

LES DÉFIS DE L'ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE DE LA PHYSIQUE FACE À L'INTERDÉPENDANCE ENTRE LES CONCEPTS PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES

| HIDOUSSI* MOUNA ET AKROUTI** INEN

Résumé | Cet article explore les défis de l'enseignement-apprentissage de la physique face à l'interdépendance entre les concepts physiques et mathématiques. Il souligne que l'enseignement cloisonné des deux disciplines limite la capacité des élèves à modéliser des phénomènes physiques et à établir des relations entre grandeurs physiques et équations mathématiques. En s'appuyant sur le concept de ePCK (les connaissances mises en œuvre par les enseignants dans l'action), l'étude examine comment les enseignants utilisent les mathématiques dans l'enseignement du champ magnétique. Les résultats montrent une pluralité d'ePCK mobilisées par les enseignants, révélant des convergences sur les difficultés mathématiques rencontrées par les élèves.

Mots-clés : ePCK, enseignement de la physique, interdisciplinarité, modélisation mathématique, interaction maths-physique

Abstract | This article examines the challenges of teaching and learning physics considering the interdependence between physical and mathematical concepts. It emphasizes that compartmentalizing these two disciplines' teaching limits students' ability to model physical phenomena and establish relationships between physical quantities and mathematical equations. The study utilizes the ePCK (enacted PCK) to investigate how teachers employ mathematics in teaching the magnetic field. The findings reveal a plurality of ePCK used by teachers, highlighting commonalities regarding students' mathematical difficulties.

Keywords: ePCK, physics education, interdisciplinarity, mathematical modeling, math-physics interaction

I. INTRODUCTION

Dans l'histoire, les mathématiques et la physique étaient étroitement liées, formant un champ d'étude unique. La plupart des savants ont mené des recherches à la fois en mathématiques et en physique et les résultats de ces recherches ont abouti au développement de ces deux champs. À titre d'exemple, nous citons l'étude de la relation cinématique entre la vitesse et la distance par Newton a conduit à la découverte du théorème fondamental de l'analyse. Et inversement, certains concepts physiques ont été découverts à partir d'une réflexion mathématique comme les travaux de Galilée. Par ailleurs, l'enseignement d'un phénomène sous différents points de vue révèle une richesse et une profondeur qui rend ce phénomène plus accessible aux sujets apprenants (Akrouti, 2022). En reliant les mathématiques et la physique au sein d'un même contexte, les élèves peuvent attribuer un sens plus profond à ces disciplines. Cependant, plusieurs recherches soulignent que les élèves éprouvent des difficultés à modéliser des phénomènes afin d'associer des relations entre grandeurs physiques à des équations mathématiques (Beichner, 1994). Ouvrier-Buffet et Perrin-Glorian (2009) constatent une confusion potentielle engendrée par la divergence des systèmes de notation et de vocabulaire pour un même objet dans les cours de mathématiques et de physique. Ils mettent en lumière une fausse conception courante parmi les acteurs du système éducatif (enseignants et décideurs) : l'idée que les

* Université de Sherbrooke – Canada – mouna.hidoussi@usherbrooke.ca

** Université de Jendouba ISSHJ / Université de Carthage LaRINa – Tunisie – inenakrouti@ishj-u.jendouba.tn

mathématiques utilisées en physique sont distinctes de celles employées en mathématiques. Il est évident que l'interaction entre les mathématiques et la physique va bien au-delà d'une simple complémentarité disciplinaire. La transition d'un cadre mathématique à un cadre physique s'accompagne de variations, parfois des ruptures, certaines évidentes, d'autres plus subtiles. On se demande alors de savoir si les enseignants doivent posséder des connaissances approfondies dans les deux disciplines pour percevoir pleinement les liens qui les unissent. Lacroix (2006) souligne que la décontextualisation des mathématiques pour identifier les régularités et les représentations abstraites trouve un écho dans la physique, où les lois visent à généraliser des situations spécifiques. Cependant, la transformation des concepts mathématiques en concepts physiques n'est pas toujours évidente. En fait les mathématiques ne sont pas simplement un langage pour exprimer les phénomènes physiques, elles représentent également une façon de structurer la pensée et de percevoir le monde.

