connaissances.....	79
2.6.4.1.	Conditions de passation.....	79
2.6.4.2.	Taux de participation.....	79
2.6.5.	Questionnaire d'opinion des apprenants.....	79
2.6.5.1.	Structure du questionnaire.....	79

2.6.5.2.	Administration.....	80
2.7.	ESSAI DE PRAGMATISATION DE L’EPP.....	80
2.7.1.	Échantillon.....	80
2.7.2.	Protocole de passation.....	80
2.7.3.	Grille d’évaluation.....	82
2.7.4.	Mesures d’équité et de sécurité.....	82
2.7.5.	Déroulement effectif.....	82
2.8.	MÉTHODES D’ANALYSE DES DONNÉES.....	83
2.8.1.	Analyses statistiques pour la validation pédagogique.....	83
2.8.1.1.	Analyses descriptives.....	83
2.8.1.2.	Tests de normalité.....	83
2.8.1.3.	Tests de comparaison.....	83
2.8.1.4.	Mesures de taille d’effet.....	84
2.8.1.5.	Contrôle des variables modératrices.....	84
2.8.2.	Analyses pour la validation technique.....	85
2.8.3.	Analyses qualitatives.....	85
2.8.4.	Logiciels utilisés.....	85
2.9.	CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES.....	86
2.9.1.	Consentement éclairé et autorisations.....	86
2.9.2.	Anonymat et confidentialité.....	86
2.9.3.	Précautions éthiques spécifiques.....	86
2.9.3.1.	Équité entre groupes.....	86
2.9.3.2.	Bien-être des participants.....	86
2.9.3.3.	Gestion des conflits d’intérêts.....	87
2.9.3.4.	Restitution.....	87
2.9.4.	Déclaration de conformité.....	87
2.10.	DIFFICULTÉS RENCONTRÉES.....	87
2.11.	CONCLUSION DU CHAPITRE 2.....	88
Chapitre 3.	RÉSULTATS.....	89
3.1.	RÉSULTATS DE LA PRÉENQUÊTE.....	89
3.1.1.	RIO identifiées chez les apprenants.....	89
3.1.2.	Perception des enseignants sur les RIO.....	90
3.1.3.	Enseignements pour la conception de BRVL.....	90
3.2.	VALIDATION TECHNIQUE PAR ANALYSE MULTICRITÈRE.....	92
3.2.1.	Poids des critères issus de l’analyse conjointe.....	92
3.2.2.	Table de décision pour évaluation des laboratoires virtuels.....	92
3.2.3.	Classements obtenus par les différentes méthodes MCDA.....	93
3.2.4.	Résultats de l’analyse de sensibilité.....	94
3.2.4.1.	Sensibilité avec ELECTRE.....	94
3.2.4.2.	Sensibilité avec PROMETHEE.....	94
3.2.5.	Synthèse de la validation technique.....	95
3.3.	RÉSULTATS DE L’EXPÉRIMENTATION.....	95
3.3.1.	Caractéristiques des groupes et équivalence initiale.....	95
3.3.2.	Résultats du test initial (groupes Exp.1 et Ctrl.1).....	96
3.3.3.	Résultats du posttest (quatre groupes).....	96
3.3.4.	Évolution test-posttest (groupes 1 et 2).....	97

3.3.5.	Taux de correction et de persistance des RIO.....	98
3.3.6.	Influence des variables modératrices.....	98
3.3.7.	Synthèse de l'efficacité pédagogique.....	99
3.4.	OPINIONS DES ENSEIGNANTS SUR BRVL.....	99
3.4.1.	Synthèse des rapports des enseignants.....	99
3.4.1.1.	Points forts constatés.....	100
3.4.1.2.	Difficultés rapportées :.....	100
3.4.1.3.	Recommandations formulées :.....	100
3.4.2.	Évaluation de l'approche sociogénético-constructiviste.....	101
3.4.2.1.	Adéquation avec le terrain.....	101
3.4.2.2.	Suggestions d'amélioration.....	101
3.5.	OPINIONS DES APPRENANTS SUR BRVL.....	101
3.5.1.	Résultats globaux.....	102
3.5.1.1.	Synthèse par catégorie.....	102
3.5.1.2.	Résultats marquants.....	102
3.5.2.	Analyse par catégorie.....	102
3.5.3.	Interprétation : satisfaction élevée et homogène.....	104
3.5.4.	Influence des variables modératrices.....	104
3.6.	ESSAI DE PRAGMATISATION DE L'EPP.....	105
3.6.1.	Performances des candidats.....	105
3.6.1.1.	Moyenne globale.....	105
3.6.1.2.	Analyse des points forts et faibles.....	105
3.6.2.	Comparaison entre groupes expérimentaux.....	105
3.6.3.	Analyse par genre.....	106
3.6.4.	Enseignements pour la généralisation.....	106
3.6.4.1.	Faisabilité technique démontrée.....	106
3.6.4.2.	Conditions de réussite.....	106
3.7.	SYNTHÈSE DES RÉSULTATS.....	107
3.8.	CONCLUSION DU CHAPITRE 3.....	108
Chapitre 4.	DISCUSSION DES RÉSULTATS.....	109
4.1.	RETOUR SUR LES HYPOTHÈSES DE RECHERCHE.....	109
4.1.3.1.	H1 : Les RIO identifiées.....	110
4.1.3.2.	H2 : La validation technique de BRVL.....	111
4.1.3.3.	H3 : L'efficacité pédagogique.....	111
4.1.3.4.	H4 : La pragmatisation de l'EPP.....	111
4.2.	DISCUSSION DES RÉSULTATS PRINCIPAUX.....	111
4.3.	APPORTS ET ORIGINALITÉ DE LA RECHERCHE.....	113
4.4.	VALIDITÉ ET LIMITES DE LA RECHERCHE.....	119
4.5.	RECOMMANDATIONS.....	120
4.6.	PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	121
4.7.	CONCLUSION DU CHAPITRE 4.....	122
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	123
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	125
	TABLE DES MATIÈRES.....	138
	ANNEXES.....	a
I.	Présentation des écoles constituant la population d'études à Inkisi et à Kimpese.....	a

II.	Checklists, questionnaires et canevas	b
II.1.	Checklist pour les chefs d'établissements des écoles constituant notre population d'étude	b
II.2.	Prétest de la préenquête auprès des enseignants de physique en 4 ^e année de Sciences d	
II.3.	Prétest de la préenquête auprès des apprenants de 3 ^e année de Sciences (2023-2024), futurs apprenants finalistes (2024-2025) dans les mêmes écoles.....	p
II.4.	Test d'évaluation des connaissances lors de l'enquête proprement dite auprès des apprenants de 4 ^e année de Sciences.....	u
II.5.	Posttest d'évaluation des connaissances lors de l'enquête proprement dite auprès des apprenants de 4 ^e année de Sciences	bb
II.6.	Modèle de canevas du rapport d'autorégulation des enseignants des groupes expérimentaux	ii
II.7.	Modèle de la grille d'évaluation d'un candidat à l'EPP à l'EE	ll
II.8.	Test d'évaluation d'opinions des apprenants de 4 ^e année de Sciences après utilisation de "Bazin-R VirtLab"	oo
II.9.	Questionnaire d'enquête sur la justification du choix et du classement de Bazin-R VirtLab	rr
III.	Modèle de la fiche de préparation pour l'enseignement de mécanique sous l'approche théorique sociogénético-constructiviste.....	tt
IV.	Protocole expérimental de simulation de l'EPP à l'EE.....	zz
V.	Témoignages et consentements (Cachets et Signatures) des responsables des écoles constituant notre population d'étude	aaa
VI.	Clause de confidentialité avec les enseignants des groupes constituant le plan expérimental exploité.....	ccc

ANNEXES

I. Présentation des écoles constituant la population d'études à Inkisi et à Kimpese

		Population d'études						Echantillon d'études									Coordonnées de localisation		
		N-Enseignants			N-Elèves			N-Enseignants			N-Elèves								
		Garçons	Filles	Total	Garçons	Filles	Total	Préenquête			Enquête			Préenquête			Enquête		
Sites	Dénomination écoles	Garçons	Filles	Total	Garçons	Filles	Total	Garçons	Filles	Total		Garçons	Filles	Total	Garçons	Filles	Total		
INKISI	Institut Ngongolo	1	0	1	5	3	8	1	0	1		1	1	2				-5,136309	15,053340
	Institut Rév Nlandu Mukoko	1	0	1	10	3	13	1	0	1		1	1	2				-5,136359	15,058148
	Complexe scolaire La Colombe	1	0	1	16	9	25	1	0	1		2	2	4				-5,131111	15,060000
	Collège Kubama	1	0	1	15	17	32	1	0	1		2	2	4	13	17	30	-5,135833	15,084722
	Lycée Notre Dame	1	0	1	3	5	8	1	0	1		1	1	2				-5,127056	15,082083
	Collège Saint Pierre	1	0	1	15	9	24	1	0	1		1	1	2				-5,124423	15,081363
	Lycée Verwimp	1	0	1	3	6	9	1	0	1		1	1	2				-5,125663	15,072025
	<i>Lycée Mfuki</i>	1	0	1	4	7	11	1	0	1		1	1	2				-5,137228	15,055373
	Institut Kilombo	1	0	1	13	17	30	1	0	1		2	2	4	13	17	30	-5,121667	15,060278
	Groupe scolaire Muzonga	1	0	1	4	3	7	1	0	1		1	1	2				-5,129831	15,055965
<i>Sous-total 1</i>		10	0	10	88	79	167	10	0	10		13	13	26	26	34	60		
KIMPESE	Complexe Scolaire Maman Kiangebeni	1	0	1	11	6	17	1	0	1		2	2	4				-5,562208	14,434667
	Complexe Scolaire Dibasema	1	0	1	7	3	10	1	0	1		2	2	4				-5,561576	14,453494
	Institut Mowa	1	0	1	5	4	9	1	0	1		2	2	4				-5,564642	14,439397
	Collège Père Kusika	1	0	1	7	5	12	1	0	1		2	2	4				-5,558361	14,442417
	Lycée Lamba	1	0	1	3	27	30	1	0	1		2	2	4				-5,559765	14,451277
	Institut Nzolo	1	0	1	22	20	42	1	0	1		2	2	4	19	11	30	-5,550000	14,428611
	Institut Ngombe	1	0	1	7	6	13	1	0	1		2	2	4				-5,543991	14,426662
	Institut Manzonzi	1	0	1	20	12	32	1	0	1		2	2	4	19	11	30	-5,564263	14,434265
	Institut Mananga	1	0	1	4	3	7	1	0	1		2	2	4				-5,561437	14,436424
	Institut Vuzi Landu	1	0	1	8	4	12	1	0	1		1	1	2				-5,567222	14,442778
	Collège St Marc	1	0	1	16	7	23	1	0	1		2	2	4				-5,561111	14,435278
	Complexe Scolaire Maman Masaka	1	0	1	7	4	11	1	0	1		2	2	4				-5,566758	14,444127
	<i>Sous-total 2</i>		12	0	12	117	101	218	12	0	12		23	23	46	38	22	60	
Total général		22	0	22	205	180	385	22	0	22		36	36	72	64	56	120		

II. Checklists, questionnaires et canevas

II.1. Checklist pour les chefs d'établissements des écoles constituant notre population d'étude

Méthode : Qualitative

Technique : Enquête (Checklist)

Sujets interrogés : Chefs d'établissements (2024-2025) des écoles de Kimpese et d'Inkisi

Variables à mesurer : Items

Objectif : Recueillir leurs opinions à propos de l'enseignant de physique en terminal et du processus enseignement-apprentissage de la physique dans leurs écoles.

Période de soumission : Après les examens du premier trimestre

I. Adresse aux répondants :

Cher Chef d'établissement, dans le cadre de notre recherche en Didactique de physique et évaluation intitulée « Validation de "Bazin-R VirtLab" pour la correction des représentations initiales-obstacles en mécanique chez les apprenants de 4^e année de sciences à Kimpese et à Inkisi », nous vous prions de bien vouloir répondre à cette checklist afin de nous aider à avoir une opinion sur votre enseignant de physique et sur le déroulement du processus enseignement-apprentissage de la physique dans votre école. Merci d'avance !

II. Informations démographiques préliminaires du répondant :

École :

Milieu d'habitation : Kimpese Inkisi

Sexe : Masculin Féminin

Âge : 24-30ans 31-37ans 38-44ans 45ans-plus

Niveau d'études : D6/A2 G3 /A1 L2 /A0 Autre

Option suivie selon le niveau d'études :

Ancienneté dans la fonction :

Moins d'1an 1-5ans 6-10ans + de 10 ans

III. Informations générales :

1. Quel est le niveau d'étude de votre enseignant de physique en terminal ?

D6/A2 G3 /A1 L2 /A0 Autre

2. Quelle est la formation suivie par votre enseignant de physique en terminal ?

Physique Physique-Technologie Physique-Électricité

Physique-Électronique Chimie Techniques appliquées Autres

3. Quelle est la dernière cotation obtenue par votre enseignant de physique en terminal ?

Excellent Très bien Bien Moyenne Médiocre

4. Votre école dispose-t-elle d'un laboratoire de physique proprement dit ?

Oui Non

5. Votre école dispose-t-elle de quelques matériels pour enseigner la physique ?

Oui Non

IV. Compétences pédagogiques et professionnelles

Sur une échelle (de Likert) dont : 1 = Très faible, 2 = Faible, 3 = Moyen, 4 = Élevé, 5 = Très élevé, quelle note attribuez-vous globalement à votre enseignant de physique en terminal du point de vue de (des), du :

<i>Variable</i>	1	2	3	4	5
6. Ponctualité	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Régularité	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Tenue et qualité des documents et des supports pédagogiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Relation enseignant-apprenants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Relation avec les autorités scolaires	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Maîtrise des connaissances en physique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Transmission des savoirs (clarté, adaptabilité, stratégies)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Évaluation équitable des apprenants suivant la taxonomie de Bloom, la docimologie et le programme scolaire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Prise en compte des difficultés d'apprentissage et des conceptions naïves initiales des apprenants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Gestion du temps en classe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Fréquences d'utilisation des matériels/supports didactiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Usage des TICE (<i>outils numériques, labos virtuels</i>)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Méthodes actives (<i>pédagogie par projet, apprentissage collaboratif</i>) et gestion des attitudes des apprenants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Participation à des formations continues (<i>stages, ateliers récents</i>)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Préparation des apprenants à l'épreuve pratique de physique à l'Examen d'État	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Taux de réussite des apprenants à l'épreuve pratique de physique à l'Examen d'État	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

22. Que lui prodigueriez-vous comme conseils pour améliorer l'enseignement de la physique dans votre école ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Merci pour votre collaboration !

II.2. Prétest de la préenquête auprès des enseignants de physique en 4^e année de Sciences

Méthode : *Quantitative*
 Technique : *Enquête (Checklist)*
 Sujets interrogés : *Enseignants de physique en 4^e année de Sciences*
 Variables à mesurer : *Items*
 Période de soumission : *En pleine séance de focus group*

I. Adresse aux répondants :

Cher (e) Enseignant (e) de physique en 4^e année de Sciences,

Tout en vous garantissant l'anonymat, nous avons l'amabilité de vous associer à cette étude portant sur la « *Validation de "Bazin-R VirtLab" pour la correction des représentations initiales-obstacles en mécanique chez les apprenants de 4^e année des sciences Kimpese et à Inkisi* » en vous priant de bien vouloir répondre à cette checklist durant 30 minutes minimum. Cette étude a pour but principal de corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles décelées chez les apprenants de 4^e année de Sciences lors de l'enseignement et/ou de l'apprentissage des notions de mécanique classique afin de tenter de les corriger grâce au laboratoire virtuel de physique dénommé « Bazin-R ». Merci d'avance pour votre collaboration !

