

Typologie des difficultés d'apprentissage de l'accélération dans l'enseignement supérieur

IMEN ALIBI¹, JEAN-MARIE BOILEVIN²

*¹Institut Supérieur de l'Éducation et de la Formation Continue
Université Virtuelle de Tunis
Tunisie
paraalibi@gmail.com*

*CREAD, F-29200 Brest
Université de Brest, Université de Rennes
France
jean-marie.boilevin@inspe-bretagne.fr*

ABSTRACT

This research contributes to improving the teaching-learning process of physics with a socioconstructivist aim. Our goal is to identify difficulties and errors, emphasize the concept of acceleration in point mechanics, and try to contain them in order to help students overcome them and promote better learning. This work is based on a bibliographical study of previous research, while adding our own mark in the analysis and synthesis. The results lead to the formulation of a new typology of students' difficulties with the concept of acceleration in point mechanics and its conversion into grids for category adjustment in different contexts.

KEYWORDS

Acceleration, difficulties, student, typology, learning

RÉSUMÉ

Cette recherche contribue à l'amélioration du processus d'enseignement-apprentissage de la physique dans une visée socioconstructiviste. Notre but est de déterminer les difficultés concernant le concept d'accélération et d'essayer de les contenir afin d'aider les étudiants à les franchir et de favoriser un meilleur apprentissage. Ce travail repose sur une étude bibliographique des recherches antérieures, tout en ajoutant notre empreinte dans l'analyse et la synthèse. Les résultats aboutissent à la formulation d'une nouvelle typologie des difficultés des étudiants pour le concept de l'accélération en mécanique du point et à sa conversion sous forme de grilles pour l'ajustement des catégories.

MOTS CLÉS

Accélération, difficultés, étudiant, typologie, apprentissage.

INTRODUCTION

Les recherches liées au concept de difficultés d'apprentissage demeurent évolutives et elles agissent directement sur le statut de ce concept (Bachelard, 1938; Brousseau, 2003; Lajoie, 2009; Régis Mili, 2016). Dans l'étude présentée ici, nous nous intéressons au concept de l'accélération en mécanique du point dans l'enseignement supérieur. Or le choix de ce domaine met en avant les enjeux envisagés et les défis rencontrés, à savoir les défis sociaux

(développement, transition énergétique...), les défis économiques (mondialisation des marchés...) et les défis scientifiques (une mécanique à très petite échelle, la gestion des risques et la révolution numérique...). Quant aux enjeux sociaux, ils concernent les impacts sur le processus d'enseignement- apprentissage et leurs apports à la mécanique du point. Ainsi, nous avons choisi d'élaborer une typologie de difficultés en se référant aux travaux antérieurs concernant l'apprentissage de la mécanique du point et notamment ceux liés au concept de l'accélération pour permettre de proposer ultérieurement de nouvelles solutions pour surmonter ces difficultés.

La première partie aborde la problématique en évoquant quelques concepts clés tels que le concept d'accélération, le concept de difficulté et le concept d'erreur. La deuxième partie expose des recherches antérieures concernant les difficultés et les erreurs afin d'élaborer notre propre typologie des difficultés d'apprentissage chez les étudiants pour le concept de l'accélération en mécanique du point. Dans la troisième partie, nous proposons de convertir cette description en une grille de difficultés applicable dans un contexte universitaire. Finalement, nous synthétisons notre travail dans la conclusion.

PROBLÉMATIQUE

L'histoire de la physique montre que le concept de l'accélération était au début confondu avec la vitesse et a émergé lentement (Basmaji, 2016) avant de prendre la formulation connue de nos jours. Cependant, il n'existe pas, à notre connaissance, de recherches qui mettent en relief les difficultés d'enseignement et d'apprentissage liées au concept de l'accélération.

En didactique des sciences physiques, la plupart des recherches abordent ce concept lors de l'étude de la vitesse, de la force, du mouvement ou des principes et des lois de la mécanique. En effet, Bengloan et Nichelle (2012) abordent les difficultés liées à l'accélération comme variation de la grandeur « vitesse ». De leur côté, les chercheurs Lemeignan et Weil-Barais (1993), Robardet et Guillaud (1997) ainsi que Viennot (2012), renvoient la recherche vers les difficultés liées aux dimensions formelle et empirique de la science physique. Bengloan et Nichelle (2012) évoquent l'accélération lors de l'étude de la deuxième loi de Newton classée dans les difficultés de symboles. D'autres études abordent les difficultés en sciences physiques en général, comme celles liées aux graphiques rencontrés lors de l'apprentissage de l'accélération (Delgado Rodriguez, 2020; McDermott, Rosenquist, & Van Zee, 1987). D'autres études sont plus particulièrement consacrées à la mécanique en se centrant sur les difficultés liées à la modélisation (Lemeignan & Weil-Barais, 1993), ou bien sur des difficultés liées à l'apprentissage des sciences dans l'ensemble, y compris la mécanique du point, tel que celles liées au langage (Astolfi, 2008; Jimenez-Valladares & Perales-Palacios, 2002) ou à la méthodologie (McDermot et al., 1987; Yavuz, 2007). Face à cette dispersion, nous avons essayé de dégager une typologie des difficultés propre à « l'accélération », inspirée de la littérature scientifique.

