



IDENTIFICATION DES DIFFICULTÉS DE MODÉLISATION MATHÉMATIQUE LORS D'UNE ACTIVITÉ DE RÉOLUTION DE PROBLÈME EN MÉCANIQUE CHEZ LES ÉLÈVES DU SECONDAIRE QUALIFIANT : CAS DU PRODUIT SCALAIREⁱ

Abderrazzak Chaik¹,

Mouna Laatar²,

Douaa Bouanfir³,

Mohammed Abid²ⁱⁱ

¹Department of Physics,
Faculty of Sciences, Ibn Tofail University,
BP 133, Kénitra,
Morocco

²Scientific Research and Pedagogical Innovation Laboratory,
Regional Centre for Education and Training professions,
BP 6210, Madinat Al Irfane, Rabat,
Morocco

³Analysis, Geometry and Applications Laboratory,
Faculty of Sciences, Ibn Tofail University,
BP 133, Kénitra,
Morocco

Résumé :

Cette recherche vise à identifier les difficultés et les apports liés à l'utilisation de la modélisation mathématique dans l'enseignement des notions de « travail » et de « puissance » d'une force à travers le produit scalaire, chez des apprenants de première année du baccalauréat (seconde) en physique -Maroc. L'échantillon a été composé de 79 apprenants de première année du baccalauréat et de 30 enseignants(e)s de physique-chimie. Nous avons adopté une méthodologie analytique descriptive pour traiter les questions d'un problème destiné aux élèves et ceux d'un questionnaire adressé aux enseignants du cycle secondaire qualifiant. Notre traitement a été basé sur le classement des difficultés rencontrée en fonction des registres sémiotiques associées. Les résultats montrent que les élèves ont rencontré des difficultés d'apprentissage de la modélisation des concepts physique (travail et puissance d'une force) par le produit scalaire, et par conséquent, la maîtrise des registres graphique et numérique. En outre, la majorité des enseignants ont souligné l'importance de cette modélisation, ils ont constaté que les

ⁱ IDENTIFICATION OF MATHEMATICAL MODELLING DIFFICULTIES IN A PROBLEM-SOLVING ACTIVITY IN MECHANICS IN HIGH SCHOOL STUDENTS: CASE OF THE SCALAR PRODUCT

ⁱⁱ Correspondence: email profabidmed@gmail.com, abid.mohammed@uit.ac.ma

élèves ont trouvé des difficultés dans l'identification correcte des vecteurs de déplacement et de force.

Mots clés: travail d'une force, puissance d'une force, modélisation mathématique, produit scalaire

Abstract:

This study aims to identify the difficulties and contributions related to the use of mathematical modeling in teaching the concepts of “work” and “power” of a force through the scalar product in the first-year baccalaureate students (second) in physics-Morocco. The sample consisted of 79 pupils in the first year of baccalaureate and 30 teachers of physics and chemistry. We adopted a descriptive analytical methodology to treat the questions in a problem addressed to pupils and those in a questionnaire for teachers in the qualifying secondary cycle. Our treatment was based on classifying the difficulties encountered according to the associated semiotic registers. The results show that pupils encountered difficulties in learning the modeling of physical concepts (work and power of a force) using the scalar product, and consequently in mastering the graphical and numerical registers. In addition, the majority of teachers emphasized the importance of this modeling, they noticed that pupils encountered difficulties in correctly identifying the vectors of displacement and force.

Keywords: work of a force, power of a force, mathematical modelling, scalar product

1. Introduction et problématique

L'outil mathématique occupe une place fondamentale en science physique, offrant un langage précis et universel pour formuler, comprendre et prédire les lois qui gouvernent la nature. Les équations mathématiques, véritables expressions des relations entre les variables, facilitent la modélisation et approfondissent notre compréhension des phénomènes naturels. Comme l'affirmait Galilei, les mathématiques sont le langage de la physique. Elles permettent aux physiciens de créer des lois, des modèles et des théories avec une précision rigoureuse, dévoilant des aspects cachés de la nature, tels que les antiparticules, les trous noirs, les ondes gravitationnelles ou le boson de Higgs. Ainsi, les mathématiques deviennent un outil de découverte et d'innovation, propulsant la physique à révéler des aspects inattendus de notre univers.

Dans le cadre de l'enseignement, l'intégration de l'outil mathématique revêt une importance cruciale. Les enseignants ont pour mission de faire comprendre aux apprenants la symbiose existante entre les mathématiques et la physique. En enseignant la formulation et la résolution d'équations, ainsi que l'application des concepts mathématiques à des problèmes physiques concrets, les enseignants permettent aux apprenants de développer des compétences essentielles pour modéliser et comprendre

les phénomènes naturels. Il est également crucial d'insister sur le rôle des mathématiques comme langage universel dans la description et la prédiction des phénomènes physiques. Ce lien entre les deux disciplines favorise une compréhension approfondie et prépare les apprenants à explorer les frontières de la connaissance scientifique (Borrego, Foster et Froyd, 2014).

Les résultats de l'étude PISA, menée par l'OCDE depuis 1997, portent sur l'acquisition des élèves en termes de compétences. En 2000, les résultats du premier cycle d'évaluation de PISA ont révélé que certains pays avaient moins de succès que d'autres pour inculquer aux jeunes de 15 ans des compétences en lecture et en mathématiques (OCDE, 2001).

Dans un ouvrage publié par l'OCDE en 2014, il est montré que l'engagement des élèves à l'égard de l'école, leur motivation à réussir et leur perception de leurs compétences en mathématiques influencent leurs performances scolaires. Cette analyse repose sur les données de l'enquête PISA 2012, qui a évalué les compétences de plus de 500 000 élèves de 15 ans dans 65 pays et économies (OCDE, 2014). Des groupes de discussion entre professionnels de l'éducation des niveaux secondaire et supérieur ont également mis en évidence des difficultés récurrentes. Par exemple, le document-bilan de la Rencontre Maths-SPC organisée en décembre 2015 par le GREPhyC (Académie de Versailles) souligne que les enseignants constatent souvent que, au-delà du manque de maîtrise du calcul, les élèves éprouvent des difficultés liées : aux applications numériques, à l'isolement des variables, et à la maîtrise de la proportionnalité (GREPhyC, 2015).

Une approche pédagogique tenant compte les prérequis mathématiques est indispensable pour anticiper les difficultés rencontrées en physique-chimie. Les évaluations diagnostiques en début d'année révèlent que de nombreux élèves de 1^{ère} année baccalauréat sciences expérimentales (seconde) ont du mal à mobiliser correctement le produit scalaire, en raison de lacunes en mathématiques fondamentales. Or, l'application de ce concept est essentielle en mécanique pour modéliser des notions fondamentales telles que le travail et la puissance d'une force. Pourtant, ces notions suscitent elles aussi des difficultés chez les apprenants (Grenier-Boley, 2024).

Dans le contexte marocain, il est à souligner que Raouf et al. (2016), ont mené une étude sur les problèmes liés à la mobilisation de connaissances mathématiques dans des activités de modélisation mécanique nécessitant une articulation de registres sémiotiques et un changement de cadre de rationalité.

Cette recherche vise à identifier les difficultés de la modélisation des concepts physique (travail et puissance d'une force) par les mathématiques (le produit scalaire), en première année du baccalauréat sciences expérimentales (seconde). La question centrale de recherche à laquelle cette étude tente de répondre est la suivante :

- Quelles difficultés les apprenants de 1^{ère} année bac rencontrent-ils dans l'utilisation de la modélisation mathématique, notamment à travers le produit scalaire, lors

d'une activité de résolution de problème portant sur les notions de travail et de puissance d'une force en physique ?