En Tunisie, pays concerné par cette recherche, la formation des enseignants ne met pas l'accent sur l'établissement de liens entre la physique et les mathématiques (Akrouti, 2022), ce qui crée une rupture entre les deux disciplines. L'enseignement de la physique et des mathématiques est cloisonné, les deux disciplines étant traitées comme si elles appartenaient à des univers distincts. Ces réflexions nous ont conduits à examiner un élément crucial des connaissances professionnelles des enseignants (Pedagogical Content Knowledge : PCK) (Shulman, 1986), en lien avec l'enseignement de la physique. Nous nous interrogeons particulièrement sur les ePCK (enacted PCK) des enseignants en lien avec l'utilisation des mathématiques lorsqu'ils enseignent des concepts physiques, en l'occurrence le champ magnétique.

II. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Dans un article publié en 2009, Beaufils explore deux axes principaux : l'interrelation entre les mathématiques et la physique dans les processus de modélisation, ainsi que la transition entre les enseignements de physique au secondaire et au supérieur, en particulier au niveau de la terminale S en prenant comme cas d'étude les équations différentielles. L'auteure conclut qu'il serait pertinent d'introduire une séquence d'enseignement spécifique visant à sensibiliser les élèves à la pluralité des registres de représentation en physique et à clarifier les articulations entre les aspects phénoménologiques et mathématiques des concepts physiques. Dans ce même axe de recherche sur la modélisation, Béguin et al. (1996) soulignent que la modélisation ne se limite pas à la recherche du modèle quantitatif optimal et à son implémentation numérique. Ce processus stimule également une réflexion critique sur le modèle lui-même, suggérant de nouvelles expériences pour l'affiner et donner une signification plus profonde à ses paramètres. Cette dimension itérative de la modélisation est particulièrement importante pour notre étude, car elle nous permet de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents aux phénomènes observés. Par ailleurs, Ba (2011) souligne l'évolution des relations entre les enseignements des mathématiques et des sciences physiques. Il met en évidence une distanciation croissante entre les disciplines, ainsi qu'une hiérarchisation qui ne favorise pas une collaboration équitable entre les enseignants. Les enseignants des deux disciplines sont placés dans une logique qui empêche la collaboration là où elle devrait se faire et conduit à une méconnaissance des vrais enjeux. Ainsi, les élèves s'habituent à un discours en porte-à-faux. Cette situation entraîne des conséquences directes sur les pratiques pédagogiques et sur les apprentissages des élèves, en limitant notamment les possibilités d'articulation entre les différentes disciplines scientifiques. Rachel et al. (2012) précisent que les élèves rencontrent des difficultés à combiner des idées de physique avec des calculs mathématiques, ce qui entraîne des difficultés à mettre en place et à interpréter les calculs. Rachel et al. (2012) précisent également que les élèves rencontrent des difficultés à combiner des idées de physique avec des calculs mathématiques, ce qui entraîne des difficultés à mettre en place et à interpréter les calculs. Cette dissociation entre les concepts physiques et les outils mathématiques limite

leur capacité à appréhender de manière globale les phénomènes naturels et à développer une pensée scientifique rigoureuse.

La question de l'articulation entre les concepts physiques et mathématiques et les difficultés qu'elle pose aux élèves a été largement étudiée dans la littérature scientifique. Les travaux de Bodinier et Sevrain (2017) constituent un exemple pertinent de ces recherches. Ces deux chercheurs ont apporté un éclairage intéressant sur cette question en identifiant que les difficultés rencontrées par les élèves à articuler les concepts physiques et mathématiques étaient liées à des facteurs pédagogiques et l'insuffisance des connaissances mathématiques des enseignants de physique. Selon ces deux auteurs, les lacunes en mathématiques de certains enseignants de physique constitueraient un frein important à l'acquisition de compétences solides en physique par les élèves. Toutefois, une grande majorité de ces travaux s'est particulièrement concentrée sur l'étude des phénomènes de modélisation et leur impact sur le processus de conceptualisation des sujets apprenants sans approfondir la question du rôle de la formation des enseignants qui prend en considération ces liens. Cette différence de registres langagiers crée une véritable fracture dans les apprentissages, empêchant les élèves de saisir les liens entre les différentes disciplines scientifiques. Ce constat nous amène à interroger les pratiques pédagogiques mises en œuvre en troisième année de sciences en Tunisie : cas du champ magnétique, afin de comprendre comment les enseignants favorisent l'utilisation cohérente des outils mathématiques dans l'enseignement de ce concept. Il est essentiel d'analyser les stratégies pédagogiques déployées pour assurer une continuité didactique entre les mathématiques et la physique, en particulier en ce qui concerne la résolution de problèmes et la modélisation de phénomènes physiques.