II. Informations démographiques préliminaires du répondant :

1. Groupe : GrExp1 GrExp2 GrCtrl1 GrCtrl2
 2. Sexe : Masculin Féminin
 3. Âge : 15-20ans 21-26ans 27-32ans 33ans-plus
 4. Niveau d'études : D6 G3 L2 Autre
 5. Ancienneté à l'école : Moins d'1an 1-5ans 6-10ans + de 10 ans
 6. Milieu d'habitation : Kisantu Kimpese Mbanza-Ngungu
- (Préciser le Quartier) :

III. Questions : *Donnez votre point de vue sur les items proposés.*

Groupe	N o	Questions	
I. Contenu du programme national de physique en		<i>Objectif : Recueillir les informations sur l'enseignement des parties de la physique 4^e année de Sciences selon le programme d'enseignement récent (catégories, sous-catégories et savoirs essentiels), sur les savoirs essentiels composant la mécanique classique</i>	
	1	Que pensez-vous des points à traiter en physique 4^{ème}	Trop abondants <input type="checkbox"/> Suffisants <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/> Moyennement abondants <input type="checkbox"/> Moins abondants <input type="checkbox"/>

4 ^{ème} année Sciences		scientifique selon le programme national ?	
	2	De toutes les catégories du programme, s'il faut choisir une, laquelle pensez-vous être la plus importante dans la suite du cursus de l'élève ?	Mécanique <input type="checkbox"/> Thermodynamique <input type="checkbox"/> Phénomènes périodiques et ondulatoires <input type="checkbox"/>
	3	De ces trois sous-catégories de la mécanique, classez-les suivant un ordre décroissant d'importance dans le cursus de l'élève ?	1.Cinématique 2.Dynamique 3.Énergie mécanique <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 1-2-3 <input type="checkbox"/> 1-3-2 <input type="checkbox"/> 2-1-3 <input type="checkbox"/> 2-3-1 <input type="checkbox"/> 3-1-2 <input type="checkbox"/> 3-2-1 <input type="checkbox"/> </div>
	4	Sur les 19 savoirs essentiels en mécanique classique, cochez lesquels pensez-vous être les plus importants ?	1. Cinématique-MRU-MRUV-Chute libre-Mvts circulaires-Principes de la dyn-Balistique-Dyn du MCU <input type="checkbox"/> 2. Cinématique-MRU-MRUV-MCU-MCUV-Chute libre-Poids de corps-Lois de Newton-Balistique-Energie mec <input type="checkbox"/> 3. Cinématique-MRU-MRUV-Chute libre- Poids d'un corps-Principes de la dynamique-Énergie mécanique <input type="checkbox"/> 4. Poids de corps-Forces de frottement-Plan incliné-Résistance de l'air-Énergie mec-Qté de mvt-Moment cinét-Volant-Marteau <input type="checkbox"/> 5. Autres à préciser :
II. Processus enseignement-apprentissage de la physique (mécanique)	<i>Objectif : Recueillir les informations sur les difficultés d'enseignement de la physique</i>		
	1	Quel est le degré de satisfaction sur la manière à laquelle vous procédez pour enseigner la physique ?	Très satisfait <input type="checkbox"/> Satisfait <input type="checkbox"/> Moyennement satisfait <input type="checkbox"/> Pas satisfait <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/>
	2	Quelle est la difficulté la plus rencontrée lors de l'enseignement de la	Liaison difficile à établir entre théorie et pratique <input type="checkbox"/> Difficultés d'expliquer certains concepts en langue locale <input type="checkbox"/> Insuffisance du temps imparti pour plus approfondir <input type="checkbox"/>

	physique en 4^{ème} année de Sciences ?	Autres à préciser :
3	Quel est le facteur le plus probable à l'origine de ces difficultés ?	Manque des matériels didactiques adéquats de physique <input type="checkbox"/> Manque de laboratoire moderne de physique <input type="checkbox"/> Peu ou manque de maîtrise en mathématique basique <input type="checkbox"/> Course pour terminer le programme <input type="checkbox"/> Temps imparti insuffisant <input type="checkbox"/> Autres à préciser :
4	Quelle est la manière la plus efficace pour surmonter ces difficultés ?	1.Organiser plus de pratique au lieu de plus parler avec un laboratoire réel de physique <input type="checkbox"/> 2.Organiser plus de pratique en utilisant des logiciels de simulation afin de pallier au manque de laboratoire réel de physique <input type="checkbox"/> 3.Résoudre plus de problèmes numériques et accorder plus de temps (heures) à la physique <input type="checkbox"/> 4.Réduire les points à traiter dans le programme <input type="checkbox"/> 5.Autres à préciser :
<i>Objectif : Recueillir les informations sur les éventuelles difficultés d'apprentissage de la physique par les apprenants</i>		
5	Quel pourrait être le degré de satisfaction de vos élèves sur la manière à laquelle vous enseignez la physique ?	Très satisfaits <input type="checkbox"/> Satisfaits <input type="checkbox"/> Moyennement satisfaits <input type="checkbox"/> Pas satisfaits <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/>
6	Quelle est la principale difficulté rencontrée par les élèves lors de l'apprentissage de la physique en 4^{ème} année de Sciences ?	1.Liaison difficile entre théorie et pratique <input type="checkbox"/> 2.Compréhension difficile de certains concepts en langue locale <input type="checkbox"/> 3. Trop de matières à maîtriser et insuffisance du temps imparti pour les approfondir <input type="checkbox"/> 4.Autres à préciser :
7	Quel est le facteur le plus probable à l'origine de ces difficultés ?	1.Manque des matériels didactiques adéquats de physique et d'un laboratoire moderne de physique <input type="checkbox"/> 2.Peu ou manque de maîtrise en mathématique basique <input type="checkbox"/> 3.Course pour terminer le programme et insuffisance du temps imparti <input type="checkbox"/>

			4. Autres à préciser :
	8	Quel est la solution la plus efficace pour surmonter ces difficultés ?	1. Organiser plus de pratique, visualiser plus et utiliser des logiciels de simulation <input type="checkbox"/> 2. Résoudre plus de problèmes numériques <input type="checkbox"/> 3. Accorder plus de temps (heures) à la physique <input type="checkbox"/> 4. Autres à préciser :
<i>III. Utilisation du laboratoire réel de physique, virtuel de physique et/ou des TIC lors du processus enseignement-apprentissage de la physique (mécanique)</i>	<i>Objectif : Recueillir les informations sur l'utilisation du laboratoire de physique ou de ses matériels lors de l'enseignement de la physique</i>		
	1	Avez-vous un laboratoire de physique dans votre école ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/>
	2	Si oui, est-il bien équipé en matériels d'expérimentations ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/>
	3	Utilisez-vous le laboratoire de physique (sinon les matériels adéquats) lors de vos prestations ?	Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
	4	En cas d'utilisation du labo virtuel, quelle en est sa fréquence d'utilisation ?	Hebdomadairement <input type="checkbox"/> Mensuellement <input type="checkbox"/> Trimestriellement <input type="checkbox"/> Annuellement <input type="checkbox"/> Aucun avis <input type="checkbox"/>
	5	S'il faut utiliser ce laboratoire virtuel en physique, quelle serait votre préférence en termes de procédé d'utilisation ?	1. Que les apprenants se débrouillent seuls face au mode opératoire, après mes explications <input type="checkbox"/> 2. Je travaille avec eux pour gagner du temps <input type="checkbox"/> 3. Je le manipule seul pour gagner plus de temps <input type="checkbox"/> 4. Que les apprenants se débrouillent seuls sans moi <input type="checkbox"/> 5. Les apprenants travaillent en avec leur mode opératoire sous ma permanence supervision <input type="checkbox"/> 6. Autres à préciser :
	6	Par rapport au mode de travail, quelle serait votre préférence ?	1. Que les apprenants travaillent en groupe selon la disponibilité de l'outil informatique utilisé <input type="checkbox"/> 2. Que chacun travaille en solo puis l'enseignant forme des groupes pour plus de partage <input type="checkbox"/> 3. Que chacun travaille en solo jusqu'à la fin de l'expérimentation simulatoire <input type="checkbox"/> 4. Que les apprenants travaillent en groupe puis chacun retravaille en solo <input type="checkbox"/>

		5. Autres à préciser :
7	Autoriseriez-vous la discussion entre élèves lors de vos prestations théoriques ou expérimentales ?	Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
<i>Objectif : Recueillir les informations sur l'utilisation des TIC (projection vidéo, photos...) dans l'enseignement de la physique</i>		
8	Aviez-vous déjà suivi une quelconque formation sur l'utilisation des TIC ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/>
9	Avez-vous un ordinateur à votre disposition ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/>
10	En cas d'utilisation d'un ordinateur, l'utiliseriez-vous pour préparer vos enseignements et en plein processus enseignement-apprentissage de la mécanique (physique) ?	Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
11	Comment estimez-vous votre niveau actuel de connaissance en TIC, en vous référant aux cours d'informatique et autres formations suivis durant votre cursus académique.	Très élevé <input type="checkbox"/> Élevé <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Très moyen <input type="checkbox"/> Très faible <input type="checkbox"/>
12	Comment estimez-vous votre niveau de performance dans l'utilisation pédagogique des outils TIC durant la préparation des	Très élevé <input type="checkbox"/> Élevé <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Très moyen <input type="checkbox"/> Très faible <input type="checkbox"/>

		leçons de mécanique (physique) ?	
13	Comment estimez-vous votre niveau de performance dans l'utilisation pédagogique des outils TIC durant le pilotage des leçons de mécanique (physique) ?.	Très élevé <input type="checkbox"/> Élevé <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Très moyen <input type="checkbox"/> Très faible <input type="checkbox"/>	
14	Quels sont les TIC que vous utilisez souvent au cours d'une séquence d'enseignement de la physique ?:	1. Ordinateur-Tablette-Smartphone-Calculatrice <input type="checkbox"/> 2. Ordinateur-Smartphone-Calculatrice <input type="checkbox"/> 3. Ordinateur-Smartphone-Calculatrice <input type="checkbox"/> 4. Ordinateur-Smartphone-Caméra digitale-Télévision-Tableau blanc interactif <input type="checkbox"/> 5. Smartphone-Calculatrice-Vidéoprojecteur <input type="checkbox"/> 6. Logiciels spécialisés de physique- Ordinateur-Smartphone- Tableau blanc interactif <input type="checkbox"/> 7. Autres à préciser :	
15	Quel est, selon vous, l'apport des TIC dans l'enseignement de la physique ?	Indispensable <input type="checkbox"/> Très important <input type="checkbox"/> Important <input type="checkbox"/> Dérisoire <input type="checkbox"/> Très inutile <input type="checkbox"/>	
16	Quel est l'effet (en termes de résultats d'apprentissage) de l'utilisation des TIC dans vos enseignements, tant au niveau de l'intérêt et de la participation des élèves qu'au niveau des contenus ou savoirs à enseigner ?	Très positif <input type="checkbox"/> Positif <input type="checkbox"/> Moyennement positif <input type="checkbox"/> Moins positif <input type="checkbox"/> Très inutile <input type="checkbox"/>	
17	Projetez-vous des vidéos expérimentales des autres experts en physique lors de certaines de vos prestations ?	Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	

<i>Objectif : Recueillir les informations sur l'utilisation des laboratoires virtuels de physique</i>	
18	Avez-vous déjà utilisé un logiciel de simulation ou laboratoire virtuel lors de vos prestations ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
19	Si oui, depuis combien d'années scolaires l'utilisez-vous en physique (mécanique) ? Cette année scolaire <input type="checkbox"/> 1 an déjà <input type="checkbox"/> 2 ans déjà <input type="checkbox"/> 3 ans déjà <input type="checkbox"/> Plus de 5 ans déjà <input type="checkbox"/> Aucun avis <input type="checkbox"/>
20	Si oui, avec quelle fréquence d'utilisation ? Hebdomadairement <input type="checkbox"/> Mensuellement <input type="checkbox"/> Trimestriellement <input type="checkbox"/> Annuellement <input type="checkbox"/> Aucun avis <input type="checkbox"/>
21	En cas d'utilisation des logiciels, quel type de simulations ou expériences préféreriez-vous faire ? 1. Étude des mouvements des corps/Construction des graphiques/Résolution des circuits électriques <input type="checkbox"/> 2. Traitement des signaux/Résolution des problèmes/Montage des matériels <input type="checkbox"/> 3. Autres à préciser :
22	En cas d'utilisation des logiciels, comment procéderiez-vous en termes de méthodologie ? 1. Lancer la simulation/expliquer son fonctionnement n-fois/discussion des élèves en groupe/chaque élève expérimente <input type="checkbox"/> 2. Lancer la simulation/expliquer son fonctionnement n-fois/chaque élève expérimente <input type="checkbox"/> 3. Lancer la simulation/discussion des élèves en groupe/chaque élève expérimente <input type="checkbox"/> 4. Lancer la simulation/chaque élève expérimente <input type="checkbox"/> 5. Lancer la simulation/l'enseignant expérimente et explique <input type="checkbox"/> 6. Autres à préciser :
23	Existe-t-il un logiciel adapté à l'enseignement-apprentissage de la physique conforme au programme de physique 4^{ème} année de Sciences ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Probablement <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Je ne sais pas <input type="checkbox"/>
24	Souhaiteriez-vous l'élaboration d'un Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Indécis <input type="checkbox"/>

	simulateur (logiciel) de physique adapté au programme d'enseignement en 4^{ème} année de Sciences ?	
25	Quelles sont les caractéristiques particulières voudriez-vous doter à un simulateur en physique ?	<p>1.Refléter et/ou approcher la réalité physique des phénomènes, souplesse, facilement installable, robuste <input type="checkbox"/></p> <p>2.Permettre la distinction des objets à manipuler, rapide, jolie présentation <input type="checkbox"/></p> <p>3.Bonne présentation, approcher la réalité, souplesse, facilement installable, robuste, distinction des objets à manipuler <input type="checkbox"/></p> <p>4.Autres à préciser :</p>
<i>Objectif : Recueillir les informations sur les défis et les limites d'utilisation des laboratoires virtuels ou simulateurs dans le processus enseignement-apprentissage de la physique (mécanique)</i>		
26	Comparativement au laboratoire réel de physique, sur les plans matériel, financier, intellectuel, technique, didactique, personnel c'est-à-dire par rapport à vos propres capacités, quels sont les avantages d'utilisation du laboratoire virtuel de physique dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique ?	<p>1.Moins encombrant, faible coût, moins de risques d'accidents, moins de stress lors du montage <input type="checkbox"/></p> <p>2.Moins couteux, facilement transportable, pragmatisme de l'enseignement <input type="checkbox"/></p> <p>3.Autres à préciser :</p>
27	Comparativement au laboratoire réel de physique, sur les plans matériel, financier, intellectuel, technique, didactique,	<p>1.Résultats figés, exigence de la permanence de l'énergie électrique, distraction <input type="checkbox"/></p> <p>2.Plus de dépenses pour des classes à grands effectifs, mise à jour permanente, passe-temps, résultats monotones <input type="checkbox"/></p> <p>3.Exigence d'un niveau élevé d'utilisation, trop couteux, problèmes techniques, distraction, résultats figés <input type="checkbox"/></p>