2. Éléments conceptuel

2.1 Concept de modélisation mathématique

La modélisation mathématique joue un rôle central dans l'enseignement des sciences physiques, à la fois en tant qu'objet et outil. En effet, il est possible de distinguer entre enseigner par la modélisation et enseigner la modélisation, conformément à la dialectique outil-objet de Douady (1984), qui envisage le « processus de modélisation » soit comme un outil pédagogique, soit comme un objet d'enseignement. García (2005) confirme cette distinction en classant les travaux de recherche en deux catégories : ceux qui utilisent la modélisation comme un outil pédagogique et ceux qui considèrent ce processus comme un objet d'enseignement, permettant d'introduire de nouveaux objets mathématiques, de renforcer la motivation et de modifier l'attitude des élèves envers les mathématiques. Cette distinction a été également soulignée par Coulange (1997) qui distingue enseignement par la modélisation. Dans notre étude, l'accent sera mis sur la démarche de modélisation plutôt que sur la notion de modèle. Le terme « modèle », polysémique, renvoie dans le dictionnaire Larousse à l'objet à imiter, à la structure formalisée représentant un ensemble de phénomènes, et à la représentation schématique d'un processus raisonné. Selon Mouloud Noël, l'origine de la notion de modèle est technologique (Encyclopédie Universalis, 2000) : la « maquette » simplifiée et reproduite les propriétés d'un objet complexe, permettant mesures et tests, ce qui confère au terme une portée méthodologique pour représenter la complexité de la nature. Le processus de modélisation désigné tantôt par « cycle », tantôt par « processus », décrit un ensemble de phénomènes successifs convergents, permettant de passer de la réalité à un modèle mathématique en tenant compte des étapes intermédiaires.

Les travaux de Ferri (2006), Rodriguez (2003), Galbraith et Stillman (2006), Blum et Leiss (2005), Chevallard (1989), Henry (2001) et Coulange (1997) entre autres, proposent différentes classifications et schémas de modélisation, incluant des étapes intermédiaires telles que le « modèle réel », le « modèle pseudo-concret » et la « représentation mentale de la situation » (RMS), permettant d'identifier les transitions entre la situation réelle et le modèle mathématique et de repérer les obstacles cognitifs pour les apprenants.

Les cycles de modélisation peuvent être regroupés en quatre catégories : le premier groupe ne distingue pas entre situation réelle et modèle mathématique, Pollak (décrit par (Ferri, 2006, p. 89)) ; le deuxième inclut une étape intermédiaire entre la situation réelle et le modèle mathématique, on désigne cette étape sous le nom de « modèle réel » (MR, real model), schéma de Kaiser-Messmer (1991); Kaiser (2005); Blum et Niss (1991); Chevallard (1989); Henry (2001); Coulange (1997); Galbraith et Stillman (2006), le troisième combine le modèle pseudo-concret et le modèle de la situation ; et le quatrième

distingue clairement « modèle de situation » (MS/RMS) et « modèle réel » (MR), permettant d'étudier les processus cognitifs (Blum & Leiss, 2005).

Ces classifications théoriques ont été adaptées dans le contexte marocain par Ouahid et al. (2023), qui ont étudié le processus de modélisation dans les manuels scolaires de physique de la deuxième année du baccalauréat (Terminale), en se concentrant sur les situations de départ, le modèle physique et le modèle mathématique, et en identifiant neuf étapes : « situation réelle », « représentation mentale de la situation », « modèle pseudo-concret », « modèle physique », « modèle mathématique », « étude mathématique », « résultats physiques », « résultats pseudo-concrets », et « confrontation modèle-réalité ». Ces étapes ont été reliées à cinq tâches successives : passer de la situation réelle au pseudo-concret (T1), du pseudo-concret au modèle physique (T2), du modèle physique au modèle mathématique (T3), effectuer l'étude mathématique (T4) et valider le modèle par confrontation avec l'expérience (T5). L'analyse de certains manuels marocains de première année du baccalauréat par Ouahid et al. (2023) révèle que ces tâches sont présentes de manière partielle : la situation réelle et l'étude mathématique sont bien représentées, mais certaines transitions, notamment entre le domaine physique et le domaine mathématique, nécessitent un accompagnement explicite pour faciliter la construction des concepts physiques par les élèves. Cette analyse justifie la nécessité de mieux comprendre les difficultés rencontrées dans la modélisation mathématique en physique et les apports potentiels de cette démarche pour l'enseignement.

2.2 Obstacles cognitifs et épistémologiques des élèves

Les difficultés des élèves face à l'enseignement des mathématiques ont été largement étudiées par Duval, (1993), qui met en évidence le rôle des « registres de représentations sémiotiques » : iconiques, symboliques et naturels, dans la compréhension des objets mathématiques. Il décrit ce qu'il appelle le paradoxe cognitif de la pensée mathématique : ces objets ne peuvent être appréhendés que conceptuellement mais doivent être manipulés à travers des représentations sémiotiques, d'où la nécessité pour les élèves de savoir passer d'un registre à un autre et de coordonner ces registres. Duval (1993) illustre cela par l'exemple du vecteur, qui peut être représenté par une flèche dans un croquis (registre iconique), une lettre minuscule ou majuscule surmontée d'une flèche (registre symbolique), une chaîne de coordonnées (registre symbolique), ou encore une périphrase en langue naturelle.

L'obstacle du formalisme, étudié par Lalaude-Labayle (2016) met quant à lui en lumière les difficultés des étudiants du collégial québécois en algèbre linéaire, liés au fossé entre le langage formel et l'intuition : incapacité à donner du sens aux définitions et aux symboles, erreurs conceptuelles comme la confusion entre vecteur et scalaire, ou l'application mécanique de règles sans compréhension, traduisant une absence de représentation cohérente de l'algèbre linéaire.

Pour clarifier la notion de vecteur, Tanguay (2002) propose une définition intuitive fondée sur la donnée d'une longueur, d'une direction et d'un sens de parcours, en comparant le vecteur à une translation représentée par une flèche. Il insiste sur la distinction entre représentant et vecteur (les premiers sont équipollents, les seconds égaux), sur l'usage du vocabulaire précis (colinéarité plutôt que parallélisme, orthogonalité lorsque les droites portant les représentants sont perpendiculaires), et sur l'intérêt de montrer que les vecteurs modélisent des grandeurs physiques comme forces, vitesses ou accélérations, ce qui facilite leur appropriation par les élèves. Cette articulation entre géométrie, physique et trigonométrie permet d'introduire le produit scalaire, souvent source de confusion. Si les manuels en donnent les formules et propriétés (symétrie, bilinéarité, positivité), ils laissent sans réponse la question de son sens, d'où des erreurs fréquentes comme donner un vecteur plutôt qu'un scalaire. Or, comme le rappelle Tanguay (2002), l'égalité (1) :

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = |\vec{u}| \cdot |\vec{v}| \cos \alpha \quad (1)$$

Permet de comprendre le produit scalaire comme la longueur signée de la projection d'un vecteur sur un autre, ce qui en fait un outil géométrique et physique essentiel.

L'histoire du concept de travail mécanique illustre aussi la dimension épistémologique de ces obstacles : introduite par Coulomb (1798) comme « quantité d'action » liée à la fatigue humaine. Plus la fatigue est grande, plus le travail investi est considéré comme important. Coulomb a formulé le concept de "quantité d'action" en reliant la pression force qu'un homme exerce avec la vitesse et la durée de cette action. Mathématiquement, cela est représenté par la formule (2) : Où W est l'action (ou travail), F est la pression (force), v est la vitesse, et Δt est le temps.

$$W = F \cdot v \cdot \Delta t \quad (2)$$

Reprise par l'ingénieur Claude-Louis Navier qui en a précisé la dimension économique via le rendement des machines, et redéfinie par (Coriolis, 1829) comme le produit (force $\times$ déplacement), Cette définition entre en conflit avec l'expérience intuitive des élèves, qui associent tout effort ou toute fatigue à un travail, même en l'absence de déplacement. De nombreuses recherches (Champagne et al., 1980; Viennot, 1978; Clément, 1982) ont par ailleurs montré que les apprenants arrivent avec des conceptions spontanées, notamment en mécanique dynamique, où ils associent systématiquement force et vitesse : si la vitesse est nulle, la force l'est aussi, et inversement. Ce raisonnement causal, hérité du paradigme aristotélicien, s'oppose au principe d'inertie de Newton, souvent perçu comme ésotérique et artificiel par rapport aux évidences perceptuelles, ce qui explique la persistance des difficultés dans l'apprentissage de la mécanique.