III. CADRE THÉORIQUE

Initialement le concept de PCK a été introduit par Shulman (1986) comme une forme de connaissances transformées par les enseignants lorsqu'ils enseignent un contenu particulier. Cette conceptualisation du concept de la PCK permet de comprendre que le contenu à enseigner doit être transformé en forme compréhensible par les élèves. Cette transformation se produit lorsque l'enseignant interprète ce contenu et trouve les manières adéquates de le présenter aux élèves Shulman (1986). Depuis lors, le concept de PCK a suscité l'intérêt des chercheurs et a été largement utilisé dans les recherches sur les connaissances des enseignants (Abell, 2008 ; Berry, Friedrichsen et Loughran, 2015 ; Gess-Newsome, 2015 ; Grossman, 1990 ; Magnusson, Krajcik et Borko, 1999 ; Marks, 1990 ; Park et Oliver, 2008 ; Tamir, 1988). Même si ces chercheurs ont tenté de définir la PCK et de déterminer ses composantes, ils ne sont pas parvenus à s'unifier autour d'une vision commune des types de connaissances dans la PCK.

Pour atteindre un consensus sur la PCK, plusieurs chercheurs en sciences se sont réunis afin de formuler un modèle consensuel de PCK susceptible de développer une compréhension plus approfondie de connaissances des enseignants en science. Ainsi, en s'appuyant sur les modèles développés antérieurement, le modèle consensuel raffiné de la PCK (Refined Consensus Model) a été introduit en 2019 (voir figure 1).



Figure 1 – modèle consensuel raffiné de la PCK réduit (Carlson et Daehler, 2019)

Ce modèle de PCK identifie trois domaines de PCK, à savoir la cPCK (PCK collective), la pPCK (PCK personnelle) et la ePCK (PCK en action). Les cPCK font référence à l'ensemble de connaissances spécialisées pour l'enseignement d'une discipline scientifique développées en dehors de la classe. Les pPCK et les ePCK renvoient aux connaissances propres à chaque enseignant : les pPCK représentent les connaissances personnelles à la fois tacites (issues des expériences de l'enseignant) et explicites (issues de contributions d'autres personnes) alors que les ePCK représentent les connaissances dans des contextes de classe spécifiques, tout en enseignant un contenu particulier à leurs élèves. Ainsi, ce sont les ePCK qui ont un impact direct sur l'apprentissage des élèves. C'est pour cette raison, nous nous limitons dans ce travail à l'étude des ePCK des enseignants mobilisés en situation de travail.

Pour rendre plus explicite la vision de la PCK, le cadre conceptuel de cette étude sera basé sur le modèle RCM de la PCK (Carlson et Daehler, 2019) auquel nous associons les cinq composantes de la PCK identifiées par Magnusson et al. (1999), qui sont applicables aux trois domaines de la PCK, comme le montre la figure 2.



Figure 2 – Cadre conceptuel des connaissances professionnelles des enseignants basé sur la combinaison du modèle RCM de la PCK (Carlson et Daehler, 2019) et le modèle de Magnusson et al. (1999)

Pour Magnusson et al. (1999), la composante « orientations sur l'enseignement des sciences » se réfère à un ensemble de connaissances et de croyances des enseignants sur les buts et les objectifs de l'enseignement des sciences. « Les connaissances sur la compréhension des sciences par les élèves » renvoient aux connaissances que les enseignants devraient avoir des élèves afin de les aider à développer des connaissances scientifiques. « Les connaissances des stratégies pédagogiques d'enseignement » font référence aux stratégies spécifiques qui sont utiles pour aider les élèves à comprendre des concepts scientifiques. « Les connaissances curriculaires » représentent, selon Magnusson et al. (1999), la connaissance qui distingue les spécialistes du contenu des pédagogues. Elles renvoient à l'ensemble de connaissances sur les buts et les objectifs du programme d'enseignement