	<p>personnel c'est-à-dire par rapport à vos propres capacités, quels sont les désavantages d'utilisation du laboratoire virtuel de physique dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique ?</p>	<p>4.Exigeance de la formation permanente des utilisateurs, encombrants <input type="checkbox"/></p> <p>5.Autres à préciser : </p>
28	<p>Comparativement au laboratoire réel de physique, sur les plans matériel, financier, intellectuel, technique, didactique, personnel c'est-à-dire par rapport à vos propres capacités, quelle est la principale limite d'utilisation du laboratoire virtuel de physique dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique ?</p>	<p>1.Résultats figés et monotones <input type="checkbox"/></p> <p>2.Utilisation de l'outil ordinateur <input type="checkbox"/></p> <p>3.Exigeance de la permanence de l'énergie électrique <input type="checkbox"/></p> <p>4.Exigeance de la formation continue des enseignants pour son utilisation efficiente <input type="checkbox"/></p> <p>5.Source de distractions pour certains élèves <input type="checkbox"/></p> <p>6.Autres à préciser : </p>
29	<p>Quelles sont les stratégies à mettre en place pour faire face aux défis relevés ci-haut ?</p>	<p>1.Former les utilisateurs/Travail en groupe/Liberté dans le choix des matériels <input type="checkbox"/></p> <p>2.Varier les résultats suivant l'ordre de montage des matériels/Former les utilisateurs/Prévoir un groupe électrogène ou panneaux solaires/Toujours attirer l'attention des élèves <input type="checkbox"/></p> <p>3.Bien concevoir le logiciel en 3D/Diversifier les données/Former les utilisateurs/Favoriser le travail en équipe/Prévoir une source d'énergie électrique de secours <input type="checkbox"/></p> <p>4.Autres à préciser : </p>

IV. Représentations initiales-obstacles	<i>Objectif : Recueillir les informations sur la perception des enseignants face aux représentations initiales-obstacles en physique (mécanique)</i>	
	1	Pensez-vous que les élèves ignorent totalement de quoi il s'agit lorsque vous leur présentez les différents points du programme à traiter ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Probablement <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Je ne sais pas <input type="checkbox"/>
	2	Que savez-vous des représentations initiales ? Pensées ; idées, images... à priori sur une notion <input type="checkbox"/> Formules préconçues d'une notion <input type="checkbox"/> Théories déformées des concepts <input type="checkbox"/> Images figées d'un matériel <input type="checkbox"/> Autres à préciser :
	3	Une représentation initiale peut-elle s'ériger en obstacle face à un apprentissage ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Probablement <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Je ne sais pas <input type="checkbox"/>
	4	Une représentation initiale est toujours contraire à celle finale correcte ou scientifique d'une notion ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Probablement <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Je ne sais pas <input type="checkbox"/>
<i>Objectif : Recueillir les informations sur la typologie ou la classification et l'origine des représentations initiales-obstacles en physique (mécanique)</i>		
4	Les représentations initiales sont-elles toujours identiques (Classification) ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Probablement <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Je ne sais pas <input type="checkbox"/>	
5	Quelle est l'origine principale des représentations initiales rencontrées chez nos apprenants ? Vécu quotidien ou niveau de vie <input type="checkbox"/> Culture <input type="checkbox"/> Mœurs <input type="checkbox"/> Niveau de maturité <input type="checkbox"/> Habitudes de l'école <input type="checkbox"/> Niveau des enseignants antérieurs dans le domaine <input type="checkbox"/> Autres à préciser :	
<i>Objectif : Recueillir les informations sur la procédure de détection des représentations initiales-obstacles lors de l'enseignement de la physique (mécanique)</i>		

5	Comment pensez-vous procéder pour détecter les éventuelles représentations initiales-obstacles des élèves en physique ?	1.Poser des questions du genre : « à quoi pensez-vous quand on parle de... ? » ; « qui peut représenter tel concept... ? »/recueillir les réponses des élèves/ confronter les réponses entre-elles/dégager la vraie pensée scientifique <input type="checkbox"/> 2.Poser des questions/pénétrer les pensées des élèves/ dégager la vraie pensée scientifique <input type="checkbox"/> 3.Imaginer ce qui se trame dans les cerveaux des élèves et enseigner magistralement <input type="checkbox"/> 4.Autres à préciser :
<i>Objectif : Recueillir les informations sur la procédure de tentative de correction des représentations initiales-obstacles en physique (mécanique)</i>		
6	Comment pensez-vous procéder pour tenter les corriger efficacement ?	1.Confronter les différentes pensées des apprenants/laisser chacun dégager la vraie pensée scientifique/Insister sur la vraie pensée scientifique <input type="checkbox"/> 2.Expérimenter/Dégager les principes et les résultats/Discuter en groupe/Ressortir la vraie pensée scientifique <input type="checkbox"/> 3.Insister sur la vraie pensée scientifique en menaçant les apprenants <input type="checkbox"/> 4.Ne rien faire pour laisser jouer le libre arbitre <input type="checkbox"/> 5.Autres à préciser :
7	Quels sont les principaux facteurs entrant en jeu dans la correction des représentations initiales-obstacles ?	1.Expérimentation avec un laboratoire de physique/Qualité des matériels utilisés/Choix de l'approche <input type="checkbox"/> 2.Niveau d'attention des apprenants/Qualité et précision des explications/Niveau scientifique de l'enseignant/Timing imparti <input type="checkbox"/> Autres à préciser :
8	Faut-il laisser de l'autonomie à l'élève dans le processus de correction des représentations initiales-obstacles ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Probablement <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Je ne sais pas <input type="checkbox"/>
9	En cas de non correction des représentations initiales-obstacles (résistance), peut-on arriver à une sorte de	Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>

		fusion entre ces représentations initiales-obstacles persistantes et celles vraies mais scientifiques ?	
--	--	--	--

II.3. Prétest de la préenquête auprès des apprenants de 3^e année de Sciences (2023-2024), futurs apprenants finalistes (2024-2025) dans les mêmes écoles

Méthode : Quantitative

Technique : Enquête (Checklist)

Sujets interrogés : Apprenants de 3^e année de Sciences (2023-2024)

Variables à mesurer : Items

Période de soumission : Une semaine avant la révision pour les examens de fin d'année

NOM, POSTNOM et PRENOM :

(Ce nom sera effacé à la fin de l'enquête. Il ne sert qu'à l'identification du répondant lors de la distribution des copies)

I. Adresse aux répondants :

Cher (e) Apprenant en 3^e année de Sciences,

Tout en vous garantissant l'anonymat, nous avons l'amabilité de vous associer à cette étude portant sur la « Validation de "Bazin-R VirtLab" pour la correction des représentations initiales-obstacles en mécanique chez les apprenants de 4^e année de Sciences Kimpese et à Inkisi » en vous priant de bien vouloir répondre à cette checklist durant 30 minutes minimum. Cette étude a pour but principal de corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles décelées chez les apprenants finalistes en Sciences lors de l'apprentissage des notions de mécanique classique afin de tenter de les corriger grâce au laboratoire virtuel de physique dénommé « Bazin-R Virtlab ». Merci d'avance pour votre collaboration !

II. Informations démographiques préliminaires du répondant :

1. Groupe : GrExp1 GrExp2 GrCtrl1 GrCtrl2
2. Sexe : Masculin Féminin
3. Âge : 10-15ans 16-20ans 21-25ans 26 ans-plus
4. Ancienneté à l'école : Moins d'1an 1 an 2 ans + de 3 ans
5. Milieu d'habitation : Kisantu Kimpese Mbanza-Ngungu
(Préciser le Quartier) :

III. Questions :

A. Cochez la réponse qui vous correspond à votre vécu quotidien (30 minutes)

Catégorie	N°	Items
A) Objectif : Déterminer l'origine ou la source des représentations initiales-obstacles		
I. Utilisation de la télévision	1	Avez-vous une télévision chez vous à la maison ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/>
	2	A quelle fréquence regardez-vous la télévision ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
	3	Durant combien de temps regardez-vous la télévision ? Moins de 2h/j <input type="checkbox"/> Entre 2h-5h/j <input type="checkbox"/> Entre 6h-9h/j <input type="checkbox"/> Entre 10-13h/j <input type="checkbox"/> Plus de 14h/j <input type="checkbox"/>
	4	Que regardez-vous souvent ? Documentaires des animaux <input type="checkbox"/> Films, Séries et dessins animés <input type="checkbox"/> Théâtres <input type="checkbox"/> Sport et autres divertissements <input type="checkbox"/> Des documentaires scientifiques et technologiques <input type="checkbox"/> Autres à préciser <input type="checkbox"/>
	5	Regardez-vous des films de fictions ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
II. Utilisation du téléphone	1	Avez-vous un téléphone portable androïde à votre disposition ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/>
	2	Utilisez-vous un téléphone pour approfondir vos connaissances en physique ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
	3	Utilisez-vous un téléphone lors de l'apprentissage de la physique pour vérifier ou compléter certaines notions ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
III. Manipulation de l'outil ordinateur	1	Avez-vous un ordinateur à votre disposition ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/>
	2	Dès que possible, quels genres d'activités faites-vous avec un ordinateur ? Saisies des documents <input type="checkbox"/> Écouter de la musique <input type="checkbox"/> Regarder des documentaires <input type="checkbox"/> Regarder des films, des séries et des dessins animés <input type="checkbox"/> Autres à préciser <input type="checkbox"/>
	3	Utilisez-vous un ordinateur lors de l'apprentissage de la physique ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
	4	Comment estimez-vous votre niveau actuel en manipulation d'un ordinateur ? Très élevé <input type="checkbox"/> Élevé <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Très moyen <input type="checkbox"/> Très faible <input type="checkbox"/>
IV. Lecture	1	Avez-vous l'habitude de faire la lecture ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
	2	Que lisez-vous souvent ? Livres scientifiques et technologiques <input type="checkbox"/> Romans <input type="checkbox"/> Revues <input type="checkbox"/>

		Bandes dessinées <input type="checkbox"/>	Autres à préciser <input type="checkbox"/>
	3	Lisez-vous vos anciens cahiers de physique ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	
<i>V. Autres mœurs</i>	1	Vos proches vous racontent-ils des histoires et contes à la maison ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	
	2	Entre amis au quartier et entre condisciples à l'école, de quoi discutez-vous souvent ? Films, séries et romantisme <input type="checkbox"/> Vie en société <input type="checkbox"/> Politique <input type="checkbox"/> Evolution technologique <input type="checkbox"/> Romantisme <input type="checkbox"/> Sport <input type="checkbox"/> Autres à préciser <input type="checkbox"/>	
	3	Passez-vous beaucoup de temps dans un milieu où se trouve au-moins une industrie ou une usine de transformation (usine d'eau, fabrication des marmites et autres, réparation motos, véhicules et vélos...) ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	
<i>VI. Niveau de l'actuel enseignant de physique et des enseignants de physique des classes antérieures</i>	1	Du point de vue de la transmission des connaissances, que pensez-vous de votre actuel enseignant de physique ? Excellent <input type="checkbox"/> Très bon <input type="checkbox"/> Bon <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Médiocre <input type="checkbox"/>	
	2	Du point de vue de la transmission des connaissances, que pensez-vous de vos enseignants de physique de 1^{ère} et de 2^{ème} ? Ils étaient Excellents <input type="checkbox"/> Ils étaient Très bons <input type="checkbox"/> Ils étaient Bons <input type="checkbox"/> Ils étaient moyens <input type="checkbox"/> Ils étaient Médiocres <input type="checkbox"/>	
<i>VII. Habitudes et organisation de l'école</i>	1	Votre école organise-t-elle des jeux concours scientifiques ? Toujours <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	
	2	Votre école possède-t-elle un laboratoire de physique ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	
	3	Votre école possède-t-elle quelques matériels de physique ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	
	4	Votre école possède-t-elle des ordinateurs ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	
	5	Votre école possède-t-elle un vidéoprojecteur ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	
	6	Votre école est-elle électrifiée ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> À peu près <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>	
B) Objectif : Déterminer les éventuelles difficultés d'apprentissage de la physique			
<i>I. Difficultés d'apprentissage</i>	1	Qu'éprouvez-vous comme principale difficulté d'apprentissage de la physique ? Liaison entre théorie apprise et pratique <input type="checkbox"/> Rétention et démonstration des formules mathématiques <input type="checkbox"/> Traçage des graphiques <input type="checkbox"/> Compréhension des lois et des principes <input type="checkbox"/> Autres à préciser <input type="checkbox"/>	
	2	Quelle serait la principale cause des difficultés d'apprentissage ? Insuffisances personnelles et mauvaises conditions sociales <input type="checkbox"/> Incapacité de l'enseignant et distractions diverses <input type="checkbox"/> Manque des matériels de pratique expérimentale <input type="checkbox"/>	

		Excès des notions à apprendre, de la logique et des maths <input type="checkbox"/> Autres à préciser <input type="checkbox"/>
C) Objectif : Déterminer la nécessité et l'opportunité d'utilisation d'un laboratoire virtuel de physique pour tenter de corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles		
I.Utilisation et caractéristiques d'un labo virtuel	1	Les années antérieures, avez-vous déjà vu votre enseignant de physique utiliser un programme informatique lors de l'enseignement du cours de physique ? Oui, souvent <input type="checkbox"/> Oui, rarement <input type="checkbox"/> Je ne m'en souviens plus <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
	2	Voudriez-vous un jour apprendre la physique grâce à programme informatique utilisé par un ordinateur ? Oui <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
	3	En cas d'utilisation d'un laboratoire virtuel de physique, quelle simulation ou expérience voudriez-vous faire avec votre enseignant ? 1.Montage des matériels/Mouvements des corps/Construction des graphiques <input type="checkbox"/> 2.Résolution des circuits électriques/Traitement des signaux <input type="checkbox"/> 3.Montage des matériels/Réalités physiques des notions/Calculs des paramètres <input type="checkbox"/> 4.Résolution des problèmes <input type="checkbox"/> 5.Autres à préciser <input type="checkbox"/>
	4	En cas d'utilisation d'un laboratoire virtuel de physique, comment voudriez-vous que votre enseignant de physique procède-il (elle) pour un meilleur apprentissage de votre part ? 1.Lancer la simulation/expliquer son fonctionnement n-fois/discussion des élèves en groupe/chaque élève expérimente <input type="checkbox"/> 2.Lancer la simulation/expliquer son fonctionnement n-fois/chaque élève expérimente <input type="checkbox"/> 3.Lancer la simulation/discussion des élèves en groupe/chaque élève expérimente <input type="checkbox"/> 4.Lancer la simulation/chaque élève expérimente <input type="checkbox"/> 5.Lancer la simulation/l'enseignant expérimente et explique <input type="checkbox"/> 6.Autres à préciser <input type="checkbox"/>
	5	Comment voudriez-vous que ce laboratoire virtuel de physique ait comme caractéristiques principales ? 1.Facilement manipulable / Installable dans n'importe quel ordinateur / Sélection facile des objets à utiliser/Montage facile des objets 2.Respect de l'ordre de montage avec guide d'utilisation/Rapidité dans la réaction <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 3.Autres à préciser <input type="checkbox"/>
	6	Comment voudriez-vous manipuler ce laboratoire virtuel de physique ? Seul sans aide ou explication de l'enseignant <input type="checkbox"/> Seul avec accompagnement de l'enseignant jusqu'au bout <input type="checkbox"/> Seul après des amples explications de l'enseignant <input type="checkbox"/> En groupe et sans aide ou explication de l'enseignant <input type="checkbox"/> En groupe avec accompagnement de l'enseignant jusqu'au bout <input type="checkbox"/> En groupe après des amples explications de l'enseignant <input type="checkbox"/> En groupe puis seul sans aide ou explication de l'enseignant <input type="checkbox"/> En groupe puis seul avec accompagnement de l'enseignant jusqu'au bout <input type="checkbox"/>