2.3 Articulation entre mathématiques et physique : registres, cadres de rationalité et intersections curriculaires

Les concepts de registre et de cadre de rationalité, développées en didactique des mathématiques, permettent d'analyser les processus de conceptualisation et de communication des apprenants. Un registre sémiotique correspond à un ensemble de signes (symboles, mots, gestes, etc.) représentant un objet mathématique, tandis qu'un cadre de rationalité désigne les règles et principes qui régissent l'utilisation et la transformation de ces signes, comme dans le cas du registre algébrique où les expressions littérales obéissent aux règles de calcul et d'équivalence (Malafosse et al., 2000).

Dans une perspective inter-didactique entre mathématiques et physique, ces concepts ont été enrichis par l'introduction de la notion d'espace de réalité, défini comme l'ensemble de situations ou de phénomènes physiques servant de référence pour construire et interpréter les signes dans un registre sémiotique (Malafosse et al., 2000). Ainsi, en mécanique, l'espace de réalité du registre graphique peut être le mouvement d'un point matériel dans un repère cartésien. Les auteurs illustrent cette approche à travers une expérimentation sur la loi d'Ohm, où les apprenants, confrontés à un dispositif électrique, traitent d'abord les données expérimentales comme des nombres purs dans le cadre des mathématiques, avant de transférer implicitement ces relations dans le cadre de la physique en postulant une continuité entre registres. (Malafosse et al., 2000) met en évidence le rôle fondamental des registres algébrique et graphique ainsi que des processus antinomiques d'induction et de déduction qui structurent la rationalité en mathématiques et en physique. Transposée au cas du travail d'une force, cette analyse révèle que la différence essentielle entre registre graphique mathématique et registre graphique physique réside dans la nature des signes mobilisés et dans les règles de combinaison permettant de produire des représentations, ce qui fonde l'illusion de continuité entre les deux disciplines. Comme le souligne Roy (2018), l'engagement des élèves dans la modélisation implique une double conceptualisation : l'élaboration de modèles pour décrire les phénomènes physiques et la construction de faits scientifiques qui en découlent, notamment autour des variables position, déplacement, vitesse, variation de vitesse et accélération, mobilisées dans les modèles de mouvements rectilignes ou balistiques. Ces faits ne se présentent pas uniquement sous forme langagière, mais à travers divers registres (algébrique, graphique, vectoriel) qui constituent des indicateurs précieux de la compréhension des élèves.

3. Méthodologie de recherche

Nous avons adopté une méthodologie analytique descriptive pour identifier les difficultés liées à la modélisation des concepts physique (travail et puissance d'une force) par le produit scalaire.

3.1 Echantillon de l'étude

Nous avons travaillé avec un échantillon de 79 apprenants de la première année du baccalauréat d'un lycée public, relevant de la direction provinciale de Kénitra (Maroc), au cours de l'année scolaire 2023-2024. Le choix de cet échantillon a été effectué d'une manière aléatoire. De plus, un échantillon de 30 enseignants de physique du cycle secondaire qualifiant de la région « Rabat- Salé-Kénitra » au Maroc. L'échantillon des enseignants a été diversifié entre : 21 enseignants ayant moins de 5 ans d'expérience, un seul enseignant ayant une expérience comprise entre 5 et 10 ans, 3 enseignants ayant une expérience comprise entre 10 et 15 ans, et finalement 5 enseignants ayant plus de 15 ans d'expérience.

3.2 Outils de recherche

Nous avons utilisé deux outils de mesure : un test (résolution d'un problème) adressé aux élèves (annexe) et un questionnaire dédié aux enseignants des sciences physiques du secondaire qualifiant. Le test est structuré en question comportant des items spécifiques (tableau 1).

Pour mieux appréhender la nature des difficultés rencontrées par les élèves, chaque question du problème a été associée à une tâche à réaliser afin d'établir le processus de modélisation et identifié le registre sémiotique associé à chaque question (tableau 1).

Le questionnaire a été élaboré sous forme numérique à l'aide de Google Forms pour collecter les opinions des enseignants envers les difficultés rencontrées par les élèves lors de l'utilisation de la modélisation du travail et de puissance d'une force par le produit scalaire.

Tableau 1 : Classification des questions du test selon les registres sémiotiques

Questions / items		Objectif visé	Tâche à réaliser	Registre
Q1	Item 1	Modéliser la piste et le skieur par des formes géométriques mathématiques	T1	Graphique
	Item 2	Dessiner l'angle entre le plan horizontal et le plan incliné		
Q2	Item 1	Faire l'inventaire des forces agissant sur le skieur	T2	Graphique
	Item 2	Représenter des forces agissant sur le skieur		
Q3	Item 1	Expression mathématique de travail de la force de frottement	T3	Algébrique
	Item 2	Déterminer l'angle entre vecteur de la force et le vecteur de déplacement.		
Q4	Item 1	Trouver la valeur du travail (application numérique)	T4	Numérique
	Item 2	Indiquer l'unité internationale du travail (joule)		
Q5	Item 1	Expression mathématique de puissance de la force de frottement	T3	Algébrique
	Item 2	Déterminer l'angle entre vecteur de la force et le vecteur de déplacement / utiliser la relation entre la vitesse et la distance.		

Q6	Item 1	Trouver la valeur de la puissance (application numérique)	T4	Numérique
	Item 2	Indiquer l'unité internationale du travail (watt).		
Q7	Item 1	Prévoir le signe du travail du poids (négatif)	T5	Indiciel
Q8	Item 1	Expression mathématique de travail du poids	T3	Algébrique
	Item 2	Déterminer l'angle entre vecteur du poids et le vecteur de déplacement.		
Q9	Item 1	Trouver la valeur du travail (application numérique)	T4	Numérique
	Item 2	Indiquer l'unité internationale du travail (joule)		
Q10	Item 1	Trouver la valeur du travail du poids dans le plan horizontal.	T5	Indiciel

3.3 Traitement des données

Nous avons utilisé « Microsoft Excel » pour traiter et analyser les données collectées.

4. Résultats de l'étude

4.1. Analyse des résultats de test selon les items

L'analyse des résultats par item nous a permis d'identifier et d'analyser les processus cognitifs mis en œuvre par les apprenants lors de la modélisation de situations réelles, ainsi que les difficultés qu'ils ont rencontrées.

- **Pour Q₁** : l'item 1 portant sur la modélisation de la piste inclinée, a été bien compris par les apprenants (97,46 % de réponses correctes), indiquant une bonne représentation mentale de la situation de départ. En revanche, l'item 2 relatif à la représentation symbolique de l'angle d'inclinaison, a obtenu seulement 68,83 % de réponses correctes, montrant ainsi que près d'un tiers les apprenants éprouvent relativement des difficultés à traduire leur compréhension de l'angle en représentation visuelle.
- **Pour Q₂** : concernant la force $\vec{P}$, l'item 1 relatif au poids du skieur a été bien compris par les apprenants (avec 97,47% de réponses correctes) ce qui indique qu'ils ont réussi à identifier cette force. Cependant, pour l'item 2 qui porte sur la représentation du poids, seulement 60,76% des apprenants ont répondu correctement, mettant en évidence des difficultés relative à modéliser cette force correctement. Concernant la force $\vec{R}$, l'item 1 a été maîtrisé par 93,67% des élèves, mais seulement 34,18% ont correctement représenté la réaction du plan, ce qui montre une difficulté significative (65,82%) à modéliser cette force d'une manière correcte. Enfin, pour la force $\vec{F}$, l'item 1 a obtenu un taux de réussite de 93,67%, tandis que l'item 2 n'a été correctement réalisé que par 39,24%, indiquant que 60,76% des apprenants ont rencontré des difficultés à modéliser cette force de frottement. La figure 1 représente un exemple de production d'un apprenant.