ainsi que les programmes et le matériel curriculaire spécifique. « Les connaissances sur l'évaluation » renvoient aux connaissances des aspects de l'apprentissage des sciences qui sont importants à évaluer et les connaissances des méthodes d'évaluation. Ainsi, nous postulons qu'un enseignant est considéré comme professionnel s'il est capable de mobiliser ces types de connaissances d'une manière notable dans leur enseignement. Dit autrement, les enseignants doivent rendre leurs connaissances curriculaires compréhensibles par les élèves. Or, pour que cette transformation soit réussie dans différentes situations de classe souvent complexes et aléatoires, les enseignants ne doivent pas se contenter seulement de leurs connaissances curriculaires, certes nécessaires, mais pas suffisantes pour réussir son enseignement. Cela dit, les formateurs des enseignants devraient former des enseignants capables de réfléchir sur les manières de transformer le contenu disciplinaire en un contenu compréhensible par quelqu'un d'autre, en l'occurrence, l'élève.

En nous appuyant sur l'idée que les PCK devraient être saisies dans le contexte d'un sujet scientifique spécifique (Mavhunga et Rollnick, 2013 ; Nilsson et Loughran, 2012), nous avons choisi le concept de champ magnétique comme sujet à travers lequel nous avons étudié les PCK des enseignants de physique. Ce choix réside dans le fait que ce concept est considéré comme un sujet difficile à enseigner et à comprendre, principalement en raison de sa nature abstraite (Dori and Belcher, 2005 ; Jelicic et al., 2017). Ainsi, connaître et comprendre les difficultés d'apprentissage chez les élèves constituent des éléments importants des connaissances que les enseignants doivent avoir pour aider les élèves à développer des connaissances scientifiques spécifiques (Shulman, 1999). Il y a alors lieu de s'interroger sur les PCK des enseignants pour favoriser l'apprentissage du concept de champ magnétique.

IV. MÉTHODOLOGIE

Considérant l'objectif de cette étude, nous avons opté pour une recherche qualitative. L'étude de cas est le type de méthode retenu pour examiner et étudier en profondeur les ePCK des enseignants qui ont participé à cette étude. La description détaillée du contexte de cette étude ainsi que les caractéristiques de ses participants peuvent assurer la transférabilité des résultats à d'autres contextes similaires ce qui permettra d'étendre les cas étudiés et de généraliser une théorie (Cohen et al., 2013).

Cette étude a été menée auprès de deux enseignants volontaires que nous avons nommés P1 et P2 ayant chacun une bonne expérience professionnelle dans le domaine de l'enseignement de la physique (aux alentours de 20 ans d'expérience pour chacun). Ils exercent dans deux établissements publics présentant des différences au niveau de leur contexte social et culturel.

La démarche méthodologique adoptée dans cette étude consiste à observer et filmer toutes les séances de classes qui couvrent l'enseignement du concept de champ magnétique. La durée totale des enregistrements vidéo est de huit heures ; ce qui correspond à quatre séances de cours observées sur le lieu de travail de chaque enseignant. Nous avons regardé ces enregistrements plusieurs fois afin de transcrire tous les échanges entre les enseignants et leurs élèves. Chaque leçon a été divisée ensuite en plusieurs thèmes afin de repérer des situations « clés » des enseignements que nous qualifions d'épisodes remarquables. Ces épisodes correspondent à des situations singulières propices qui révèlent des aspects intéressants de leur enseignement. Ces situations correspondent généralement à des hiatus sur le plan de l'échange entre les acteurs en classe et renvoient aux moments des choix et de prise de décision de l'enseignant dans son action.

Se limiter aux enregistrements vidéo nous place dans une situation délicate pour inférer les ePCK des enseignants. La situation est délicate dans le sens où il s'agit pour nous de comprendre et de décrire des connaissances tacites mobilisées par un autre sujet, l'enseignant en l'occurrence. Afin de contourner

les limites de l'observation directe, nous avons mené avec les enseignants observés des entretiens d'autoconfrontation. Cette approche qualitative nous a permis de comprendre non seulement ce que les enseignants font en classe, mais aussi les raisons qui motivent leurs choix pédagogiques.

Ces entretiens ont porté sur les épisodes remarquables identifiés et ont fait l'objet d'un enregistrement audio. Lors de ces entretiens, les enseignants ont été invités à commenter leurs actions pendant ces situations afin de mettre des mots sur leur manière d'agir de telle ou telle manière dans une situation de classe donnée. Comme l'activité enseignante est complexe et incertaine, nous avons proposé aux enseignants des questions qui nous permettent d'inférer des ePCK. Nos questions étaient de type : faites-vous toujours cela comme ça ? Qu'est-ce que vous cherchez ici ? Est-ce que les élèves réagissent souvent de cette manière ?