		En groupe puis seul après des amples explications de l'enseignant et discussion entre nous <input type="checkbox"/> Autres à préciser <input type="checkbox"/>
	7	Pensez-vous que ce genre de logiciel viendrait résoudre les difficultés rencontrées dans l'apprentissage (compréhension) des notions de physique ? Oui <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>

D) Objectif : Identifier intuitivement les principales représentations initiales-obstacles en mécanique

Dans la vie pratique réelle, à quoi (mot) faites-vous allusion intuitivement lorsque vous entendez parler de (10 minutes) :

N°	Concept de physique	Réponse 1	Réponse 2	Autres à préciser
1	Temps	Durée	Période	
2	Trajectoire	Trajet	Distance	
3	Vitesse	Rapide	Accélération	
4	Cinématique	Mouvement	Cinéma (film)	
5	Mouvement	Bouger	Déplacement	
6	Rectiligne	Ligne droite	Plat	
7	Uniforme	Identique	Fixe	
8	Mouvement varié	Accéléré	Monter	
9	Chute libre	Pesanteur	Tomber	
10	Masse	Poids	Corps	
11	Poids	Charge	Masse	
12	Dynamique	Dynamo	Téméraire	
13	Force	Puissance	Muscle	
14	Inertie	Arrêt mouvement/ Absence force	Repos	
15	Énergie	Force	Puissance	
16	Travail	Énergie	Déplacement/ Mouvement	
17	Puissance	Force /Pression	Machine	
18	Quantité de mouvement	Choc / Déformation	Masse	
19	Circulaire	Cercle	Tourner	
20	Volant	Circulaire	Rotation	
21	Marteau	Va et vient	Taper	

Merci pour votre collaboration !

II.4. Test d'évaluation des connaissances lors de l'enquête proprement dite auprès des apprenants de 4^e année de Sciences

Méthode : Quantitative

Technique : Enquête (Checklist)

Sujets interrogés : Apprenants 4^e année de Sciences (2024-2025)

Variables à mesurer : Items

Période de soumission : Premier mois de la rentrée scolaire, avant et/ou après le traitement

NOM, POSTNOM et PRENOM :

(Ce nom sera effacé à la fin de l'enquête. Il ne sert qu'à l'identification du répondant lors de la distribution des copies)

I. Adresse aux répondants :

Cher (e) Apprenant (e) en 4^e année de Sciences,

Tout en vous garantissant l'anonymat, nous avons l'amabilité de vous associer à cette étude portant sur la « Validation de "Bazin-R VirtLab" pour la correction des représentations initiales-obstacles en mécanique chez les apprenants de 4^e année de Sciences à Kimpese et à Inkisi » en vous priant de bien vouloir répondre à cette checklist durant 30 minutes minimum. Cette étude a pour but principal de corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles décelées en vous relativement à votre conception primitive sur les notions de mécanique classique grâce au laboratoire virtuel de physique dénommé « Bazin-R VirtLab ». Merci d'avance pour votre collaboration !

II. Informations démographiques préliminaires du répondant :

1. Groupe : GrExp1 GrExp2 GrCtrl1 GrCtrl2
2. Sexe : Masculin Féminin
3. Âge : 10-15ans 16-20ans 21-25ans 26 ans-plus
4. Ancienneté à l'école: Moins d'1an 1an déjà 2 ans déjà 3 ans et/ou +
5. Milieu d'habitation : Kimpese Inkisi
(Préciser le Quartier) :

III. Questions :

Consignes : Cocher ou hachurer une seule bonne réponse.

Exemple :

N°	Libellé des indicateurs de performance de la manipulation
	Lors d'une expérimentation, entre le laboratoire réel et celui virtuel de physique, lequel donne des résultats plus précis ? 1. Laboratoire réel de physique <input type="checkbox"/> 2. Laboratoire virtuel de physique <input checked="" type="checkbox"/>

N°	Libellé des indicateurs de performance de la manipulation
A	Généralités sur la compréhension de la mécanique
	<i>Objectif de l'expérience 1 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et de corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur les éléments de base de la cinématique en mécanique classique.</i>
1	Aux humanités, les notions préliminaires sur la mécanique classique ont été étudiées à partir de quelle classe : 1. à partir de la 1 ^{ère} Sciences <input type="checkbox"/> 2. Spécialement en 2 ^e Sciences <input type="checkbox"/> 3. à partir de la 3 ^e Sciences <input type="checkbox"/> 4. Jamais vues avant <input type="checkbox"/>
2	La mécanique classique est : 1.L'étude des concepts abstraits de la physique <input type="checkbox"/> 2.L'étude des machines et des moteurs <input type="checkbox"/> 3.L'étude des corps en mouvement <input type="checkbox"/> 4.L'étude des réparations des appareils <input type="checkbox"/> 5.Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
3	La mécanique classique est principalement basée sur : 1.Les lois de Newton <input type="checkbox"/> 2.Les lois d'Ohm <input type="checkbox"/> 3.Les lois d'Euclide <input type="checkbox"/> 4.Les lois de Carnot <input type="checkbox"/> 5.Les lois de Joule <input type="checkbox"/>
	Total A : /3 (%)
B	Cinématique
4	En mécanique, lorsqu'on parle du mouvement, on voit généralement : 1.La rotation uniquement <input type="checkbox"/> 2.La translation uniquement <input type="checkbox"/> 3.La translation et la rotation <input type="checkbox"/> 4.La chute libre uniquement <input type="checkbox"/> 5.Le vide <input type="checkbox"/>
5	On demande à Nathan de vite quitter Mbanza-Ngungu pour atteindre Kisantu. Tout le temps à bord de sa jeep, il ne fait que tourner sur place à Mbanza-Ngungu, traversant tous les quartiers sans y quitter. Comme il n'atteint toujours pas encore son point d'arrivée (Kisantu), pouvez-vous affirmer : 1.Qu'il n'effectue donc aucun mouvement <input type="checkbox"/> 2.Qu'il a effectivement effectué un mouvement <input type="checkbox"/> 3.Qu'il est en perte de vitesse <input type="checkbox"/> 4.Qu'il n'est ni au repos ni en mouvement <input type="checkbox"/> 5.Qu'il n'y a aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
6	En mécanique, on définit la trajectoire comme : 1.Un trajet qui est toujours rectiligne <input type="checkbox"/> 2.Le chemin décrit par un mobile dans l'espace au fil du temps <input type="checkbox"/> 3.Une durée effectuée par un mobile <input type="checkbox"/> 4.Une distance lointaine entre deux points <input type="checkbox"/> 5.Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
7	« Ça fait un très long trajet de marcher à pieds de Kisantu jusqu'à Kimpese ». En mécanique, le mot « trajet » fait allusion à (au) : 1.La trajectoire <input type="checkbox"/> 2.La distance à parcourir <input type="checkbox"/> 3.Temps à effectuer <input type="checkbox"/> 4.La vitesse <input type="checkbox"/> 5.Repère <input type="checkbox"/>
8	En mécanique, le temps peut être défini comme : 1.Un moment précis d'un événement <input type="checkbox"/> 2.Une durée entre deux événements <input type="checkbox"/> 3.Une période entre deux événements <input type="checkbox"/> 4.Un intervalle de temps entre les événements <input type="checkbox"/> 5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
9	À 7h d'aujourd'hui, nous avons comptabilisé 7 jours nets de pluies. En mécanique, 7h et 7 jours expriment respectivement : 1.Tous deux le temps <input type="checkbox"/> 2.Le temps et la durée <input type="checkbox"/> 3. Tous deux la période <input type="checkbox"/> 4.La durée et le temps <input type="checkbox"/> 5.Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
10	En mécanique, quand on parle de la vitesse on voit directement :

	Sous-total B2 :	/6	(%)
	<i>Objectif de l'expérience 3 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur la chute libre d'un corps.</i>		
17	<p>Trouver la bonne proposition de réponse sur la chute libre :</p> <p>1. En négligeant la résistance de l'air, un objet plus lourd et celui moins lourd, lâchés au même moment, tombent au sol à la même vitesse <input type="checkbox"/></p> <p>2. \vec{g} est appelée pesanteur ou gravité <input type="checkbox"/></p> <p>3. Bien qu'elle puisse varier en fonction de la masse de l'objet mis en exergue, \vec{g} reste constante dans n'importe quel milieu <input type="checkbox"/></p> <p>4. Un corps sans masse peut aussi tomber en chute libre <input type="checkbox"/></p> <p>5. L'accélération d'un objet qui tombe en chute libre ne dépend uniquement que de la masse de ce corps ; la force gravitationnelle lui appliquée par la Terre n'influe en rien <input type="checkbox"/></p>		
18	<p>Trouver la bonne proposition de réponse sur la gravité :</p> <p>1. La gravité est une déformation de la force sous l'effet d'une accélération et non une déformation de la géométrie de l'espace, pendant un temps t, sous l'influence de la masse de ce corps <input type="checkbox"/></p> <p>2. La gravité existe et agit même dans le vide, un corps possédant une masse peut y tomber <input type="checkbox"/></p> <p>3. La gravité n'agit que sur les corps possédant une masse mais en mouvement <input type="checkbox"/></p> <p>4. Graviter une montagne = Tourner autour d'une montagne comme le fait la Terre autour du Soleil <input type="checkbox"/></p> <p>5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/></p>		
	Sous-total B3 :	/2	(%)
	Total B :	/15	(%)
C	Dynamique		
	<i>Objectif de l'expérience 4 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur les principes de la dynamique : Inertie.</i>		
19	<p>Trouver la mauvaise proposition de réponse sur l'inertie :</p> <p>1. L'inertie d'un corps n'est postulée que lorsque ce dernier est au repos uniquement <input type="checkbox"/></p> <p>2. Seule une force externe peut briser l'inertie <input type="checkbox"/></p> <p>3. En négligeant les frottements, le principe d'inertie postule qu'un objet peut demeurer en MRU même si aucune force n'est appliquée continuellement <input type="checkbox"/></p> <p>4. Un corps est en équilibre au repos ou en mouvement avec une vitesse constante dans une direction donnée <input type="checkbox"/></p> <p>5. Deux forces, de même intensité ou d'intensités différentes, peuvent être en équilibre en ajustant leur centre de gravité <input type="checkbox"/></p> <p>6. Un objet en mouvement voit son mouvement être ralenti car la force de départ s'oppose à une autre force contraire qui la consomme progressivement <input type="checkbox"/></p>		
	Sous-total C1 :	/1	(%)
	<i>Objectif de l'expérience 5 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur les principes de la dynamique : Force constante.</i>		

20	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tout objet en mouvement possède sa propre force <input type="checkbox"/> 2. La force est une grandeur intrinsèque d'un objet c'est-à-dire une propriété fondamentale mesurée indépendamment des autres objets <input type="checkbox"/> 3. La force est une grandeur d'état ou une quantité vectorielle qui se conserve et qui ne peut se transférer <input type="checkbox"/> 4. La force est en équilibre lorsqu'elle produit un mouvement <input type="checkbox"/> 5. En mécanique, il faut plus de force pour déplacer ou accélérer un objet plus lourd que pour le faire avec un objet léger <input type="checkbox"/> 6. Un objet qui se déplace rapidement est nécessairement plus fort que celui qui se déplace lentement : la force est donc proportionnelle à la vitesse ! <input type="checkbox"/>
<p>Sous-total C2 : /1 (%)</p>	
<p><i>Objectif de l'expérience 6 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur les principes de la dynamique : Action et réaction.</i></p>	
21	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. « À toute action correspond une réaction d'intensités différentes mais de même sens » <input type="checkbox"/> 2. L'action et la réaction sont deux forces égales mais opposées qui agissent toujours sur un même et seul objet <input type="checkbox"/> 3. L'action et la réaction sont deux forces égales mais opposées qui agissent toujours sur des objets différents : l'action agit sur l'objet poussé ou tiré tandis que la réaction agit sur le pousseur ou le tireur <input type="checkbox"/> 4. Dans une lutte entre deux personnes, sûrement le plus fort exercera une force plus grande que le moins fort et l'emportera <input type="checkbox"/> 5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
<p>Sous-total C3 : /1 (%)</p>	
<p><i>Objectif de l'expérience 7 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur la détermination du poids d'un corps.</i></p>	
22	<p>En parlant des « Lois » et des « Principes » de Newton en mécanique, les deux termes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Signifient la même chose <input type="checkbox"/> 2. Sont différents car l'idée de départ de Newton (principe) est donc devenue une loi (explicative de la physique à travers sa description concise et mathématique) <input type="checkbox"/> 3. Sont contradictoires et opposés <input type="checkbox"/> 4. Sont identiques et polysémiques <input type="checkbox"/> 5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
23	<p>La dynamique est strictement définie comme :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. L'étude de la persévérance d'un corps <input type="checkbox"/> 2. L'étude des corps en mouvement causé par une éventuelle force <input type="checkbox"/> 3. L'étude des corps en mouvement <input type="checkbox"/> 4. L'étude de l'énergie d'un corps <input type="checkbox"/> 5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
24	<p>Trouver la mauvaise proposition de réponse :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La masse seule d'un corps ne suffit pas pour déterminer la force à exercer par un objet. Il faut l'associer à une certaine accélération <input type="checkbox"/> 2. Lors d'un mouvement, la masse ne s'oppose jamais au mouvement <input type="checkbox"/>