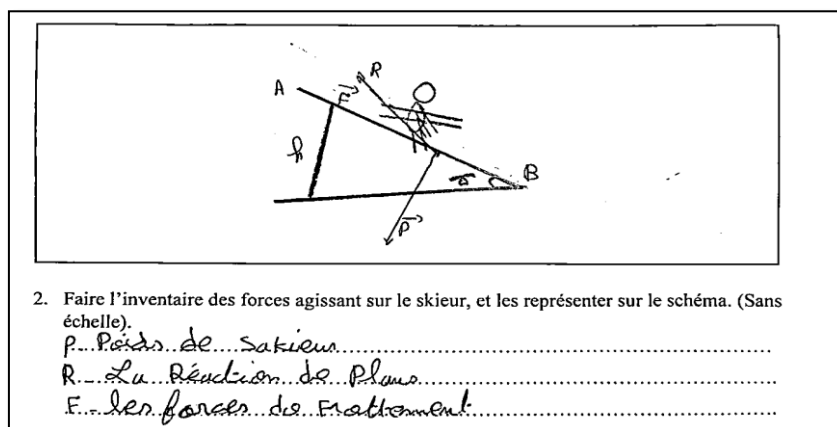


Figure 1: exemple d'une représentation graphique des forces agissant sur le skieur par un apprenants

- **Pour Q₃ :** Pour l'item 1 qui porte sur la modélisation du travail à l'aide du produit scalaire entre la force de frottement et le déplacement, 72 apprenants sur 79 ont réussi cette tâche, ce qui donne un taux de réussite élevé de 95%. Cela indique une bonne maîtrise des formules mathématiques et une capacité à utiliser le produit scalaire pour représenter le travail. En revanche, l'item 2 qui consiste à déterminer l'angle entre ces vecteurs (vecteur force et vecteur déplacement), n'a été correctement répondu que par 48 sur 79 (soit 61%), ce qui reflète une difficulté ou une mauvaise compréhension dans la détermination de l'angle.
- **Pour Q₄ :** Dans cette question, on évalue la compétence des apprenants à faire une application numérique du produit de deux vecteurs (la force de frottement et le déplacement) pour trouver la valeur de l'énergie cédée par les forces des frottements, c'est-à-dire à réaliser la tâche T4. Nous avons trouvé que davantage d'apprenants ont répondu correctement à l'item 2 (72%) relatif à l'unité par rapport à l'item 1 (67%) qui consiste à faire une application numérique. Cela pourrait indiquer que les élèves comprennent mieux le concept d'unité de travail d'une force que les habiletés de l'application numérique du travail d'une force.
- **Pour Q₅ :** On cherche à évaluer la compétence des apprenants à modéliser la situation réelle (puissance d'une force) par des formules mathématiques, c'est-à-dire exécuter la tâche T3 qui permet de passer du domaine de la physique au domaine mathématique. Pour l'item 1 qui consiste à modéliser la puissance par le produit scalaire de la force de frottement et la vitesse ou par le travail sur l'unité de temps, 63 apprenants sur 79 ont réussi à répondre (79,75 %), ce qui montre qu'ils sont plus à l'aise avec les formules mathématiques. En revanche, pour l'item 2 qui demande la détermination de l'angle entre ces vecteurs, seuls 39 sur 79 ont réussi ce qui équivaut à un taux de réussite de 49.37 %, révélant une difficulté ou un manque de compréhension (problème également mentionné dans la question 3).

- **Pour Q₆ :** Dans cette question, on évalue la compétence des apprenants à faire une application numérique du produit scalaire de deux vecteurs (la force et la vitesse) pour trouver la puissance des forces des frottements, c'est-à-dire réaliser la tâche T4. Un plus grand nombre d'apprenants ont répondu correctement à l'item 2 (52 %, soit 41 réponses correctes), contre 32,91 % pour l'item 1 (26 réponses correctes). Cela pourrait suggérer que les élèves comprennent mieux l'unité de puissance d'une force que son application numérique. Ce même problème est également soulevé dans la question 4.
- **Pour Q₇ :** Environ 84 % des élèves ont réussi à répondre correctement à cette question sans effectuer de calcul (67 réponses correctes). Cela démontre une forte compétence dans la capacité à anticiper les résultats, probablement en raison d'une bonne compréhension de la détermination du signe de travail en observant seulement l'orientation de la force par rapport au déplacement de l'objet (Même sens : $W > 0$, Sens opposé : $W < 0$, Perpendiculaire : $W = 0$).
- **Pour Q₈ :** On veut évaluer la capacité des apprenants à modéliser la situation réelle (travail du poids) par des formules mathématiques, c'est-à-dire à exécuter la tâche T3 qui permet de passer du domaine de la physique au domaine mathématique. La majorité des d'élèves ont répondu correctement à l'item 1 (87,34%) avec 69 réponses correctes, par rapport à l'item 2 (64,56%) avec 51 réponses correctes. Cela suggère que les apprenants maîtrisent mieux la formule de calcul du travail du poids que la détermination de l'angle entre le poids et le déplacement.
- **Pour Q₉ :** 72,15 % des apprenants ont répondu correctement à l'item 1 concernant l'application numérique, avec 57 réponses correctes, contre 56,96 % pour l'item 2 relatif à l'indication de l'unité du travail (45 réponses correctes). Cela suggère que les élèves comprennent mieux l'application numérique du travail du poids que l'unité associée à ce travail.
- **Pour Q₁₀ :** Environ 75,9% des apprenants ont répondu correctement à cette question (61 réponses correctes). Cela indique qu'un grand nombre d'élèves comprennent bien comment calculer le travail du poids lorsque l'angle d'inclinaison est nul, ce qui leur permet de déterminer facilement l'angle entre la force et le déplacement.

4.2. Analyse des résultats de test selon les registres sémiotiques

- **Pour le registre graphique :** les apprenants ont obtenu un taux de maîtrise relativement élevée ($T_M = 73.5\%$) pour les questions liées à des registres graphiques, avec une meilleure performance sur la Q1 ($T_{M1} = 82\%$). Cela prouve une bonne compréhension des concepts visuels et des représentations graphiques.

- **Pour le registre algébrique** : la maîtrise des questions liées à des registres algébriques est également bonne ($T_M = 75\%$), avec des résultats assez constants autour de 75%. Cela montre une bonne capacité des apprenants à manipuler et comprendre les expressions algébriques et les équations mathématiques.
- **Pour le registre numérique** : la maîtrise est plus faible ($T_M = 58.84\%$), particulièrement pour Q6 ($T_{M6} = 42.40\%$). Cela suggère que les élèves ont des difficultés avec les opérations et les représentations numériques.
- **Pour le registre indiciel** : les apprenants montrent une excellente maîtrise des questions liées à des registres indiciels ($T_M = 79.5\%$), surtout pour Q7 ($T_{M7} = 84\%$). Cela pourrait témoigner d'une bonne compréhension des concepts indiciels ou des calculs basés sur des indices.

Tableau 3 : Taux de maîtrise selon les registres sémiotiques abordés

Registre	Graphique		Algébrique		Numérique		Indiciel	
Taux de maîtrise (T _M)	Q1	T _{M1} = 82%	Q3	T _{M3} = 75.8%	Q4	T _{M4} = 69.62%	Q7	T _{M7} = 84%
	Q2	T _{M2} = 65%	Q5	T _{M5} = 73.35%	Q6	T _{M6} = 42.40%	Q10	T _{M10} = 75%
			Q8	T _{M8} = 75.9%	Q9	T _{M9} = 64.5%		
		T _M = 73.5%		T _M = 75%		T _M = 58.84%		T _M = 79.5%
T _{Mi} = la somme des taux de maîtrise pour chaque item / le nombre total des items.								