La triangulation de toutes les données recueillies, nous ont permis de comprendre les éléments que les enseignants prennent en compte lors de ces épisodes pour faire des choix et prendre des décisions. Les explications données nous ont permis de repérer et décrire les ePCK de deux enseignants dans le contexte de l'enseignement du concept de champ magnétique. Nous avons essayé de comprendre plus particulièrement le poids des démonstrations mathématiques lorsqu'ils enseignent et le temps accordé aux argumentations des résultats. En d'autres termes, nous avons cherché à déterminer dans quelle mesure les enseignants accordent de l'importance à la rigueur mathématique et à la justification des résultats dans leurs pratiques pédagogiques. Une fois les ePCK identifiés, nous les avons classés en suivant rigoureusement les descriptions de chaque catégorie de PCK telles qu'elles sont définies par Magnusson et al. (1999). Cette démarche nous a permis d'obtenir une classification fiable et comparable des différentes connaissances mobilisées par les enseignants dans leurs pratiques en classe.

V. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Bien que les enseignants observés aient mobilisé une variété de ePCK, les résultats de cette étude montrent que les deux catégories de connaissances ePCK/stratégies et ePCK/élèves sont les composantes les plus sollicitées par les deux enseignants. Ce résultat n'est pas surprenant, puisque ces deux ePCK sont les deux catégories de connaissances les plus spécifiques du métier d'enseignant (Chan et Hume, 2019 ; Demirdoğen et al., 2016 ; Norville, 2019). C'est pourquoi, dans le cadre de ce texte, nous mettons l'accent sur ces deux catégories afin de comprendre les principales difficultés d'ordre mathématique rencontrées par des élèves lors de l'apprentissage du concept de champ magnétique et d'examiner les stratégies pédagogiques employées par les enseignants afin d'aider les élèves dans leur apprentissage.

1. *La nature vectorielle d'un champ magnétique*

Le champ magnétique est constitué par un ensemble de vecteurs. Mathématiquement, un champ de vecteur est une fonction qui associe un vecteur à chaque point de l'espace euclidien, caractérisé par un sens, une direction et une norme. Notre analyse montre que cette notion est peu familière aux élèves. Ils ont souvent du mal à se représenter les vecteurs de champ en tout point de l'espace. Se représenter le champ comme un espace vectoriel, c'est-à-dire comme un ensemble de vecteurs, ajoute une couche d'abstraction supplémentaire qui peut être déroutante pour les élèves. En effet, les représentations graphiques du champ magnétique (lignes de champ) peuvent être trompeuses et ne pas refléter fidèlement la nature vectorielle du champ. Les élèves ont du mal à interpréter ces représentations et à les relier à la notion d'espace vectoriel. Les échanges entre l'enseignant et les élèves dans cet extrait rendent compte de cette difficulté.

– P : Qu'est-ce qu'un champ ?

- E : Un ensemble de lignes.
- P : Non... non... champ en général ?
- E : Des lignes.
- P : Champ !
- E : Des charges.
- P : Non... le champ ?
- E : Espace.
- E : Région de l'espace.
- P : Oui une région de l'espace. Par exemple, lorsque vous regardez National Geographic... vous remarquez que le lion a un champ bien déterminé... un espace qui lui est propre et personne ne peut se rapprocher de ce champ. Par exemple, les footballeurs ont un rectangle sur lequel doivent jouer les joueurs... si la balle sort, c'est un hors-jeu ? C'est donc hors champ.

Dans cet extrait, on voit que l'enseignant mobilise une ePCK/stratégie en intégrant des exemples de la vie quotidienne dans son enseignement (le terrain de foot, le territoire réservé au lion). Selon lui, cela permet aux élèves de mieux comprendre la notion du champ : *« j'essaye toujours de rapprocher cette notion [le champ] à travers des exemples concrets. Cela permet aux élèves de faire le lien par la suite »*. Cependant, on voit bien que la construction de la connaissance, du sens, n'est pas allée à son terme. En effet, ces exemples n'ont pas pu aider l'élève à saisir la nature spatiale du champ. Cette lacune chez l'enseignant pourrait s'expliquer par une insuffisance de sa formation initiale en mathématiques, particulièrement en ce qui concerne la capacité à établir un lien entre un phénomène physique concret, tel que le champ magnétique, et son modèle mathématique.