	<p>3. Nathan a acheté un poulet P12. C'est strictement sa masse <input type="checkbox"/></p> <p>4. Le poids et la masse sont deux grandeurs physiquement différentes car le poids est une grandeur vectorielle tandis que la masse est une grandeur scalaire <input type="checkbox"/></p> <p>5. Un poulet P10 (en kgf) équivaut à un poulet de 1kg car $m = \frac{10N}{9,81N/kg}$ <input type="checkbox"/></p>
	<p>Sous-total C1 : /3 (%)</p>
	<p>Total C : /6 (%)</p>
D	Énergie mécanique
	<p><i>Objectif de l'expérience 8 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur les énergies cinétique et potentielle d'un corps.</i></p>
25	<p>L'énergie est strictement définie comme :</p> <p>1. Une substance qui se transmet d'un corps vers un autre pour produire le mouvement <input type="checkbox"/></p> <p>2. Une propriété des objets en mouvement ou en interaction sinon une grandeur qui représente la capacité d'un système à fournir un effort et se transmet plutôt d'un système à un autre sous différentes formes <input type="checkbox"/></p> <p>3. Une propriété qu'affectent les êtres vivants vers les objets inertes <input type="checkbox"/></p> <p>4. Une force produite par un système pour déplacer ou modifier l'inertie des corps <input type="checkbox"/></p> <p>5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/></p>
26	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p> <p>1. Lors d'une interaction, l'énergie mécanique ne se conserve pas <input type="checkbox"/></p> <p>2. Lors d'une interaction, l'énergie mécanique se conserve en se transformant en une autre forme ($E_c = E_p$) c'est-à-dire elle ne peut être ni créée ni détruite <input type="checkbox"/></p> <p>3. Même si vous êtes capable de parler fort, le fait d'être incapable de soulever une charge signifie que vous manquez totalement d'énergie <input type="checkbox"/></p> <p>4. L'énergie seule suffit pour soulever une charge, la force et les appuis ne comptent nullement <input type="checkbox"/></p> <p>5. Dans la vie, on ne peut pas économiser à la fois l'énergie et l'argent <input type="checkbox"/></p> <p>6. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/></p>
	<p>Sous-total D1 : /2 (%)</p>
	<p><i>Objectif de l'expérience 9 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur le travail mécanique d'un corps en mouvement.</i></p>
27	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p> <p>1. En ce XXIème siècle, il y a travail mécanique lorsqu'il y a transfert de l'énergie d'un système vers un autre afin de produire un effet (déplacement, rotation, arrêt, etc.) sous l'influence d'une force <input type="checkbox"/></p> <p>2. Lorsqu'il n'y a pas de résistance au déplacement d'un point d'application, il n'y a pas de frottements ($F=0$), il n'y a donc <i>présence</i> d'un travail de pesanteur <input type="checkbox"/></p> <p>3. Le travail n'est accompli que lorsqu'un objet est déplacé dans la direction de la force appliquée <input type="checkbox"/></p> <p>4. Le travail est toujours directement proportionnel à la distance parcourue par un objet <input type="checkbox"/></p> <p>5. Le travail est une puissance manifestée par un moteur pour déplacer un objet <input type="checkbox"/></p>
28	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p>

	<p>1. Si un objet parcourt une grande distance, même si la force appliquée est faible, il aura accompli un grand travail : le travail est toujours directement proportionnel à la distance parcourue par un objet <input type="checkbox"/></p> <p>2. Le travail dépend de la force appliquée sur cet objet et de l'effet ainsi produit (déplacement, arrêt, rotation...) de cet objet dans une direction donnée <input type="checkbox"/></p> <p>3. Même si un objet parcourt une grande distance et que la force lui appliquée est faible, il aura toujours accompli un travail très grand <input type="checkbox"/></p> <p>4. Si la force est appliquée dans une direction perpendiculaire au déplacement, il y aura toujours présence d'un grand travail mécanique <input type="checkbox"/></p> <p>5. Travailler = Utilisation de la force jusqu'à son épuisement total <input type="checkbox"/></p> <p>6. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/></p>
	Sous-total D2 : /2 (%)
	<i>Objectif de l'expérience 10 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur la puissance mécanique d'un corps en mouvement.</i>
29	<p>Trouver la mauvaise proposition de définition de la puissance mécanique :</p> <p>1. Une capacité à plus déformer totalement, à plus briser l'autre ou quelque chose complètement <input type="checkbox"/></p> <p>2. Une capacité de plus de dépense ou de transfert ou de conversion d'énergie par unité de temps <input type="checkbox"/></p> <p>3. Une mesure de la vitesse à laquelle le travail est effectué ou de la quantité d'énergie transférée ou convertie par unité de temps <input type="checkbox"/></p> <p>4. Une expression de la capacité d'accomplir rapidement une tâche, un travail <input type="checkbox"/></p> <p>5. $P = \frac{W}{t}$ <input type="checkbox"/></p>
30	<p>Dans la phrase suivante : Dieu a créé l'Univers et tout ce qui s'y trouve en 7 jours tandis que Satan l'a réalisé en 5 jours. Physiquement parlant, comment qualifier Dieu par rapport à Satan :</p> <p>1. Dieu est plus fort que Satan <input type="checkbox"/> 2. Satan est plus puissant que Dieu <input type="checkbox"/></p> <p>3. Dieu a plus de pression que Satan <input type="checkbox"/> 4. Dieu est moins énergique que Satan <input type="checkbox"/></p> <p>5. Dieu est plus dynamique que Satan <input type="checkbox"/></p>
	Sous-total D3 : /2 (%)
	Total D : /6 (%)
	TOTAL GÉNÉRAL SCORES : /30 (%)
	Corrélation ou indice d'équivalence obtenu :
	Indice de discrimination :

Merci pour votre collaboration !

II.5. Posttest d'évaluation des connaissances lors de l'enquête proprement dite auprès des apprenants de 4^e année de Sciences

Méthode : Quantitative

Technique : Enquête (Checklist)

Sujets interrogés : Apprenants 4^e année de Sciences (2024-2025)

Variables à mesurer : Items

Période de soumission : Premier mois de la rentrée scolaire, avant et/ou après le traitement

NOM, POSTNOM et PRENOM :
(Ce nom sera effacé à la fin de l'enquête. Il ne sert qu'à l'identification du répondant lors de la distribution des copies)

I. Adresse aux répondants :

Cher (e) Apprenant (e) en 4^e année de Sciences,

Tout en vous garantissant l'anonymat, nous avons l'amabilité de vous associer à cette étude portant sur la « Validation de "Bazin-R VirtLab" pour la correction des représentations initiales-obstacles en mécanique chez les apprenants de 4^e année de Sciences à Kimpese et à Inkisi » en vous priant de bien vouloir répondre à cette checklist durant 30 minutes minimum. Cette étude a pour but principal de corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles décelées en vous relativement à votre conception primitive sur les notions de mécanique classique grâce au laboratoire virtuel de physique dénommé « Bazin-R VirtLab ». Merci d'avance pour votre collaboration !

II. Informations démographiques préliminaires du répondant :

6. Groupe : GrExp1 GrExp2 GrCtrl1 GrCtrl2
7. Sexe : Masculin Féminin
8. Âge : 10-15ans 16-20ans 21-25ans 26 ans-plus
9. Ancienneté à l'école: Moins d'1an 1an déjà 2 ans déjà 3 ans et/ou +
10. Milieu d'habitation : Kimpese Inkisi
(Préciser le Quartier) :

III. Questions :

Consignes : Cocher ou hachurer une seule bonne réponse.

Exemple :

N°	Libellé des indicateurs de performance de la manipulation
	Lors d'une expérimentation, entre le laboratoire réel et celui virtuel de physique, lequel donne des résultats plus précis ? 1. Laboratoire réel de physique <input type="checkbox"/> 2. Laboratoire virtuel de physique <input checked="" type="checkbox"/>

	<i>Objectif de l'expérience 3 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur la chute libre d'un corps.</i>
17	<p>Trouver la bonne proposition de réponse sur la chute libre :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.En négligeant la résistance de l'air, un objet plus lourd et celui moins lourd, lâchés au même moment, tombent au sol à la même vitesse <input type="checkbox"/> 2. \vec{g} est appelée pesanteur ou gravité <input type="checkbox"/> 3.Bien qu'elle puisse varier en fonction de la masse de l'objet mis en exergue, \vec{g} reste constante dans n'importe quel milieu <input type="checkbox"/> 4. Un corps sans masse peut aussi tomber en chute libre <input type="checkbox"/> 5.L'accélération d'un objet qui tombe en chute libre ne dépend uniquement que de la masse de ce corps ; la force gravitationnelle lui appliquée par la Terre n'influe en rien <input type="checkbox"/>
18	<p>Trouver la bonne proposition de réponse sur la gravité :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.La gravité est une déformation de la force sous l'effet d'une accélération et non une déformation de la géométrie de l'espace, pendant un temps t, sous l'influence de la masse de ce corps <input type="checkbox"/> 2.La gravité existe et agit même dans le vide, un corps possédant une masse peut y tomber <input type="checkbox"/> 3.La gravité n'agit que sur les corps possédant une masse mais en mouvement <input type="checkbox"/> 4.Graviter une montagne = Tourner autour d'une montagne comme le fait la Terre autour du Soleil <input type="checkbox"/> 5.Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
	Sous-total B3 : /2 (%)
	Total B : /15 (%)
C	Dynamique
	<i>Objectif de l'expérience 4 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur les principes de la dynamique : Inertie.</i>
19	<p>Trouver la mauvaise proposition de réponse sur l'inertie :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.L'inertie d'un corps n'est postulée que lorsque ce dernier est au repos uniquement <input type="checkbox"/> 2.Seule une force externe peut briser l'inertie <input type="checkbox"/> 3.En négligeant les frottements, le principe d'inertie postule qu'un objet peut demeurer en MRU même si aucune force n'est appliquée continuellement <input type="checkbox"/> 4.Un corps est en équilibre au repos ou en mouvement avec une vitesse constante dans une direction donnée <input type="checkbox"/> 5.Deux forces, de même intensité ou d'intensités différentes, peuvent être en équilibre en ajustant leur centre de gravité <input type="checkbox"/> 6.Un objet en mouvement voit son mouvement être ralenti car la force de départ s'oppose à une autre force contraire qui la consomme progressivement <input type="checkbox"/>
	Sous-total C1 : /1 (%)
	<i>Objectif de l'expérience 5 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur les principes de la dynamique : Force constante.</i>

20	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tout objet en mouvement possède sa propre force <input type="checkbox"/> 2. La force est une grandeur intrinsèque d'un objet c'est-à-dire une propriété fondamentale mesurée indépendamment des autres objets <input type="checkbox"/> 3. La force est une grandeur d'état ou une quantité vectorielle qui se conserve et qui ne peut se transférer <input type="checkbox"/> 4. La force est en équilibre lorsqu'elle produit un mouvement <input type="checkbox"/> 5. En mécanique, il faut plus de force pour déplacer ou accélérer un objet plus lourd que pour le faire avec un objet léger <input type="checkbox"/> 6. Un objet qui se déplace rapidement est nécessairement plus fort que celui qui se déplace lentement : la force est donc proportionnelle à la vitesse ! <input type="checkbox"/>
	<p>Sous-total C2 : /1 (%)</p>
	<p><i>Objectif de l'expérience 6 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur les principes de la dynamique : Action et réaction.</i></p>
21	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. « À toute action correspond une réaction d'intensités différentes mais de même sens » <input type="checkbox"/> 2. L'action et la réaction sont deux forces égales mais opposées qui agissent toujours sur un même et seul objet <input type="checkbox"/> 3. L'action et la réaction sont deux forces égales mais opposées qui agissent toujours sur des objets différents : l'action agit sur l'objet poussé ou tiré tandis que la réaction agit sur le pousseur ou le tireur <input type="checkbox"/> 4. Dans une lutte entre deux personnes, sûrement le plus fort exercera une force plus grande que le moins fort et l'emportera <input type="checkbox"/> 5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
	<p>Sous-total C3 : /1 (%)</p>
	<p><i>Objectif de l'expérience 7 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur la détermination du poids d'un corps.</i></p>
22	<p>Quel est votre avis à propos des termes « Lois » et « Principes » de Newton en mécanique ?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ils signifient la même chose <input type="checkbox"/> 2. Ils sont différents car l'idée de départ de Newton (principe) est donc devenue une loi (explicative de la physique à travers sa description concise et mathématique) <input type="checkbox"/> 3. Ils sont contradictoires et opposés <input type="checkbox"/> 4. Ils sont identiques et polysémiques <input type="checkbox"/> 5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
23	<p>Comment définissez-vous strictement la dynamique ?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. L'étude de la persévérance d'un corps <input type="checkbox"/> 2. L'étude des corps en mouvement causé par une éventuelle force <input type="checkbox"/> 3. L'étude des corps en mouvement <input type="checkbox"/> 4. L'étude de l'énergie d'un corps <input type="checkbox"/> 5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/>
24	<p>Trouver la mauvaise proposition de réponse :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La masse seule d'un corps ne suffit pas pour déterminer la force à exercer par un objet. Il faut l'associer à une certaine accélération <input type="checkbox"/> 2. Lors d'un mouvement, la masse ne s'oppose jamais au mouvement <input type="checkbox"/>

	<p>3. Nathan a acheté un poulet P12. C'est strictement sa masse <input type="checkbox"/></p> <p>4. Le poids et la masse sont deux grandeurs physiquement différentes car le poids est une grandeur vectorielle tandis que la masse est une grandeur scalaire <input type="checkbox"/></p> <p>5. Un poulet P10 (en kgf) équivaut à un poulet de 1kg car $m = \frac{10N}{9,81N/kg}$ <input type="checkbox"/></p>
	<p>Sous-total C1 : /3 (%)</p>
	<p>Total C : /6 (%)</p>
D	Énergie mécanique
	<p><i>Objectif de l'expérience 8 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur les énergies cinétique et potentielle d'un corps.</i></p>
25	<p>Comment définissez-vous strictement l'énergie en mécanique ?</p> <p>1. Une substance qui se transmet d'un corps vers un autre pour produire le mouvement <input type="checkbox"/></p> <p>2. Une propriété des objets en mouvement ou en interaction sinon une grandeur qui représente la capacité d'un système à fournir un effort et se transmet plutôt d'un système à un autre sous différentes formes <input type="checkbox"/></p> <p>3. Une propriété qu'affectent les êtres vivants vers les objets inertes <input type="checkbox"/></p> <p>4. Une force produite par un système pour déplacer ou modifier l'inertie des corps <input type="checkbox"/></p> <p>5. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/></p>
26	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p> <p>1. Lors d'une interaction, l'énergie mécanique ne se conserve pas <input type="checkbox"/></p> <p>2. Lors d'une interaction, l'énergie mécanique se conserve en se transformant en une autre forme ($E_c = E_p$) c'est-à-dire elle ne peut être ni créée ni détruite <input type="checkbox"/></p> <p>3. Même si vous êtes capable de parler fort, le fait d'être incapable de soulever une charge signifie que vous manquez totalement d'énergie <input type="checkbox"/></p> <p>4. L'énergie seule suffit pour soulever une charge, la force et les appuis ne comptent nullement <input type="checkbox"/></p> <p>5. Dans la vie, on ne peut pas économiser à la fois l'énergie et l'argent <input type="checkbox"/></p> <p>6. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/></p>
	<p>Sous-total D1 : /2 (%)</p>
	<p><i>Objectif de l'expérience 9 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur le travail mécanique d'un corps en mouvement.</i></p>
27	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p> <p>1. En ce XXIème siècle, il y a travail mécanique lorsqu'il y a transfert de l'énergie d'un système vers un autre afin de produire un effet (déplacement, rotation, arrêt, etc.) sous l'influence d'une force <input type="checkbox"/></p> <p>2. Lorsqu'il n'y a pas de résistance au déplacement d'un point d'application, il n'y a pas de frottements ($F=0$), il n'y a donc <i>présence</i> d'un travail de pesanteur <input type="checkbox"/></p> <p>3. Le travail n'est accompli que lorsqu'un objet est déplacé dans la direction de la force appliquée <input type="checkbox"/></p> <p>4. Le travail est toujours directement proportionnel à la distance parcourue par un objet <input type="checkbox"/></p> <p>5. Le travail est une puissance manifestée par un moteur pour déplacer un objet <input type="checkbox"/></p>