4.3. Analyse des résultats du questionnaire

Les trois premières questions du questionnaire (Q1', Q2' et Q3') étaient consacrées à la collecte de données personnelles et professionnelles relatives aux enseignants participants. L'analyse qui suit se concentre sur les opinions des enseignants concernant les difficultés rencontrées par les élèves lors de l'utilisation de la modélisation du travail et de la puissance d'une force à l'aide du produit scalaire, afin de mettre en évidence les tendances principales et les éléments significatifs ressortant des réponses recueillies.

- **Pour Q4'** : *Est-ce qu'il est nécessaire de modéliser le travail et la puissance d'une force en utilisant des formules mathématiques ?*

D'après les résultats de la question 4', 27 enseignants sur 30 considèrent que la modélisation du travail et de la puissance à l'aide de formules mathématiques est nécessaire. Parmi eux, 6 ont mobilisé le produit scalaire de manière descriptive et 2 ont fourni une expression mathématique précise. De plus, 19 enseignants estiment que cette modélisation facilite la compréhension des concepts par les apprenants. Un enseignant a donné une réponse ambivalente (« oui » et « non »), expliquant que le travail peut être interprété comme une énergie fournie pour un effet translatif ou rotatif, et la puissance comme la vitesse de transfert de cette énergie. Enfin, 2 enseignants sur 30 jugent que la modélisation mathématique n'est pas nécessaire.

- **Pour Q5' :** *Quels types d'exemples utilisez-vous pour illustrer le concept de travail et de puissance d'une force ?*

Selon les réponses à la question 5', la moitié des enseignants (15 sur 30) déclarent utiliser des exemples abstraits, tels que le soulèvement d'un objet depuis le sol. En revanche, 12 enseignants intègrent des situations issues de la vie quotidienne des apprenants. Enfin, 3 enseignants n'ont pas fourni de réponse à cette question.

- **Pour Q6' :** *Comment abordez-vous la transition entre les concepts « travail » et « puissance » à leur représentation mathématique, en particulier l'utilisation du produit scalaire pour modéliser ces phénomènes ?*

Selon les réponses à la question 6', 5 enseignants sur 30 introduisent d'abord la notion de travail avant de présenter le produit scalaire, tandis que 2 utilisent des analogies issues de la situation de départ pour construire la définition. La majorité, soit 17 enseignants, passent directement aux formules mathématiques sans établir de lien avec la situation initiale. Enfin, 7 enseignants n'ont pas répondu à cette question.

- **Pour Q7' :** *Quelles difficultés les apprenants ont-ils rencontrées lors de la modélisation du travail par le produit scalaire ? Est-ce que la conceptualisation, les calculs ou d'autres éléments ont posé des difficultés ?*

Les résultats de Q7' révèlent que plus de la moitié des enseignants interrogés (53,3 %, soit 16 sur 30) considèrent la conceptualisation du produit scalaire comme la principale difficulté. Les calculs sont cités par (30 %, soit 9 enseignants) tandis que seuls 16,7 % des participants (5 enseignants) évoquent une confusion entre le produit scalaire et la notion de travail. Par ailleurs, près de la moitié (46,7 %, soit 14 enseignants) signalent des difficultés combinées, touchant à la fois à la conceptualisation et aux calculs. Enfin, seuls deux enseignants (6,7 %) prennent en compte l'ensemble des difficultés identifiées, à savoir la conceptualisation, les calculs, et la relation avec le travail d'une force.

- **Pour Q8' :** *Quelles sont les erreurs les plus fréquemment commises par les apprenants lors d'utilisation du produit scalaire pour calculer le travail ? Quels sont les points de blocage les plus courants ?*

La majorité des enseignants (70 %, 21 sur 30) considèrent que les apprenants rencontrent des difficultés à identifier correctement les vecteurs impliqués dans le produit scalaire. Une proportion notable (33,3 %, soit 10 enseignants) relève des erreurs dans la compréhension ou l'utilisation des formules, tandis que 25 % (4 enseignants) signalent des erreurs liées aux unités dans les calculs du travail d'une force. Enfin, seuls 6,6 % (2 enseignants) estiment que ces notions sont globalement bien comprises.

- **Pour Q9' :** *Les apprenants trouvent-ils les concepts de la modélisation du travail difficiles à appréhender ? Quels sont les parties qui nécessitent une clarification approfondie ?*

La majorité des enseignants estiment que certains aspects du produit scalaire nécessitent des explications supplémentaires : 43,3 % (13 sur 30) pour les concepts en général, et 36,6 % (11 sur 30) pour la modélisation du travail d'une force. Tandis que seuls 10 % (3 enseignants) considèrent que les apprenants comprennent bien sans besoin majeur de clarification. Par ailleurs, 26,6 % (8 enseignants) soulignent que malgré les explications, plusieurs notions restent floues. Un enseignant (sur 30) mentionne spécifiquement la difficulté à déterminer l'angle entre le vecteur force et le vecteur déplacement.

- **Pour Q10' :** *Quelles sont les stratégies pédagogiques que vous avez utilisées ou mises en œuvre pour aider les apprenants à surmonter ces difficultés ? Est-ce que certaines approches spécifiques ont été plus efficaces ?*

Les enseignants proposent diverses stratégies pour surmonter les difficultés des apprenants: 20 % (6 sur 30) suggèrent l'utilisation de sites web, 50 % (15 enseignants) estiment que les séances supplémentaires sont particulièrement efficaces, et 46,6 % (14 enseignants) considèrent que le travail en groupe facilite la compréhension des concepts. En revanche, 20 % (6 enseignants) relèvent peu d'amélioration malgré différentes approches. Tandis qu'un seul enseignant (1 sur 30) pense que les exercices d'application seuls suffisent.

- **Pour Q11' :** *Comment évaluez-vous la compréhension globale des apprenants après avoir introduit la modélisation du travail par le produit scalaire ? Est-ce qu'il y a des indices particuliers qui indiquent une amélioration ou des défis persistants ?*

Les enseignants relèvent des niveaux d'amélioration variés chez les apprenants : 20 % (6 sur 30) observent une progression dans l'apprentissage du produit scalaire, tandis que 60 % (18 enseignants) constatent une amélioration globale après l'introduction de la modélisation du travail, bien que des difficultés persistent. Par ailleurs, 30 % (9 enseignants) mentionnent des progrès limités et 10 % (3 enseignants) indiquent peu de signes d'évolution notable.

- **Pour Q12' :** *Comment la modélisation du travail par le produit scalaire est-elle liée au reste du cours de physique ? Est-ce qu'il a fallu faire des ajustements pour garantir une cohérence avec d'autres concepts ?*

Les enseignants expriment des avis divergents sur l'intégration du produit scalaire : 16,6 % (5 sur 30) estiment qu'elle s'est déroulée harmonieusement, 20 % (6 enseignants) suggèrent des ajustements mineurs pour renforcer la cohérence avec d'autres notions, 40 % (12 enseignants) rapportent des difficultés à mobiliser ces connaissances dans d'autres parties du cours, tandis que 46,6 % (14 enseignants)

considèrent cette intégration comme bénéfique, notamment pour modéliser la puissance d'une force.

- **Pour Q13' :** *Comment les apprenants ont-ils réagi à l'introduction de la modélisation du travail par le produit scalaire ? Ont-ils exprimé des préférences ou des réserves particuliers ?*

Les enseignants relèvent des réactions variées de la part des apprenants face à la modélisation du travail et de la puissance d'une force : 20 % (6 sur 30) ont observé des réactions positives avec une préférence pour l'usage du produit scalaire, 40 % (12 enseignants) rapportent des retours globalement positifs malgré quelques réserves, 30 % (9 enseignants) notent des réactions mitigées, tandis que 10 % (3 enseignants) constatent des réactions majoritairement négatives préférant d'autres approches pédagogiques.