Une autre difficulté, inhérente à ce cadre conceptuel, est la double nature du champ magnétique. Le champ magnétique possède à la fois une nature vectorielle (caractérisée par un sens, une direction et une intensité) et une nature spatiale (il existe en tout point de l'espace). Cette dualité peut être difficile à saisir par les élèves, qui ont tendance à privilégier l'une ou l'autre de ces dimensions. Par ailleurs, la nature tridimensionnelle du champ pose également un problème aux élèves. En général, ils pensent que le vecteur champ magnétique est un vecteur à deux dimensions. Cela avait un impact sur la compréhension des effets magnétiques dans un espace tridimensionnel. Ce constat a été confirmé par P2 lorsqu'il déclare, lors de l'entretien d'autoconfrontation, que les élèves « trouvent généralement des difficultés de travailler avec des vecteurs dans l'espace ». Pour sa part, P1 souligne que « les élèves ne vont pas trop loin lorsqu'on parle de notions dans l'espace à trois dimensions ».

Bien que les enseignants soient conscients des difficultés de leurs élèves, notre analyse montre que les ePCK/stratégie qu'ils mobilisent n'ont pas pu aider leurs élèves à comprendre la nature tridimensionnelle du champ. Par exemple, pour expliquer comment déterminer le sens du vecteur champ magnétique, les enseignants expliquent et utilisent la règle de la main droite.

Ils se contentent souvent de répéter leurs explications à plusieurs reprises en espérant que les élèves finiront par comprendre et par appliquer la règle de manière autonome. Or, même si nous avons observé que certains élèves parviennent à appliquer cette règle, ce n'est pas nécessairement parce qu'ils en ont saisi la profondeur ou la logique sous-jacente, mais plutôt parce qu'ils ont mémorisé une procédure ou un schéma de résolution. Nous émettons l'hypothèse que cette difficulté est liée à

l'absence d'une ePCK/stratégie mise en œuvre par les enseignants permettant aux élèves d'établir un lien clair entre la règle en question et le concept de produit vectoriel. Cela pourrait, à notre sens, aider les élèves qui ont des difficultés « à regarder » dans l'espace. Cela nécessite une attention particulière dans la formation des enseignants physiques. Les enseignants doivent être capables de traduire des phénomènes physiques en modèles mathématiques et d'interpréter les résultats obtenus.

Une troisième difficulté rencontrée par les élèves en lien avec la nature vectorielle du champ magnétique réside dans le calcul de la somme vectorielle. Afin que les élèves comprennent le comportement du vecteur champ résultant de la présence de deux sources créatrices d'un champ, ils doivent déterminer et caractériser le vecteur somme de deux vecteurs champs magnétiques créés par ces sources. Notre analyse souligne que les élèves ont de la difficulté à calculer cette somme. Bien que les élèves aient déjà vu en mathématiques la règle du parallélogramme pour calculer la somme de deux vecteurs non colinéaires, en physique, ils prédisent souvent le résultat de cette somme sans même en construire sa représentation graphique. Lors de la deuxième séance de l'enseignant P1, ce dernier a achevé une expérience sur l'utilisation d'un teslamètre pour mesurer un champ magnétique. À la suite de cette expérience l'enseignant a demandé aux élèves de caractériser le champ résultant de la présence de deux aimants dont les axes sont perpendiculaires et demande aux élèves de déterminer la valeur du champ total.

- E : Monsieur avec le teslamètre
- P : D'accord ! Mais si vous n'avez pas un teslamètre ? Maintenant les deux à la fois ? le champ total.
- E : Aucune réponse
- P Comme le champ électrostatique exactement. C'est quoi ?
- E : On détermine le sens ?
- P : Ici on parle de la valeur du champ résultant. Attention. Comment déterminer cette valeur ?
- E : la somme ?
- P : oui... oui... La somme vectorielle. Comment peut-on déterminer cette somme ?
- E : La norme ?
- P : oui la norme de B. Comment la calculer ?
- E : avec le teslamètre
- P : Mais vous avez déjà vu ça (surpris). C'est la racine de ?
- E : de $B_1^2 + B_2^2$.