28	<p>Trouver la bonne proposition de réponse :</p> <p>1. Si un objet parcourt une grande distance, même si la force appliquée est faible, il aura accompli un grand travail : le travail est toujours directement proportionnel à la distance parcourue par un objet <input type="checkbox"/></p> <p>2. Le travail dépend de la force appliquée sur cet objet et de l'effet ainsi produit (déplacement, arrêt, rotation...) de cet objet dans une direction donnée <input type="checkbox"/></p> <p>3. Même si un objet parcourt une grande distance et que la force lui appliquée est faible, il aura toujours accompli un travail très grand <input type="checkbox"/></p> <p>4. Si la force est appliquée dans une direction perpendiculaire au déplacement, il y aura toujours présence d'un grand travail mécanique <input type="checkbox"/></p> <p>5. Travailler = Utilisation de la force jusqu'à son épuisement total <input type="checkbox"/></p> <p>6. Aucune bonne réponse <input type="checkbox"/></p>
	Sous-total D2 : /2 (%)
	<i>Objectif de l'expérience 10 : Évaluer le niveau d'acquisition des connaissances de l'apprenant afin de déceler et corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles sur la puissance mécanique d'un corps en mouvement.</i>
29	<p>Trouver la mauvaise proposition de définition de la puissance mécanique :</p> <p>1. Une capacité à plus déformer totalement, à plus briser l'autre ou quelque chose complètement <input type="checkbox"/></p> <p>2. Une capacité de plus de dépense ou de transfert ou de conversion d'énergie par unité de temps <input type="checkbox"/></p> <p>3. Une mesure de la vitesse à laquelle le travail est effectué ou de la quantité d'énergie transférée ou convertie par unité de temps <input type="checkbox"/></p> <p>4. Une expression de la capacité d'accomplir rapidement une tâche, un travail <input type="checkbox"/></p> <p>5. $P = \frac{W}{t}$ <input type="checkbox"/></p>
30	<p>Soit la phrase suivante : « Satan prétend créer l'Univers en 5 jours et pourtant Dieu l'a fait en 7 jours. Physiquement parlant, comment qualifier Satan par rapport à Dieu ?</p> <p>1. Dieu est plus fort que Satan <input type="checkbox"/> 2. Satan est plus puissant que Dieu <input type="checkbox"/></p> <p>3. Dieu a plus de pression que Satan <input type="checkbox"/> 4. Dieu est moins énergétique que Satan <input type="checkbox"/></p> <p>5. Dieu est plus dynamique que Satan <input type="checkbox"/></p>
	Sous-total D3 : /2 (%)
	Total D : /6 (%)
	TOTAL GÉNÉRAL SCORES : /30 (%)
	Corrélation ou indice d'équivalence obtenu :
	Indice de discrimination :

Merci pour votre collaboration !

II.6. Modèle de canevas du rapport d'autorégulation des enseignants des groupes expérimentaux

Méthode : Qualitative

Technique : Enquête

Sujets interrogés : Enseignants de physique des groupes expérimentaux (2024-2025)

Variables à mesurer : Items

Objectif : Recueillir les données d'expérimentation du laboratoire virtuel de physique « Bazin-R » après son utilisation lors du traitement.

Période de soumission : Après utilisation du laboratoire virtuel de physique Bazin-R VirtLab

I. Adresse aux répondants :

Cher enseignant, après exploitation des fiches de traitement ou d'enseignement sur les dix leçons de mécanique en classe de 4^e année de Sciences avec utilisation du laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab", accepteriez-vous de remplir les rubriques du rapport ci-dessous afin de nous permettre d'avoir une idée de son déroulement. Merci d'avance !

II. Informations démographiques préliminaires du répondant :

École : Institut Kilombo Institut Manzonzi

Milieu d'habitation : Inkisi Kimpese

Sexe : Masculin Féminin

Âge : 19-25ans 26-32ans 33-39ans 40ans-plus

Niveau d'études : D6/A2 G3 /A1 L2 /A0 Autre

Ancienneté dans l'enseignement de la physique en 4^{ème} scientifique :
Moins d'1an 1-5ans 2 6-10ans + de 10 ans

III. Rubriques :

1. Présence et exploitation des matériels et/ou supports didactiques

A. Quels sont les matériels et/ou supports didactiques réellement utilisés lors du traitement ?

Ordinateur Téléphone portable Rétroprojecteur

Écran de projection Protocoles ou fiches d'exploitation des leçons

Matériel physique adapté à chaque savoir à transmettre

B. Quelle a été la fréquence d'exploitation des matériels et supports didactiques :

Toujours Très souvent Souvent Rarement Jamais

2. Déroulement du processus enseignement-apprentissage

Sur une échelle de 1 (Très faible) à 5 (Très élevé), quelle note attribuez-vous globalement à l'utilisation de Bazin-R VirtLab lors des activités ci-après :

N°	Activités	1	2	3	4	5
	<i>Activités initiales</i>					
1	Rappel des prérequis					
2	Motivation et exploitation de "Bazin-R VirtLab"					
3	Présentation					
4	Fonctionnement					
5	Exploitation					
6	Évaluation de la performance					
7	Adéquation "Bazin-R VirtLab" et situation d'apprentissage					
8	Impact des travaux en groupe					
9	Impact sur la construction des savoirs					
10	Intérêt des apprenants					
11	Timing global					
	<i>Sous-total activités initiales</i>					
	<i>Activités principales</i>					
12	Définition des mots-clés					
13	Explication et interprétation des concepts et des formules de base					
	<i>Sous-total activités principales</i>					
	<i>Activités de fixation</i>					
14	Vérification et évaluation des savoirs des apprenants					
15	Vérification et évaluation des compétences de base développées par les apprenants					
16	Ajustement des concepts de base auprès des apprenants					
17	Évaluation des attitudes et du comportement des apprenants					
18	Influence de l'effet Hawthorne sur le processus E/A par la présence de Bazin-R VirtLab					
	<i>Sous-total activités de fixation</i>					
	<i>Total général</i>					

3. Difficultés rencontrées

Quelles sont les principales difficultés rencontrées :

A. À propos du fonctionnement et de l'exploitation de "Bazin-R VirtLab" ?

.....
.....
.....
.....

B. À propos du processus E/A en général ?

.....
.....
.....
.....

II.7. Modèle de la grille d'évaluation d'un candidat à l'EPP à l'EE

Groupes expérimentaux	: Exp1 <input type="checkbox"/>	Exp2 <input type="checkbox"/>
Nom du candidat	:	
Numéro candidat	:	
Sexe	: F <input type="checkbox"/>	G <input type="checkbox"/>
Thème choisi ou expérience	:	
	:	

I. Maîtrise Technique du Simulateur (15 pts)

Critères	Points	Indicateurs
1.1 Démarrage et configuration	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Aucune erreur, immédiat • 4=Retard mineur sans aide • 3=1 aide nécessaire • 2=Plusieurs tentatives • 1=Échec malgré assistance
1.2 Navigation et sélection du thème	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Autonomie totale, rapidité • 4=Hésitations minimales • 3=2-3 clics superflus • 2=Navigation confuse • 1=Bloqué sans aide
1.3 Utilisation des outils	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Maîtrise de tous les outils • 4=Oubli d'1 fonction • 3=Utilisation partielle • 2=Erreurs fréquentes • 1=Aucune utilisation

Sous-total I :

/15

II. Détection des RIO et Conceptualisation (10 pts)

Critères	Points	Indicateurs
2.1 Présence des RIO dans les réponses	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Totalement absentes • 4=Présentes en très petit nombre • 3=Présentes en nombre moyen • 2=Présentes en grand nombre • 1=Totalement présentes
2.2 Formulation des hypothèses/concepts initiaux en fonction du thème choisi	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Claire + lien théorique • 4=Hypothèse plausible mais floue • 3=Approximation • 2=Logique faible • 1=Absence de sens

Sous-total II :

/10

III. Expérimentation et Analyse Scientifique (40 pts)

Critères	Points	Indicateurs
3.1 Paramétrage de l'expérience lors du lancement	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Optimal • 4=Sous-optimal mais fonctionnel • 3=1-2 erreurs non critiques • 2=Paramètres inadaptés • 1=Expérience impossible
3.2 Identification des matériels	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Liste exhaustive • 4=1 oubli mineur • 3=2-3 omissions

		<ul style="list-style-type: none"> • 2=Erreurs majeures • 1=Liste fausse
3.3 Précision sur l'objet étudié	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Terminologie exacte • 4=Quasi-exacte • 3=Approximation • 2=Terme générique • 1=Confusion
3.4 Rôle des opérateurs	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Fonctions expliquées avec précision • 4=Description complète mais simplifiée • 3=Rôles partiellement identifiés • 2=Confusion partielle • 1=Omissions graves
3.5 Analyse des produits/résultats	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Données quantitatives/qualitatives exactes • 4=Interprétation correcte mais incomplète • 3=Analyse superficielle • 2=Contresens partiel • 1=Incohérence totale
3.6 Formulation de la loi/phénomène	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Formule exacte + unités • 4=Formule correcte mais unités manquantes • 3=Formule simplifiée • 2=Équation partiellement fausse • 1=Fausse équation
3.7 Réponses aux items post-expérience	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Cohérence totale • 4=1-2 incohérences mineures • 3=Réponses approximatives • 2=Inadéquation partielle • 1=Incohérence globale
3.8 Critique des RIO initiaux	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Auto-évaluation documentée et critique • 4=Comparaison détaillée mais peu approfondie • 3=Remise en question superficielle • 2=Comparaison absente ou très faible • 1=Aucune réflexion

Sous-total III :

/40

IV. Synthèse et Amélioration : Autocorrection (20 pts)

Critères	Points	Indicateurs
4.1 Comparaison RIO avant/après : évolution des concepts	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Tableau comparatif détaillé + analyse • 4=Comparaison structurée mais peu approfondie • 3=Liste simple sans analyse • 2=Comparaison fragmentaire • 1=Absence
4.2 Argumentation scientifique et Acceptation des faits	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Preuves + références théoriques • 4=Arguments solides mais peu étayés • 3=Raisonnement basique • 2=Affirmations sans preuve • 1=Non scientifique
4.3 Propositions d'amélioration : Originalité et faisabilité	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Innovant + applicable • 4=Pertinent mais générique • 3=Proposition basique • 2=Peu clair • 1=Aucune idée
4.4 Fermeture du logiciel	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Sauvegarde + journal propre • 4=Fermeture correcte sans sauvegarde • 3=Oubli de 1 étape

		<ul style="list-style-type: none"> • 2=Fermeture brutale • 1=Crash
--	--	--

Sous-total IV :

/20

V. Compétences Expérimentales et Méthodologie (15 pts)

Critères	Points	Indicateurs
5.1 Respect du protocole scientifique et du temps imparti	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Séquence rigoureuse, variables contrôlées et respect strict du temps • 4=1 écart mineur au protocole et respect quasi-strict du temps • 3=2-3 oublis (ex : répétitions manquantes) et respect partiel du temps • 2=Protocole partiellement suivi et mauvaise gestion du temps • 1=Non-respect total des étapes clés et du temps
5.2 Adaptation aux imprévus	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Résolution proactive (ex : recalibrage, ajustement des paramètres) • 4=Correction efficace après aide minime • 3=Réactions lentes mais adaptées • 2=Dépendance à l'assistance pour résoudre • 1=Bloqué face aux imprévus
5.3 Communication scientifique	/5	<ul style="list-style-type: none"> • 5=Compte-rendu clair (schémas, données organisées, vocabulaire précis) • 4=Structure logique mais termes approximatifs • 3=Informations présentes mais dispersées • 2=Compte-rendu illisible ou incomplet • 1=Absence de trace écrite

Sous-total V :

/15

Total Général : /100

Note finale : /20

Commentaires :

- Points forts :

.....

.....

.....

.....

.....

- Axes d'amélioration :

.....

.....

.....

.....

.....

Noms de l'Évaluateur :

Date et Signature : Fait àLe//

II.8. Test d'évaluation d'opinions des apprenants de 4^e année de Sciences après utilisation de "Bazin-R VirtLab"

Méthode : Qualitative

Technique : Enquête (Checklist)

Sujets interrogés : Apprenants 4^e année de Sciences (2024-2025) ayant bénéficié du traitement

Variables à mesurer : Items

Objectif : Évaluer la performance du laboratoire virtuel de physique « Bazin-R VirtLab » après son utilisation lors du traitement.

Période de soumission : Après soumission du posttest

NOM, POSTNOM et PRENOM :

(Ce nom sera effacé à la fin de l'enquête. Il ne sert qu'à l'identification du répondant lors de la distribution des copies)

I. Adresse aux répondants :

Cher (e) Répondant (e),

Tout en vous garantissant l'anonymat, nous avons l'amabilité de vous associer à cette étude portant sur la « Validation de "Bazin-R VirtLab" pour la correction des représentations initiales-obstacles en mécanique chez les apprenants de 4^e année de Sciences à Kimpese et à Inkisi » en vous priant de bien vouloir répondre à cette checklist durant 30 minutes minimum. Cette étude a pour but principal de corriger les éventuelles représentations initiales-obstacles décelées en vous relativement à votre conception primitive sur les notions de mécanique classique grâce au laboratoire virtuel de physique dénommé « Bazin-R VirtLab ». Merci d'avance pour votre collaboration !

II. Informations démographiques préliminaires du répondant :

1. Groupe : GrExp1 GrExp2 GrCtrl1 GrCtrl2
2. Sexe : Masculin Féminin
3. Âge : 10-15ans 16-20ans 21-25ans 26 ans-plus
4. Ancienneté à l'école: Moins d'1an 1an déjà 2 ans déjà 3 ans et/ou +
5. Milieu d'habitation : Kimpese Inkisi
(Préciser le Quartier) :

III. Question : Cochez par un signe de croix (x) la case de votre choix, étant entendu que :

1 signifie que je **ne suis pas d'accord**

2 signifie que je suis **partiellement d'accord**

3 signifie que je suis **neutre**

4 signifie que je suis **d'accord**

5 signifie que je suis **très d'accord**

Exemple :

N°	Libellé des indicateurs de performance de la manipulation	1	2	3	4	5
	Les résultats issus d'une expérimentation avec le laboratoire réel sont plus performants que ceux issus du laboratoire virtuel "Bazin-R VirtLab"			x		

N°	Libellé des indicateurs de performance de la manipulation	1	2	3	4	5
A	<i>Compréhension de quelques concepts de base de la mécanique</i>					
1	Le laboratoire virtuel de physique dénommé "Bazin-R VirtLab" a amélioré, valorisé et facilité efficacement l'apprentissage et la compréhension des notions vues en mécanique.					
2	Le laboratoire virtuel de physique dénommé "Bazin-R VirtLab" a rendu plus clair, plus simple, plus stimulant et plus interactif l'apprentissage de notions étudiées en mécanique.					
3	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a développé notre esprit d'initiative en mécanique et a permis une nette appropriation/intégration de ses connaissances.					
4	Le laboratoire virtuel de physique dénommé "Bazin-R VirtLab" nous a plongé dans un climat de confiance personnelle et de sérénité dans la classe.					
5	La démarche utilisée en apprenant avec le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a augmenté notre part d'induction par la visualisation pour une bonne rétention.					
6	Le laboratoire virtuel de physique dénommé "Bazin-R VirtLab" a permis d'être plus motivé à apprendre les phénomènes de la mécanique lors de son exploitation.					
7	Le laboratoire virtuel de physique dénommé "Bazin-R VirtLab" vous a rendu plus innovant et plus créatif par la découverte de nouvelles conceptions.					
8	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" permis de mieux visualiser les images par observation et à mieux clarifier les concepts « abstraits » présentés verbalement avant.					
9	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a permis la réduction des éléments non pertinents ou redondants.					
10	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a permis l'interaction entre les différents savoirs essentiels enseignés.					
11	Le laboratoire virtuel de physique dénommé "Bazin-R VirtLab" a favorisé le travail en équipe.					
B	<i>Sécurité, coût et performance informatiques</i>					
12	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" sécurise les utilisateurs, évite les accidents physiques et coûte sûrement moins cher que le laboratoire réel de physique.					
13	Le laboratoire virtuel "Bazin-R VirtLab" permet de bien distinguer les matériels afin de les rapprocher de la réalité physique de par sa présentation en 3D.					
14	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" ne peut se substituer à la réalité ; elle la modifie en la limitant mais, il l'a enrichi et il l'a rendu plus visuelle.					
15	Le laboratoire virtuel "Bazin-R VirtLab" est praticable et fluide lors de sa manipulation.					
16	Le laboratoire virtuel "Bazin-R VirtLab" réagit en temps réel après chaque clic.					
17	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a permis de répéter autant de fois possible une expérimentation pour plus de compréhension.					
18	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" permet de varier certains résultats à travers la modification des paramètres physiques.					