- **Pour Q14' :** *Quelles sont les opportunités que vous voyez pour améliorer davantage l'efficacité de la modélisation du travail par le produit scalaire dans votre enseignement ? Est-ce que des ajustements sont prévus pour les prochains cycles d'enseignement ?*

Les enseignants proposent plusieurs pistes pour renforcer l'apprentissage du produit scalaire : 50 % (15 sur 30) insistent sur l'importance de ressources interactives supplémentaires, 33,3 % (10 enseignants) recommandent des activités pratiques ou expérimentales plus motivantes, et 33,3 % (10 enseignants) suggèrent de réévaluer les stratégies d'enseignement actuelles. Par ailleurs, 26,6 % (8 enseignants) estiment qu'il serait utile d'envisager d'autres approches pédagogiques, tandis que 6,6 % (2 enseignants) considèrent que la compréhension passe par l'association des notions physiques aux expressions mathématiques.

- **Pour Q15' :** *Comment les apprenants ont-ils réagi à l'introduction de la modélisation du travail par le produit scalaire ? Ont-ils exprimé des préférences ou des réserves particuliers ?*

Les enseignants relèvent des réactions variées de la part des apprenants face à la modélisation du travail et de la puissance d'une force : 20 % (6 sur 30) ont observé des réactions positives avec une préférence pour l'usage du produit scalaire, 40 % (12 enseignants) rapportent des retours globalement positifs malgré quelques réserves, 30 % (9 enseignants) notent des réactions mitigées, tandis que 10 % (3 enseignants) constatent des réactions majoritairement négatives préférant d'autres approches pédagogiques.

- **Pour Q16' :** *Quelles opportunités identifiez-vous pour améliorer davantage l'efficacité de la modélisation du travail par le produit scalaire dans votre enseignement ? Prévoyez-vous des ajustements pour les prochaines séances d'enseignement ?*

Les enseignants proposent plusieurs pistes pour renforcer l'apprentissage du produit scalaire : 50 % (15 sur 30) insistent sur l'importance de ressources

interactives supplémentaires, 33,3 % (10 enseignants) recommandent des activités pratiques ou expérimentales plus motivantes, et 33,3 % (10 enseignants) suggèrent de réévaluer les stratégies d'enseignement actuelles. Par ailleurs, 26,6 % (8 enseignants) estiment qu'il serait utile d'envisager d'autres approches pédagogiques, tandis que 6,6 % (2 enseignants) considèrent que la compréhension passe par l'association des notions physiques aux expressions mathématiques.

5. Discussion des résultats

Les résultats de cette étude, obtenus à partir des différents outils de collecte de données (test et questionnaire), mettent en évidence plusieurs aspects importants de la modélisation mathématique, notamment l'utilisation du produit scalaire dans le contexte de physique.

L'analyse des résultats par item, montre une grande variation dans les performances des élèves selon les questions et les processus cognitifs qu'elles demandent. Par exemple, les élèves ont bien maîtrisé les concepts de base tel que la représentation du poids du skieur, mais ils ont rencontré des difficultés de détermination des angles entre les vecteurs ou la modélisation des forces complexes agissant sur le skieur. Ce constat est confirmé par Latifa et al. (2021) qui ont montré que les élèves ont souvent des difficultés à représenter graphiquement les vecteurs et à en déterminer la direction. De même, Sabah (2023) a souligné que les étudiants en sciences ont du mal à comprendre comment faire des opérations avec les vecteurs et à bien interpréter les angles entre eux. Ces difficultés apparaissent également dans l'étude de Tairab et al. (2020), qui ont indiqué que les élèves trouvent une complexité de représentation dans la modélisation de plusieurs forces en même temps, notamment dans des contextes physiques réels.

Les résultats montrent que si les apprenants réussissent généralement à représenter la situation de manière schématique (Q1), ils rencontrent des difficultés pour représenter l'angle d'inclinaison et confondent souvent cet angle avec l'angle de produit scalaire de deux vecteurs. Cette difficulté se reflète dans la baisse des taux de réussite entre l'item 1 et l'item 2 pour les questions Q3, Q5 et Q8. L'usage de logiciels de géométrie dynamique peut aider à visualiser les effets sur l'intensité de la résultante et l'angle entre vecteurs, renforçant la compréhension du produit scalaire (Raouf et al., 2021). Pour la représentation des forces agissant sur le skieur (Q2), certains apprenants parviennent à les identifier mais échouent à les représenter correctement, ce qui complique la détermination de l'angle entre les deux vecteurs (entre le vecteur de force et le vecteur de déplacement ou le vecteur de vitesse). Cette observation est corroborée par Sabah (2023), qui a rapporté que la représentation graphique correcte d'un vecteur et le choix adéquat de l'angle constituent des difficultés majeures chez les élèves en sciences. Contrairement à l'étude réalisée de Flores-García et al. (2008), qui ont conclu que les étudiants réussissent mieux à identifier les forces mais échouent dans le calcul des grandeurs scalaires, surtout la façon de représenter les vecteurs, leur orientation et leur angle qui constituent une

difficulté majeure. Les travaux de recherche réalisés par Raouf (2016), montrent que plus de la moitié des élèves n'ont pas été capables de représenter un vecteur à partir de ses coordonnées ni de déterminer l'équation qui modélise la somme de deux vecteurs parallèles. En l'absence d'une bonne compréhension des vecteurs en mathématiques, les apprenants rencontreront des difficultés à représenter correctement les forces. Ils pourraient avoir du mal à comprendre les notions de la direction et du sens, ainsi que la décomposition des forces en composantes. Cela conduit à des représentations erronées de la force de gravité, la force normale, la force de frottement, et d'autres forces présentes dans un système.

Lors de l'application numérique des formules, le pourcentage de réussite diminue entre les questions Q3 ; Q4 et Q8 ; Q9, les apprenants remplacent fréquemment l'angle de projection par un angle égal à zéro, ce qui révèle des difficultés de projection des vecteurs sur plans inclinés. La question 10 confirme cette tendance, avec une amélioration lorsque l'angle d'inclinaison est simplifié. La question 7, visant à déterminer le signe du travail sans calcul, semble améliorer les performances à la question 9. Malgré une familiarisation avec le produit scalaire, certains apprenants n'arrivent pas à transférer ces connaissances en mécanique, en lien avec des obstacles graphiques et algébriques déjà identifiés dès la 3^e année de collège (Raouf et al., 2016). Ces difficultés persistent au tronc commun et en première année du baccalauréat. Face à l'obstacle majeur que constitue le passage du cadre mathématique au contexte physique pour les élèves (Raouf et al., 2016), il apparaît nécessaire de renforcer ces compétences par des approches pédagogiques ancrées dans le concret, visant une meilleure compréhension des relations vectorielles et trigonométriques.

De plus, les apprenants obtiennent des résultats significativement meilleurs lorsqu'ils utilisent des registres graphiques (73,55 %) et algébriques (75 %), ce qui suggère une bonne maîtrise des représentations visuelles et symboliques. Cependant, une faiblesse significative se manifeste pour le registre numérique (58,84 %) notamment pour la Q6 (42,40 %), ce qui montre que les élèves rencontrent des difficultés avec les calculs numériques nécessaires aux modélisations. Cette tendance pourrait être liée à un manque d'entraînement ciblé sur la manipulation des données numériques ou d'une difficulté à faire le lien entre les résultats numériques et les phénomènes physiques modélisés, ainsi que le développement des compétences en matière de conversions d'unités. Ainsi, pour aider les élèves à revoir leurs connaissances et à appréhender des concepts abstraits comme le produit scalaire, l'utilisation de situations-problèmes intéressantes et motivantes s'avère essentielle, conformément aux travaux de Raouf et al. (2021).