L'observation de la vidéo relative à cet épisode révèle une méconnaissance de la difficulté des élèves de la part de l'enseignant. Il a même été surpris par l'intervention de l'élève disant « avec le teslamètre ». Cela montre que les élèves manquent de repères pour visualiser et appliquer la notion de somme vectorielle dans un contexte physique. Or, face à cette difficulté, l'enseignant n'a pas vraisemblablement saisi l'opportunité et mobilisé une ePCK/stratégie permettant aux élèves de surmonter cette difficulté. Il a simplement rappelé la formule mathématique sans la contextualiser.

Il nous semble que la dichotomie artificielle entre la physique et les mathématiques dans l'enseignement secondaire tunisien est à l'origine de certaines difficultés. Une réforme s'impose pour favoriser le développement de compétences en résolution de problèmes mathématiques appliqués à la physique, en mobilisant divers registres sémiotiques (analytiques, numériques, graphiques).

2. Identification des composantes du vecteur champ magnétique terrestre

Notre observation d'une séance consacrée au champ magnétique terrestre a révélé que les élèves éprouvaient des difficultés à identifier les composantes de ce champ. Le champ magnétique terrestre est une grandeur vectorielle. En chaque point de l'espace, ce vecteur peut être décomposé en deux composantes orthogonales : une composante verticale, notée B_y , et une composante horizontale, notée B_h . L'identification de ces composantes nécessite des connaissances de la géométrie euclidienne et de la trigonométrie qui ne sont pas assez disponibles chez les élèves et qui requièrent une attention particulière de la part de l'enseignant.

Au cours de l'entretien d'autoconfrontation avec l'enseignant P1, nous avons attiré son attention sur ce point particulier. Il a corroboré notre analyse en révélant des ePCK/élève :

« Je savais que les pôles Nord magnétique et Nord géographique seraient confondus... i (l'angle d'inclinaison) et D (l'angle de déclinaison) aussi. Euh, ils vont certainement donner le sens et la direction de \vec{B}_T mais ils vont trouver de difficultés à déterminer les composantes B_h et B_y du vecteur champ terrestre ».

Nos analyses montrent que les enseignants ont un répertoire riche en ePCK/élève spécifique au champ magnétique terrestre. Ils ont cerné tout ce qui peut poser des problèmes ou pas pour les élèves lors de l'apprentissage de ce concept. Cependant, ils ne sont pas conscients que les difficultés des élèves proviennent, en partie du manque de l'interaction entre les mathématiques et la physique. Autrement dit, les difficultés rencontrées par les élèves résident principalement dans la transposition des connaissances mathématiques à la résolution de problèmes physiques. Cela dit, les enseignants doivent développer des ePCK/stratégies permettant de combiner visualisation concrète et calculs mathématiques. Par exemple, l'utilisation des simulations numériques permet aux élèves de visualiser en temps réel comment B_h , B_v en fonction de l'angle d'inclinaison.

VI. CONCLUSION

Il ressort de notre analyse que les enseignants observés, malgré leur grande expérience en enseignement et leurs connaissances sur les difficultés des élèves, ne tiennent pas compte du niveau de leurs élèves et recourent à un enseignement où l'utilisation des mathématiques est assez rigide. En fait, la plupart des élèves de cette étude rencontrent des difficultés à faire le lien entre le phénomène physique concret et le monde abstrait des mathématiques. Nous nous interrogeons souvent sur les raisons pour lesquelles les élèves éprouvent des difficultés à appréhender des notions qui nous semblent aisément compréhensibles. Il est fréquent d'oublier que la conjonction de raisonnements mathématiques et de concepts physiques requiert des compétences particulièrement élaborées, qui ne sont pas accessibles à tous, y compris aux élèves les plus doués. Afin que les élèves aient une compréhension adéquate de la physique et de la nature de cette discipline, il est nécessaire que les enseignants accordent une attention particulière à l'utilisation des mathématiques lors de l'enseignement de la physique.

Cela dit, il devient nécessaire que la formation à l'enseignement se focalise sur le développement des ePCK des enseignants, notamment les ePCK/élève et les ePCK/stratégies. Cela permettrait aux

enseignants non seulement de mieux comprendre ce que les élèves trouvent difficile, mais aussi de préparer des activités adaptées à leur besoin.