19	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" souffre d'un excès de fidélité et manque d'imprévus dans son utilisation.					
20	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" donne des résultats non dynamiques et figés même après multiples répétitions.					
21	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" limite notre capacité de traitement simultané de l'information auditive et visuelle.					
22	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" est donc très performant en termes de présentation, du temps de réaction, de vitesse d'exécution et de changement des paramètres.					
C	<i>Évaluation des méthodes et procédés utilisés</i>					
23	La méthode d'enseignement utilisée avec ce laboratoire virtuel de physique dénommé "Bazin-R VirtLab" a été très performante.					
24	Le laboratoire virtuel de physique dénommé "Bazin-R VirtLab" a amélioré la qualité des explications de l'enseignant de physique-mécanique.					
25	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" nous a poussé à mieux construire les connaissances apprises/découvertes par l'autonomie et l'expérimentation.					
26	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a mis plus d'importance sur notre environnement social et notre culture lors de l'apprentissage.					
27	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a favorisé l'apprentissage du vivre ensemble et a contribué au développement des compétences par interaction sociale et par contamination d'attitudes entre nous qui vivons suivant une même réalité afin de répondre aux questions de la mécanique et à proposer collectivement des solutions.					
28	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a permis de construire un environnement d'apprentissage interactif entre lui et son utilisateur.					
D	<i>Correction des RIO par l'utilisation de "Bazin-R VirtLab" et recommandations</i>					
29	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a fait « évoluer » nos conceptions naïves vers des conceptions plus scientifiques et objectives.					
30	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" a corrigé et a éloigné efficacement nos « fausses » pensées antérieures.					
31	Certains aspects spécifiques liés à la présentation, au fonctionnement et à utilisation du laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" doivent être améliorés pour mieux l'utiliser et mieux soutenir l'apprentissage de la mécanique.					
32	Le laboratoire virtuel de physique "Bazin-R VirtLab" devra être généralisée pour toute la mécanique et pour toute l'étude de la physique.					

Merci pour votre collaboration !

II.9. Questionnaire d'enquête sur la justification du choix et du classement de Bazin-R VirtLab

Méthode : *Quantitative.* Technique : *Enquête.* Sujets interrogés : *Enseignants de physique en 4^e année de Sciences.*

Variables à mesurer : *Items.* Période de soumission : *En pleine année scolaire après essais des laboratoires virtuels sous étude*

A. Adresse aux répondants :

Cher (e) Enseignant (e) de physique en **4^e année de Sciences**,

Tout en vous garantissant l'anonymat, nous avons l'amabilité de vous associer à cette étude portant sur le « *choix et le classement des laboratoires virtuels de physique fonctionnant Offline par les enseignants de physique d'Inkisi et de Kimpese* » en vous priant de bien vouloir répondre aux questions posées en tenant compte des recommandations formulées. Merci d'avance pour votre collaboration !

B. Informations sociodémographiques du répondant :

1. Sexe : Masculin Féminin
2. Âge : 15-20ans 21-26ans 27-32ans 33ans-plus
3. Niveau d'études : D6/A2 G3 /A1 L2 /A0 Autre
4. Option d'études faites Physique Chimie Techniques appliquées Autre
5. Ancienneté dans l'enseignement de ce cours : Moins d'1an 1-5ans 6-10ans + de 10 ans
6. Milieu d'habitation : Kisantu Kimpese

C. Groupe-question 1 (Analyse conjointe) : Sur une échelle allant de 0 à 10, attribuez une note à chacune des combinaisons suivantes.

Chacune de ces combinaisons représente un laboratoire virtuel fictif de physique pour enseigner en 4^e Sciences en RDC :

Profil	Conformité au programme de physique de la RDC	Construction des savoirs	Correction des RIO (Représentations initiales-obstacles)	Utilisation	Note sur 10
1	Conforme	Partiellement	Aucune	Très facile	
2	Conforme	Aucunement	Totale	Facile	
3	Non conforme	Efficacement	Aucune	Facile	
4	Non conforme	Aucunement	Partielle	Très facile	
5	Non conforme	Partiellement	Totale	Difficile	
6	Conforme	Aucunement	Aucune	Difficile	
7	Conforme	Efficacement	Totale	Très facile	
8	Conforme	Efficacement	Partielle	Difficile	
9	Conforme	Partiellement	Partielle	Facile	

D. Groupe-question 2 (Méthode AHP) : Attribuez une note sur 10 à chacune des alternatives suivantes (laboratoires virtuels de physique) sur chacun des critères retenus à travers l'analyse conjointe ci-dessus :

Laboratoires virtuels de physique	Conformité au programme de physique de la RDC	Construction des savoirs	Correction des RIO (Représentations initiales-obstacles)	Utilisation
Algodoo				
Bazin-R VirtLab				
LVP				
Physic virtual lab APK				
Physion				
Virtual lab				

(Bazangika *et al.*, 2025)

III. MODÈLE DE LA FICHE DE PRÉPARATION POUR L'ENSEIGNEMENT DE MÉCANIQUE SOUS L'APPROCHE THÉORIQUE SOCIOGÉNÉTIQUE-CONSTRUCTIVISTE

Fiche n°111		"BRVL
Catégorie / thème 1 : Mécanique		
Sous-catégorie / Sous-thème 1 : Cinématique		
Sujet du savoir essentiel de l'expérience 1 : <i>Éléments de base de la cinématique</i>		
But classique : <i>Différencier les concepts de base de la cinématique dans la vie courante.</i>		
Support didactique utilisé : BRVL		
Références bibliographiques : - MEPST. (2021). <i>Programme Éducatif du Domaine d'Apprentissage des Sciences. Classe de 4^e année des sciences. Sciences Physiques et Technologies de l'Information et de la Communication.</i> Secrétariat Général. Direction des Programmes Scolaires et Matériel Didactique. 1 ^{ère} édition. Kinshasa. - Gibaud, A. & Henry, M. (2007). <i>Cours de physique : Mécanique du point.</i> 2 ^{ème} édition. 1 ^{ère} et 2 ^{ème} licence. Paris : Dunod. pp. 12-13.		
Compétences à développer : Après avoir réalisé l'ensemble des activités proposées par BRVL, l'apprenant sera capable de traiter, avec succès et de manière acceptable, toute situation relative au sujet du jour en étant apte à : - Différencier le mouvement de translation au mouvement de rotation ; - Différencier la vitesse instantanée à la vitesse moyenne ; - Corriger les représentations initiales-obstacles relatives à la notion sous-étude.		
Concepts de base à étudier : Cinématique, position, référentiel, repère, repos, mouvement, mobile, trajectoire, temps, durée, équation horaire, vitesse moyenne, vitesse instantanée, accélération moyenne, accélération instantanée.		
Durée	Activités de l'enseignant	Activités de l'apprenant (attitudes)
20'	Phase 1 : Activités initiales : Re-détection et/ou confrontation des RIO	
	A. Rappel des prérequis : Notions introductives de la physique <ul style="list-style-type: none"> • <i>Interrogative, active et participative</i> • <i>Induction et ressouvenance</i> 1) Poser des questions de révision (Brainstorming) : <ul style="list-style-type: none"> - Quel est l'objet de la physique ? - Citer intuitivement les termes liés au mouvement d'un objet et classer-les dans un tableau selon l'ordre d'importance ? - Classer les domaines d'études de la physique dans un tableau ? - Quel est l'objet de la mécanique ? - Un train met 1 heure 30 minutes Kimpese-Inkisi (100 km). Sa vitesse est-elle toujours 	1) Répondre aux questions, émettre des hypothèses, observer, relever des données et décrire la trajectoire

	<p>constante ? Comment procéder pour vérifier ?</p> <p>B. Motivation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Expo-interrogative, participative et découverte</i> • <i>Illustration et enseignement par équipe</i> <p>2) Démarrer BRVL</p> <p>3) Mettre les apprenants en groupes hétérogènes d'analyse en choisissant un médiateur dans chacun des groupes</p> <p>4) Lancer l'expérience en la commentant comme une situation d'apprentissage visuelle : <i>Trois boules de couleurs différentes (bleue, verte et rouge) sont situées en un point de départ défini d'une surface plane. Après les avoir lancées en mouvement au même moment selon le chronomètre déclenché, elles se déplacent de leur origine jusqu'à atteindre, suivant la même vitesse, le point d'arrivée en laissant des traces sur la surface plane. À l'arrivée de la boule rouge, le chronomètre s'arrête en la proclamant comme la première. Comment expliquer que la boule rouge soit arrivée avant les autres et pourtant elles ont toutes quitté le même point à la même vitesse ? Comment dénomme-t-on les traces laissées sur la surface plane ?</i></p> <p><i>Par investigation guidée,</i></p> <p>5) Demander à chaque médiateur de manipuler ou d'expérimenter</p> <p>6) Donner des tâches et poser des questions de détection des RIO aux apprenants et identifier les RIO en circulant.</p> <p style="text-align: center;"><i>Tâches :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Relier les concepts (position, trajectoire, distance parcourue) aux données de BRVL. - Calculer les vitesses moyennes de chaque boule et identifier les éventuelles variations. 	<p>2) Observer la présentation BRVL</p> <p>3) Se remémorer l'esprit et induire le raisonnement</p> <p>4) Observer le fonctionnement de BRVL et analyser la situation d'apprentissage en dégagant :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ l'objet de la situation : Concepts de base de la cinématique ▪ l'orchestrateur dans la situation : Utilisateur de BRVL ▪ les opérateurs dans la situation : BRVL : sphères, chronomètre, origine. ▪ le produit de la situation : Observation et différenciation des concepts de la cinématique. <p>Observer leurs trajectoires et répondre sur les éventuels paramètres expliquant chaque boule.</p> <p>5) Se choisir un médiateur et réexpérimenter ou manipuler de nouveau</p> <p>6) Répondre individuellement aux items proposés puis en groupe (Je pense que .../ Car.../Je vérifie par ...)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compléter une carte mentale vierge. - Compléter un tableau avec formules pré-encodées.
--	--	--

	<p>- Filmer le mouvement d'un objet réel au choix avec votre téléphone et le comparer aux objets de BRVL</p> <p>7) Demander à chaque groupe d'harmoniser leurs points de vues et leurs réponses par rapport aux items proposés en précisant les critères d'analyse suivants : a) la nature des RIO ; b) ce qu'elles expliquent ; c) ce qu'elles empêchent de comprendre ; d) ce qu'il faut construire ; e) les pièges évités ; f) le progrès à accomplir</p> <p>8) Demander tour à tour à chaque médiateur d'exposer leurs avis et réponses en rapport avec les items proposés</p> <p>9) Provoquer un conflit sociocognitif par une discussion générale de tous les groupes et jouer à la médiation : la déconstruction des connaissances</p> <p>10) Noter les éléments de réponses de chaque groupe sur la partie gauche du tableau en vue d'une harmonisation ou une co-construction des connaissances et la correction des RIO</p> <p>C. Annonce du sujet et des compétences :</p> <p>11) Annoncer le sujet du jour et les compétences à développer chez les apprenants</p> <p>12) Parapher les journaux de classe des apprenants</p>	<p>- Remplir la grille d'analyse de comparaison</p> <p>7) Harmoniser à l'intérieur de chaque groupe les points de vues</p> <p>8) Exposer les avis ou réponses</p> <p>9) Constater, échanger, discuter et harmoniser globalement les points de vues inter-groupes</p> <p>10) Accepter ses propres RI et co-construire les connaissances</p> <p>11) Noter le sujet du jour dans le cahier de notes</p> <p>12) Noter le sujet du jour dans le journal de classe</p>										
10'	<p>Phase 2 : Activités principales : Correction des RIO et Co-construction des « nouvelles » connaissances : Modélisation scientifique classique et Analogie/métaphore</p>											
	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Expo-interrogative, magistrale interactive et active-participative</i> • <i>Illustration et synthèse partielle</i> <p>13) Dresser le tableau de spécification des actions de la situation et leurs contenus (objet, orchestrateur, opérateurs et produit).</p>	<p>13) Identifier, vérifier, opérer et traiter les actions contenues dans la situation d'apprentissage en utilisant la table de spécification.</p> <table border="1" data-bbox="981 1809 1393 2007"> <thead> <tr> <th>Actions de l'apprenant</th> <th>Contenus sur lesquels portent les actions de l'apprenant</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Identifier</td> <td>Les différents mobiles</td> </tr> <tr> <td>Observer</td> <td>Le mouvement des mobiles</td> </tr> <tr> <td>Différencier</td> <td>Les concepts en exergue</td> </tr> <tr> <td>Traiter</td> <td>La situation proposée</td> </tr> </tbody> </table>	Actions de l'apprenant	Contenus sur lesquels portent les actions de l'apprenant	Identifier	Les différents mobiles	Observer	Le mouvement des mobiles	Différencier	Les concepts en exergue	Traiter	La situation proposée
Actions de l'apprenant	Contenus sur lesquels portent les actions de l'apprenant											
Identifier	Les différents mobiles											
Observer	Le mouvement des mobiles											
Différencier	Les concepts en exergue											
Traiter	La situation proposée											

	<p>14) Guider les apprenants dans le remplissage du tableau de spécification suivant une analyse mathématique des actions : co-construction des connaissances en convainquant l'apprenant à découvrir ses limites et sa force.</p> <p>15) Expliquer, interpréter, appliquer, analyser, synthétiser et évaluer les concepts de base étudiés.</p> <p>16) Multiplier les exemples similaires.</p>	<p>14) Co-construire les « nouvelles » connaissances : Définir, Expliquer, Interpréter, Énoncer.</p> <p>15) Se remémorer l'esprit et noter les explications.</p> <p>16) Intérioriser, assimiler et adapter les exemples similaires au vécu quotidien.</p>
13'	Phase 3 : Activités de fixation et de validation	
	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Expo-interrogative, magistrale interactive et active-participative</i> • <i>Illustration et synthèse partielle</i> <p>17) Questionner les apprenants à l'oral.</p> <p>18) Synthétiser ou résumer les connaissances produites par les apprenants.</p>	<p>17) Répondre oralement aux questions posées.</p> <p>18) Noter la synthèse ou le résumé des connaissances dans le cahier en découvrant que :</p>
	<ul style="list-style-type: none"> - la cinématique est l'étude du mouvement des corps. - le mobile est tout corps en mouvement. - tout mouvement fait appel à un changement de référentiel (translation ou rotation sinon les deux combinées). - la translation est l'action de faire passer un corps latéralement d'un lieu à un autre. - la rotation est l'action de tourner circulairement autour un point fixe appelé axe. On peut tourner sur place en O et être en mouvement. - la position est un lieu dans un ensemble de coordonnées. - le repère est une donnée originelle d'un point dans un espace donné. - le repos est l'absence du mouvement par rapport à un référentiel spécifique. - le référentiel est un système des coordonnées de référence c'est-à-dire permettant de localiser un point dans un espace. Il peut être cartésien, polaire, sphérique, cylindriques, intrinsèques... Galiléen, Copernicien, Terrestre, Barycentrique... - la trajectoire (chemin décrit par un mobile dans l'espace au fil du temps) est différente de la distance parcourue (intervalle mesurable séparant deux points dans l'espace ou longueur de l'espace à parcourir d'un point à un autre) et même de la position d'un mobile (lieu où il est placé dans l'espace) : Rectiligne, circulaire, curviligne et quelconque. - une trajectoire rectiligne reste la même quelle que soit la pente. - les objets ne se déplacent pas toujours en ligne droite. Ils se déplacent selon la trajectoire empruntée. - la distance parcourue est l'intervalle mesurable séparant deux points dans l'espace ou longueur de l'espace à parcourir d'un point à un autre. - le trajet fait souvent allusion à une certaine distance à parcourir. 	