L'analyse des résultats du questionnaire montre que la plupart des enseignants considèrent qu'il est nécessaire de formaliser le travail et la puissance d'une force à l'aide de formules mathématiques (Q4'), mais que la majorité se concentre directement sur les formules sans relier la notion à une situation concrète (Q6'), rendant la modélisation plus complexe, ce qui est confirmé par les difficultés rencontrées lors de notre évaluation diagnostique. Les travaux de Adianto et Rusli (2021) ont indiqué que pour aider les

apprenants à comprendre les principes sous-jacents et à les appliquer correctement, il est crucial de conceptualiser les notions physiques. Grâce à une conceptualisation efficace, il est plus facile de relier les connaissances mathématiques aux concepts physiques, ce qui favorise une meilleure compréhension et une utilisation plus efficace des notions de forces. Hestenes (1987) a souligné que la maîtrise des outils mathématiques est essentielle pour la compréhension profonde des concepts physiques. Les enseignants soulignent aussi les difficultés fréquentes chez des apprenants à identifier les vecteurs et comprendre les formules du produit scalaire (Q8'). Les résultats de notre test pour les apprenants confirment également ces difficultés, démontrant, ainsi une cohérence dans les difficultés rencontrées lors de l'acquisition et de l'application de ces concepts. Pour surmonter ces difficultés, les enseignants recommandent des explications supplémentaires, des séances de discussion et de travail en groupe, ainsi que l'usage de ressources numériques en ligne et d'activités pratiques (Q9' à Q11'). Ces stratégies pédagogiques sont également appuyées par Hake (1998), qui a souligné l'efficacité des activités collaboratives et des outils interactifs pour améliorer la compréhension en physique. Cependant, certains enseignants remarquent que certaines notions restent floues malgré ces méthodes, indiquant la nécessité d'approches pédagogiques innovantes. Duit et Treagust (2003) ont souligné aussi ce besoin, ils ont expliqué que les méthodes actives peuvent être insuffisantes si les élèves ne parviennent pas à réellement modifier leurs idées fausses.

Enfin, l'intégration du produit scalaire dans la première partie « travail d'une force » est jugée bénéfique par la moitié des enseignants (Q14'), facilitant la modélisation de la notion puissance d'une force. Selon les réponses des apprenants et les recommandations des enseignants (Q15', Q16'), l'amélioration de la compréhension des concepts physiques et de l'application des connaissances mathématiques passe par trois éléments clés : des exemples concrets, des ressources interactives et une phase de transition.

6. Conclusion

La modélisation mathématique est d'une importance capitale en physique, offrant à la fois des avantages et des défis pour les apprenants et les enseignants. Elle permet de formaliser et de quantifier les phénomènes physiques, de faciliter l'analyse des systèmes complexes et de prédire leur comportement dans des conditions variées, ce qui est crucial pour résoudre des problèmes concrets.

Toutefois, son utilisation peut entraîner des difficultés en raison de l'aspect abstrait des formules et de la complexité de certains concepts, comme la projection des vecteurs. L'influence du registre graphique sur le registre numérique réside dans la création d'une base visuelle essentielle ; un élève qui ne le maîtrise pas éprouve plus de difficultés dans les calculs numériques. Concernant la notion de travail et de puissance d'une force, la modélisation permet de quantifier les effets et de recourir au produit scalaire pour les calculs. Afin d'aider les apprenants, il est indispensable d'adopter des stratégies

pédagogiques efficaces et innovantes : exemples concrets, visualisations graphiques, simulations, pratique régulière et travail collaboratif. Le découpage des questions en éléments favorise aussi la résolution étape par étape et renforce la compréhension. La collaboration entre les deux disciplines peut rendre plus facile une approche intégrée de l'enseignement susceptible de donner davantage de sens aux apprentissages. L'articulation entre l'enseignement des concepts mathématiques et leur mise en œuvre en physique donne du sens aux apprentissages ; elle permet aux apprenants d'en percevoir plus clairement la pertinence, tout en consolidant leurs compétences dans les deux disciplines.

Déclaration de conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts.

About the Author(s)

Abderrazzak Chaik has received his specialized master's in physics and chemistry teaching and training from Ibn Tofail University, Faculty of Sciences, Kenitra, Morocco in 2024. Currently, he's a high school physics and chemistry teacher in Kenitra, Morocco. E-mail: abderrazzak.chaik@uit.ac.ma

Mouna Laatar, has received his PhD in Mechanics of Materials and Civil Engineering from Mohamed V University, Faculty of Sciences, Rabat, Morocco in 2024. She had published research work covering sustainable construction materials and eco-friendly building fields in indexed international journals. Currently, She's a high school physics and chemistry teacher in Rabat, Morocco.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6337-6913>

E-mail: mounaablaatar@gmail.com, mouna.laatar@um5r.ac.ma

Douaa Bouanfir has received his PhD in mathematic didactic from Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco in 2025. She had published research work covering mathematic didactic fields in indexed international journals.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1146-003X>

E-mail: douaa.bouanfir@uit.ac.ma

Mohammed Abid (corresponding author), Regional Center for Education and Training, Rabat, Morocco. M. Mohammed Abid has received his PhD in Applied Chemistry from Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco in 2000. He had published much research covering chemistry and science didactic fields in indexed international journals. Currently, his research interest focused as well as on chemistry and science didactic.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7427-2215>

E-mail: profabidmed@gmail.com, abid.mohammed@uit.ac.ma

References

- Blum, W., & Leiss, D. (2005). How the students and teacher deal with mathematical modelling problems? The example "Filling up. *Mathematical Modelling (ICTMA 12): Education, Engineering and Economics* (222-231). Chichester: Horwood Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857099419.5.221>
- Blum, W., & Niss, M. (1991). Applied mathematical problem solving, modelling, applications, and links to other subjects—State, trends and issues in mathematics instruction. *Educational studies in mathematics*, 22(1), 37-68. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/3482238>
- Borrego, M., Foster, M. J., & Froyd, J. E. (2014). Systematic literature reviews in engineering education and other developing interdisciplinary fields. *Journal of Engineering Education*, 103(1), 45--76. <https://doi.org/10.1002/jee.20038>
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 1074-1079. Retrieved from https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1980AmJPh..48.1074C/doi:10.1119/1.12290
- Chevallard, Y. (1989). Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège. *Petit x*, 19, 43--72. Retrieved from https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/medias/fichier/5x3_1570714298158-pdf
- Coulange, L. (1997). Les problèmes concrets à mettre en équation dans l'enseignement, 33-58. Retrieved from https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/medias/fichier/47x3_1568717863453-pdf
- Coulange, L. (1997). Une étude sur la modélisation dans la classe de mathématiques en Seconde—Un double point de vue à partir de l'écologie et du contrat didactique. *Mémoire de DEA, Université Joseph Fourier, Grenoble*. Retrieved from https://theses.hal.science/tel-00624286/file/These_L.Coulange_2000.pdf
- Dianto, T., & Rusli, M. (2021). Analysis of students' difficulties in solving physics problems: Impulse and momentum topics. *UNNES Science Education Journal*, 10(1), 24--33. <https://doi.org/10.15294/usej.v10i1.41517>
- Douady, R. (1984). Jeux de cadres et dialectiques outil-objet dans l'enseignement des Mathématiques. Une réalisation dans tout le cursus primaire. Retrieved from <https://theses.hal.science/tel-01250665>
- Duval, R. (1993). *Registres de représentation sémiotique*. In *Annales de didactique et de sciences cognitives* (Vol. 5). Retrieved from https://mathinfo.unistra.fr/websites/math-info/irem/Publications/Annales_didactique/vol_05/adsc5_1993-003.pdf
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>