Nos résultats préliminaires apportent un premier éclairage sur les difficultés rencontrées. Des recherches ultérieures pourraient enrichir cette étude en documentant de manière plus approfondie les connaissances relatives aux difficultés des élèves, permettant ainsi de constituer une base de ePCK spécifiques aux enseignants de physique.

RÉFÉRENCES

- Akrouti, I. (2022). La situation du barreau : une alternative possible pour l'enseignement de l'intégrale à l'entrée à l'université. *Revue québécoise de didactique des mathématiques*, 1(1), 72-110.
<https://rqdm.recherche.usherbrooke.ca/ojs/ojs-3.1.1-4/index.php/rqdm/article/view/55>
- Ba, C. (2011). Vecteurs au lycée : difficile articulation entre mathématiques et physique. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 14(1), 71–83. <https://doi.org/10.7202/1008844ar>
- Beaufils, D. (2009). Le modèle et son phénoménographe. *Aster*, (48), 15-38.
https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_2009_num_48_1_1507
- Bechner, R. (1994). Testing student interpretation of kinematic graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762.
- Béguin, C., Gurtner, J. L., de Marcellus, O., Denzler, M., Tryphon, A. et Vitale, B. (1996). Activités de représentation et de modélisation dans une approche exploratoire de la mathématique et des sciences. Deuxième partie – Les activités de modélisation dans le continu. *Petit x*, (41), 51-82.
- Bodinier, G. et Sevrain, D. (2017). *L'utilisation des mathématiques en sciences physiques et chimiques* [Écrit réflexif]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01647595/document>
- Chan, K. K.-H. et Hume, A. (2019). Towards a consensus model: Literature review of how science teachers' pedagogical content knowledge is investigated in empirical studies. Dans A. Hume, R. Cooper et A. Borowski (dir.), *Repositioning PCK in teachers' professional knowledge* (p. 3-76). Springer.
- Demirdöğen, B. (2016). Interaction between science teaching orientation and pedagogical content knowledge components. *Journal of Science Teacher Education*, 27(5), 495-532.
<https://www.jstor.org/stable/26157968>
- Gess-Newsome, J. (2015). *A model of teacher's professional knowledge and skill including PCK*. Dans A. Berry, P.-J. Friedrichsen et J. Loughran (dir.), *Teaching and learning in science series. Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (p. 28–41). Routledge.
- Grossman, P. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. Teachers College Press.
- Jelicic, K., Planinic, M. et Planinsic, G. (2017). Analyzing high school students' reasoning about electromagnetic induction. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 1-18.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010112>
- Lacroix, R. (2006). Angles et distances, deuxième partie. *ENVOL*, (134), 35-41.
- Magnusson, S., Krajcik, J. et Borko, H. (1999). *Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching*. Dans J. Gess-Newsome et N. Lederman (dir.), *Examining pedagogical content knowledge : The construct and its implications for science education* (p. 95-132). Kluwer.

- Marks, R. (1990). Pedagogical content knowledge: From a mathematical case to a modified conception. *Journal of teacher education*, 41(3), 3–11.
- Mavhunga, E. et Rollnick, M. (2013). Improving PCK of chemical equilibrium in pre-service teachers. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 17(1-2), 113-125.
- Nilsson, P. et Loughran, J. (2012). Exploring the development of pre-service science elementary teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Science Teacher Education*, 23(7), 699-721.
- Ouvrier-Buffet, C. et Perrin-Glorian, M. J. (dir.). (2009). *Approches plurielles en didactique des mathématiques : Apprendre à faire des mathématiques du primaire au supérieur : quoi de neuf ? Colloque DIDIREM, 4-6 septembre 2008, Université Paris Diderot – Paris 7*. Laboratoire de didactique André Revuz. <https://bibnum.publimath.fr/IPS/IPS09002.pdf>
- Park, S. et Oliver, J. S. (2008). Revisiting the conceptualization of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38, 261-284. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9049-6>
- Pepper, R. E., Chasteen, S. V., Pollock, S. J. et Perkins, K. K. (2012). Observations on student difficulties with mathematics in upper-division electricity and magnetism. *Physical Review Physics Education Research*, 8(1), article 010111. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.010111>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Tamir, P. (1988). Subject matter and related pedagogical knowledge in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 4(2), 99-110. [https://doi.org/10.1016/0742-051X\(88\)90011-X](https://doi.org/10.1016/0742-051X(88)90011-X)