<ul style="list-style-type: none"> - le temps est un moment précis du déroulement d'un événement. - l'intervalle (l'espace) entre deux temps est appelé durée. - l'équation horaire est une expression algébrique égalitaire et contenant des variables mais dépendant du temps. - la vitesse est l'espace parcouru par unité du temps : $v = \frac{x}{t} \quad (m/s)$ - La vitesse n'est pas à confondre avec la précipitation ni à un excès d'accélération. - la vitesse prélevée à chaque instant t d'un trajet uniforme est instantanée. - la vitesse globale durant tout le trajet est moyenne : $v_m = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$ - la vitesse peut aussi être constante et elle ne signifie pas la précipitation. - la vitesse qui engendre l'accélération lorsqu'elle augmente et la décélération lorsqu'elle diminue. - l'accélération est une variation de la vitesse c'est-à-dire la vitesse parcourue par unité du temps : $a = \frac{v}{t} \quad (m.s^{-2}) \quad \text{et} \quad a_m = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$ 	
<p>19) Comparer les réponses des items (avant et après expérimentation).</p> <p>20) Guider la discussion</p> <p>21) Fixer les connaissances pour corriger les RIO.</p> <p>22) Situation similaire : <i>Trois voitures télécommandées (jaune, noire et blanche) partent d'un même point sur une piste rectiligne, puis abordent un virage semi-circulaire avant d'atteindre la ligne d'arrivée. Elles sont programmées pour maintenir une vitesse constante identique en norme (affichée sur leur écran : 2 m/s). Le chronomètre, déclenché au départ, s'arrête lorsque la voiture blanche franchit la ligne, la proclamant gagnante. Pourtant, les traces des pneus révèlent des trajectoires différentes : la voiture blanche a serré au plus près le bord intérieur du virage (trace courte et courbure marquée) ; la voiture jaune a pris le virage très largement (trace</i></p>	<p>19) Répondre aux questions posées par l'enseignant et comparer les réponses d'avant et d'après expérimentation.</p> <p>20) Discuter</p> <p>21) Harmoniser les points de vue, intérioriser les « nouvelles » connaissances (RFS) et restituer les connaissances acquises.</p> <p>22) Traitement de la situation similaire conformément aux étapes de la situation précédente :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Distance parcourue</i> : Longueur totale de la trajectoire (scalaire). Ici, la voiture blanche a parcouru une distance plus courte en serrant le virage. • <i>Déplacement</i> : Vecteur reliant la position initiale à la position finale (indépendant de la trajectoire). Les trois voitures ont le même déplacement si

	<p><i>longue et courbure douce) ; la voiture noire a suivi une trajectoire intermédiaire.</i></p> <p><i>Comment expliquer que la voiture blanche ait gagné alors que les trois voitures avaient la même vitesse ? Comment nommer la ligne droite reliant leur point de départ à leur point d'arrivée ? Que peut-on dire des distances parcourues par chaque voiture ?</i></p> <p><i>Les voitures ont-elles vraiment eu la même vitesse tout le long ?</i></p> <p><i>RIO à corriger :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • « Même vitesse implique même temps de parcours ». • « Le gagnant est toujours le plus rapide ». 	<p>elles arrivent au même point final.</p> <p>Sûrement, la voiture blanche a parcouru une distance moindre (trace plus courte), donc moins de temps pour la même vitesse.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bien que la <i>norme</i> de la vitesse (2 m/s) soit identique, la <i>direction</i> change dans le virage (vecteur vitesse tangent à la trajectoire). • La voiture jaune, avec sa trajectoire plus longue, a une vitesse orientée différemment à chaque instant. <p>Oui en norme (2 m/s), mais pas en direction (donc pas en vitesse vectorielle).</p> <p>Faux si les distances diffèrent.</p> <p>Faux ici : c'est la stratégie de trajectoire (distance minimale) qui joue.</p>
2'	Phase 4 : Suivi et évaluation des progrès : Auto-évaluation et métacognition	
	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Interrogative, magistrale interactive</i> • <i>Illustration et ressouvenance</i> <p>23) Présenter/ débriefier les RIO corrigées.</p> <p>24) Évaluer les connaissances scientifiques fixées.</p> <p>25) Dialoguer.</p> <p>26) Quiz flash : cf. BRVL.</p>	<p>23) Réidentifier ses propres RIO et les corriger.</p> <p>24) Réagir face à la prise de connaissance des progrès réalisés : à court et à long terme.</p> <p>25) Accepter ses limites ou RIO d'avant et constater les RFS accumulées.</p> <p>26) Répondre aux items proposés par BRVL.</p>

IV. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL DE SIMULATION DE L'EPP À L'EE

Adresse au candidat :

Bienvenu (e) dans cette épreuve pratique de physique,

Nous vous prions de suivre les étapes suivantes pour arriver à mieux manipuler le thème choisi.



1. Prendre 5 minutes pour lire ce document et noter déjà l'essentiel sur les idées qui vous viennent à l'esprit concernant les items proposés. Les notes servent de guide lors de l'argumentation ou de la discussion.
2. Sur autorisation des examinateurs :
 - Allumer l'ordinateur ;
 - Lancer le simulateur Bazin-R VirtLab et dites si votre thème/Savoir essentiel est dans quelle Catégorie du programme ;
 - Lire les indications et cliquer sur « Commencer » ;
 - Parmi les Sous-Catégories proposées, Chercher votre thème/Savoir essentiel en 1 clic ;
 - En 1 clic, ouvrir votre thème/Savoir essentiel ;
 - Lire l'objectif de votre thème, noter et cliquer sur « Continuer » ;
 - Poursuivre en répondant à chaque item proposé puis en cliquant toujours sur « Suivant » (NB : Prière vous baser sur les propositions des réponses faites bien avant ou pas) ;
 - Poursuivre en énumérant les différents objets observés et en décrivant leurs rôles respectifs. Si vous avez fait un constat particulier, prière le noter sinon le faire observer aux examinateurs en cas de demande de leur part ;
 - Appuyer sur les boutons « Paramètres » et/ou « Calculs automatiques » pour voir les éventuelles indications. Noter l'essentiel observé et écrire la formule de base du thème sélectionné ;
 - Modifier les paramètres (si nécessaire ou suivant les recommandations des évaluateurs) ;
 - Expérimenter selon les indications : soit en cliquant sur les objets soit en cliquant sur Lancer/Démarrer, observer très attentivement et noter l'essentiel ;
 - Cliquer sur « Fin de la simulation » ;
 - Répondre à chaque item proposé, cette fois-ci selon les observations faites lors de l'expérimentation. Sans oublier de toujours cliquer sur « Suivant » pour passer d'un item à un autre ;
 - Arriver au dernier item, cocher la réponse qui vous semble la bonne et NE PAS CLIQUER SUR « Suivant » ;
 - Comparer les réponses intuitives d'avant et celles d'après expérimentation puis argumenter et discuter sur chaque item. Noter rapidement l'essentiel en termes de constats puis suggestions ou recommandations ;
 - Cliquer enfin sur « Suivant » et observer votre score d'avant et d'après expérimentation ;
 - Argumenter la discussion scientifiquement et conclure ;
 - Cliquer sur « Fermer l'expérience » ;
 - Fermer définitivement le Simulateur puis l'ordinateur.

Merci pour votre collaboration !

V. TÉMOIGNAGES ET CONSENTEMENTS (CACHETS ET SIGNATURES) DES RESPONSABLES DES ÉCOLES CONSTITUANT NOTRE POPULATION D'ÉTUDE

a. Consentements des Chefs d'établissements de Kimpese

<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Institut Manzoni</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Complexe Scolaire Dibasema</p>
<p>pour votre collaboration !</p> <p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Complexe Scolaire Maman Kiangebeni</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Complexe Scolaire Mowa II</p>
<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Institut Vuzi Landu</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Complexe Scolaire Maman Masaka</p>
<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Institut Ngombe</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Lycée Lamba</p>
<p>Merci pour votre collaboration</p> <p>Signature du Chef d'établissement</p>  <p>Collège Père Kusika</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Institut Nzolo</p>

<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau</p>  <p>Collège Saint Marc</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Institut Mananga</p>
---	---

b. Consentements des Chefs d'établissements d'Inkisi

<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Collège Kubama</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p> <p>J.M. NDOKI MANDIANGU</p>  <p>Complexe Scolaire La Colombe</p>
<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Groupe Scolaire Muzonga</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Institut Kilombo</p>
<p>Merci pour votre collaboration !</p> <p>Signature du Chef d'établissement</p>  <p>Collège Saint Pierre</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Lycée Notre Dame de Kisantu</p>
<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Institut Révérend Nlandu Mukoko</p>	<p>Signature du Chef d'établissement</p>  <p>Lycée Mfuki</p>
<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p> <p>Reu MANDIANGU MAZINGU =</p>  <p>Institut Ngongolo</p>	<p>Signature du Chef d'établissement et Sceau de l'école</p>  <p>Lycée Verwimp</p>

VI. CLAUSE DE CONFIDENTIALITÉ AVEC LES ENSEIGNANTS DES GROUPES CONSTITUANT LE PLAN EXPÉRIMENTAL EXPLOITÉ

Nous Rama Bazangika Musunda wa Sadi d'une part, Chercheur, et les enseignants constituant les groupes expérimentaux de recherche, d'autre part, nous nous engageons à garder l'anonymat des enseignants et des apprenants. Aussi, à ne jamais divulguer les tableaux des résultats des apprenants ainsi que les actions survenues lors des essais d'expérimentation de ce laboratoire virtuel de physique.

Fait à Mbanza-Ngungu, le 22 février 2025

Chercheur

Rama BAZANGIKA MUSUNDA wa SADI

Pour les enseignants des groupes expérimentaux,

Enseignant du Groupe expérimental 1

Enseignant du Groupe expérimental 2

(Gradué en Physique-Électricité)

(Gradué en Physique-Électronique)

Pour les enseignants des groupes contrôles,

Enseignant du Groupe contrôle 1

Enseignant du Groupe contrôle 2

(Gradué en Physique-Technologie)

(Diplômé d'État en Mathématique-Physique)

Dans cette thèse intitulée « *Conception, validation et utilisation de Bazin-R VirtLab pour la correction des représentations initiales-obstacles et l'intégration de la pratique expérimentale en mécanique classique* », l'auteur a validé l'efficacité pédagogique du laboratoire virtuel « Bazin-R VirtLab » (BRVL) pour corriger les représentations initiales-obstacles (RIO) en mécanique chez les apprenants de quatrième année de Sciences à Kimpese et Inkisi (RDC), via une approche sociogénético-constructiviste, et pour pragmatiser l'épreuve pratique de physique (EPP).

La validation de BRVL a suivi un double processus. D'abord, une évaluation multicritère (analyse conjointe, AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE), appuyée par des tests de cohérence (Kendall, Cronbach), a été menée auprès de 22 enseignants experts. Elle a classé BRVL parmi les laboratoires virtuels les plus performants pour l'enseignement de la mécanique, confirmant sa pertinence technique et curriculaire. Ensuite, un plan expérimental de Solomon à quatre groupes (deux expérimentaux utilisant BRVL, deux de contrôle suivant un enseignement traditionnel ; n=120) a mesuré l'impact réel de l'outil sur l'apprentissage. L'analyse comparative (tests de Kruskal-Wallis, ANOVA, comparaisons multiples de Tukey et Bonferroni) révèle que les apprenants des groupes expérimentaux ont significativement mieux corrigé leurs RIO que ceux des groupes contrôles. L'intervention a produit un effet très important ($|d \text{ de Cohen}| = 4,78$; $p < 0,05$), avec un gain relatif de 35,7% entre le test et le posttest (test t de Student apparié, $p < 0,001$). Enfin, l'expérimentation d'une EPP basée sur BRVL, utilisant une grille d'évaluation dédiée, s'est avérée concluante pour pragmatiser cette épreuve.

Mots-clés : *Conception – Laboratoire virtuel – Mécanique – Multicritère – Pragmatisation – Représentations initiales-obstacles – Validation.*



Biographie de l'auteur :

- Né Bazangika Musunda wa Sadi Rama le 25 mars 1980 à Mbanza-Ngungu / Kongo Central.
- Fils de Jean Bazangika Mponi Ndunzi (Dcd) et de Françoise Sadi Ngudi Ndundu.
- Marié à Mimie Bitondo Laïsi et père.
- 2002 : Graduat en Pédagogie Appliquée, Option Physique-Technologie de l'ISP/Mbanza-Ngungu.
- 2004 : Licence en Pédagogie Appliquée, Option Physique de l'UPN/ Kinshasa.
- 2010-2016 : Chef du Département de Physique et Techniques appliquées de l'ISP/Mbanza-Ngungu.
- 2011 : Chef de Travaux au Département de Physique et Techniques appliquées de l'ISP/ Mbanza-Ngungu.
- 2016 à 2023-2024 : Secrétaire Général Académique et Secrétaire Général Administratif à l'ISTA/Gombe-Matadi à Mbanza-Ngungu.
- 2018 : Licence Spéciale en Physique à l'UPN/Kinshasa.
- 2022 : Diplôme d'études approfondies en Didactique de physique et évaluation à la Faculté des sciences.
- Contact : +243897187825 / rbazangika@isp-mbng.ac.cd