-
- Ferri, B. R. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. *ZDM*, 38(2), 86-95. <https://doi.org/10.1007/BF02655883>
- Flores-García, S., Alfaro-Avena, L. L., Dena-Ornelas, O., & González-Quezada, M. D. (2008). Students' understanding of vectors in the context of forces. *Revista Mexicana de Física E*, 54(1), 7-14. <https://rmf.smf.mx/ojs/index.php/rmf-e/article/view/4559/6073>
- Galbraith, P., & Stillman, G. (2006). A framework for identifying student blockages during transitions in the modelling process. *ZDM*, 38, 143-162. <https://doi.org/10.1007/BF02655886>
- Galilei, G. (s.d.). *Il sagggiatore*. BoD-Books on Demand. Retrieved from https://books.google.it/books?id=bf9NAAAACAAJ&printsec=frontcover&hl=it&source=gbv_book_other_versions_r&cad=2#v=onepage&q&f=false
- García, J. (2005). La modelización como herramienta de articulación de la matemática escolar: de la proporcionalidad a las relaciones funcionales. Retrieved from <https://portalrecerca.uab.cat/en/studentTheses/la-modelizaci%C3%B3n-como-herramienta-de-articulaci%C3%B3n-de-la-matem%C3%A1tica>
- GREPhyC. (2015). *Rencontre Maths-SPC : pour renouer avec le calcul, Du Primaire au Supérieur*. Paris: IREM. Consulté le 2023, sur <http://docs.irem.univ-paris-diderot.fr/up/RA-20142015.pdf>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Henry, M. (2001). Notion de modèle et modélisation dans l'enseignement, Autour de la modélisation en probabilités. *Commission inter-IREM Statistique et Probabilités*.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454. <https://doi.org/10.1119/1.15129>
- Kaiser, G. (2005). Mathematical modelling in school--Examples and experiences. *Mathematikunterricht im Spannungsfeld von Evolution und Evaluation. Festband für Werner Blum*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Gabriele-Kaiser/publication/237780725_MATHEMATICAL_MODELING_IN_SCHOOL_EXPERIENCES_FROM_A_PROJECT_INTEGRATING_SCHOOL_AND_UNIVERSITY/links/02e7e52f14b205b154000000/MATHEMATICAL-MODELLING-IN-SCHOOL-EXPERIENCES-FROM-A-PROJECT-INTEGRATING-SCHOOL-AND-UNIVERSITY.pdf
- Kaiser-Messmer, G. (1991). *Application-Orientated Mathematics Teaching: A Survey of the Theoretical Debate. Teaching of Mathematical Modelling and Applications*. Ellis Horwood.
- Lalaude-Labayle, M. (2016). L'enseignement de l'algèbre linéaire au niveau universitaire- Analyse didactique et épistémologique. Retrieved from

- <https://www.researchgate.net/publication/311969183> *L'enseignement de l'algebre lineaire au niveau universitaire - Analyse didactique et epistemologique*
- Latifa, B. R. A., Purwaningsih, E., & Sutopo, S. (2021). Identification of students' difficulties in understanding of vector concepts using test of understanding of vector. *Journal of Physics: Conference Series*, 2098(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2098/1/012018>
- Malafosse, D., Lerouge, A., & Dusseau, J.-M. (2000). Notions de registre et de cadre de rationalité en inter-didactique des mathématiques et de la physique. *Trema*. <https://doi.org/10.4000/trema.1629>
- Ministère de l'Education Nationale et de la Formation. (2007). *Les orientations pédagogiques et les programmes spécifiques pour l'enseignement de la discipline mathématiques au cycle d'enseignement secondaire qualifiant*. Rabat: Direction des curricula.
- Ministère de l'Education Nationale et de la Formation. (2007). *Les orientations pédagogiques et les programmes spécifiques pour l'enseignement de la discipline Physique-Chimie au cycle d'enseignement secondaire qualifiant*. Rabat: Direction des curricula.
- Nicolas Grenier-Boley (2024). Comment choisir des contenus mathématiques pertinents pour comprendre et surmonter la seconde discontinuité de Klein avec les futurs enseignants ? Le cas du produit scalaire. Retrieved from <https://hal.science/hal-04606178/document>
- OCDE. (2001). Knowledge and Skills for Life: First Results from the OECD Programme for International Student Assessment (PISA), 2000. Paris : OCDE, 2001. ISBN 92-64-19671-4. Retrieved from https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2001/12/knowledge-and-skills-for-life_g1gh26ba/9789264195905-en.pdf
- OCDE. (2014). *Résultats de PISA 2012 : Des élèves prêts à apprendre (Volume III) - Engagement, motivation et image de soi*. OCDE. Retrieved from https://www.oecd.org/fr/publications/resultats-de-pisa-2012-comment-l-engagement-des-eleves-leur-motivation-et-leur-assurance-peuvent-les-aider-a-apprendre-volume-iii_9789264205345-fr.html
- Ouahid, M., Fellaoui, K., Benelyssaouia, M., Latifi, M., & Abdelhak, E. (2023, 10). Le processus de la modélisation dans les manuels scolaires de la physique du secondaire qualifiant au Maroc. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/375666841> *Le processus de la modelisation dans les manuels scolaires de la physique du secondaire qualifiant au Maroc*
- Raouf, K., Belazzaar, I., Radi, M., Moussetad, M., & Talbi, M. (2016). Les Difficultés Inhérentes à la Mobilisation des Connaissances Mathématiques dans la Physique, Cas de la Mécanique au Collège. *European Scientific Journal*, 12(25). Retrieved from <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n25p185>
- Raouf, K., Benkenza, N., Anaya, M., & Ennaciri, K. (2021). Conception d'une séquence d'introduction dynamique du produit scalaire via une approche constructiviste

- intégrant la mécanique et les TIC. *South Florida Journal of Development*, 2(2), 3086-3099. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/itmconf/20213901007>
- Raouf, K., Radi, M., Belazzaar, I., Talbi, M., & Moussetad, M. (2016, 11 30). Difficultés De Mise En Œuvre De La Continuité Didactique Mathématique-Mécanique Au Secondaire Collégial, Registre Sémiotique Et Transfert Comme Éléments D'analyse. *European Scientific Journal*, ESJ, 165. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n31p165>
- Rodriguez, R. (2003). Le contrat didactique relatif aux équations différentielles comme outils de modélisation en classe de Terminale S. *Mémoire de DEA Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain et Didactique*. Université Joseph Fourier, Grenoble, France. Retrieved from <https://theses.hal.science/tel-00292286/PDF/TheseRuthRdz.pdf>
- Roy, P. (2018). Modèles et modélisation en physique dans les pratiques d'enseignement d'enseignants québécois du secondaire : le cas de la cinématique. *Savoirs UdeS*. Consulté le 2023, sur <https://core.ac.uk/reader/199228725>
- Sabah, S. (2023). Science and engineering students' difficulties in understanding vector concepts. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(8), . <https://doi.org/10.29333/ejmste/13431>
- Tairab, H., Al Arabi, K., Rabbani, L., & Hamad, S. (2020). Examining Grade 11 science students' difficulties in learning about vector operations. *Physics Education*, 55(5). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aba107>
- Tanguay, D. (2002). L'enseignement des vecteurs. *Bulletin AMQ*, 42(4), 36-47. Retrieved from http://profmath.uqam.ca/~tanguay_d/Pdf%20des%20articles/L%27enseignement%20des%20vecteurs_AMQ.pdf
- Viennot, L. (1978). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. *Revue française de pédagogie*, 45, 16-24. https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1978_num_45_1_1688

Annexe

Test

Un skieur de masse $m = 90,0 \text{ kg}$ descend une piste inclinée d'un angle $\alpha = 15^\circ$ sur l'horizontale à une vitesse constante de $70,0 \text{ km/h}$. Les forces de frottement de la piste sur les skis ainsi que celles de l'air ont une résultante $F = 585 \text{ N}$ parallèle à la pente.

- 1) Dessinez un schéma illustrant la situation donnée.
- 2) Représenter les forces agissant sur le skieur (Sans échelle).
- 3) Quelle est la formule mathématique permettant d'exprimer le travail de la force $\vec{F}$?
- 4) Quel est le travail de la force $\vec{F}$ lorsque le skieur parcourt une distance de 100 m dans ces conditions ?
- 5) Quelle est la formule mathématique permettant d'exprimer la puissance de la force $\vec{F}$?
- 6) Quelle est la puissance de $\vec{F}$?
- 7) Avant de calculer le travail du poids, prévoyez son signe.
- 8) Quelle est la formule mathématique permettant d'exprimer le travail du poids du skieur ?
- 9) Quel est le travail du poids du skieur pour ce même parcours ?
- 10) Lorsque le skieur prend une nouvelle piste horizontale, quel sera le travail du poids ?