Nous avons choisi, ici, de traiter les difficultés vécues lors de l'apprentissage de l'accélération en se plaçant dans une vue systémique et globale pour deux raisons. D'une part, aborder les difficultés liées aux causes (vitesse, position...) aide à les surmonter et facilite l'assimilation du résultat (concept d'accélération). D'autre part, aborder la notion d'accélération comme concept clé et indépendant, aide l'apprenant à formuler une vision plus claire sur l'ensemble de la mécanique du point. Par conséquent, il pourrait ainsi définir les relations entre ces divers concepts, d'une façon complémentaire, sans confusion ni ambiguïté. Nous avons donc choisi de traiter les difficultés de l'apprentissage de l'accélération en mécanique du point comme étant une composante dans un système (vitesse, position, mouvement, force...) et comme étant un concept fondamental en cinématique.

CADRE THÉORIQUE

Dans cette partie, nous présentons les définitions de trois concepts clés utilisés en didactique : difficulté, obstacle et erreur, à partir des études antérieures, mais nous chercherons en plus à les discuter en nous attachant à éclaircir les différences et les similitudes. Comme tout domaine, la didactique utilise un champ de concepts qui lui est propre. Et avant d'entrer dans les détails, il faut déterminer le sens de chaque notion et exposer les liens entre eux.

Trois concepts-clés

Difficulté

Selon Brousseau (2003, p. 1), une difficulté est « *un caractère d'une situation¹ qui accroît de façon significative la probabilité de non réponse ou de réponse erronée des sujets actants impliqués dans cette situation* ». Afin d'adapter ce concept aux recherches en éducation, Brousseau définit la difficulté d'une situation par « *l'écart de sa probabilité de réussite avec une certaine 'norme'* ». Pour cet auteur, la complexité de la situation, la probabilité de réussite et le niveau de difficulté sont des variables interdépendantes dans la mesure où la variation de l'une agit sur les autres et nous renseigne sur l'état de rendement didactique.

Obstacle

La philosophie développée par Bachelard communément appelée « la philosophie du non » a valorisé le concept de l'« obstacle » en didactique (Sagaut, 2008). En effet, Bachelard (1938, p. 15) insiste sur le fait qu'« *on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant les connaissances mal faites, en surmontant ce qui dans l'esprit même, fait obstacle...* »

Par la suite, Artigue (1991, p. 259) a précisé les caractères d'un obstacle : 1) « *Un obstacle sera une connaissance, une conception et non une difficulté ou un manque de connaissance ; 2) Cette connaissance produit des réponses adaptées dans un certain contexte fréquemment rencontré ; 3) Elle engendre toutefois des réponses fausses hors de ce contexte ... 4) Cette connaissance résiste aux contradictions auxquelles elle est confrontée et à l'établissement d'une connaissance meilleure. Il ne suffit pas de posséder une meilleure connaissance pour que la précédente disparaisse. 5) Après la prise de conscience de son inexactitude, elle continue à se manifester de façon intempestive et opiniâtre* ».

Brousseau (2003), pour sa part, insiste sur le fait qu'en dehors du domaine de validité, l'apprenant utilise « les connaissances obstacles » sans être conscient. Selon Brousseau (1983) il existerait trois typologies d'obstacles : 1) Obstacles ontogéniques : liés à l'âge, à la neurophysiologie et au développement physiologique de l'apprenant ; 2) Obstacles épistémologiques : liés au savoir et à la construction des connaissances ; 3) Obstacles didactiques : dédiés aux choix d'enseignement. Par exemple, la lumière, comme concept au primaire, est représentée par la couleur blanche/jaune. Au lycée et au niveau supérieur, l'apprenant aura des cours en sciences physiques où on parle de l'existence de sept couleurs de la lumière et de l'inexistence de la couleur blanche.

Erreur

Dans le Larousse, l'erreur est définie comme « *Acte de se tromper, d'adopter ou d'exposer une opinion non conforme à la vérité, de tenir pour vrai ce qui est faux* ». Selon Astolfi (1997), l'erreur possède trois statuts : 1) dans le modèle transmissif où l'erreur est considérée comme

¹ Selon Brousseau, « Une situation est l'ensemble des circonstances dans lesquelles une personne se trouve, et des relations qui l'unissent à son milieu. Prendre comme objet d'études les circonstances qui président à la diffusion et à l'acquisition des connaissances conduit donc à s'intéresser aux situations. Les situations didactiques sont, dans la langue française, des situations qui servent à enseigner ».

une « faute » dont l'élève est responsable ; 2) dans le modèle behavioriste, on parle d'une « bogue » où le défaut est repéré dans la planification ; 3) dans les modèles constructivistes où l'erreur possède un aspect positif en mettant en avant une difficulté objective de l'élève pour s'appropriier le contenu enseigné. En didactique, l'erreur permet de comprendre certaines conceptions et différentes formes de raisonnement de l'apprenant, ce qui permet de déterminer les lacunes et les difficultés puis de les dépasser. Ainsi, dans les recherches récentes, en éducation et en didactique, l'erreur acquiert un statut incontournable.

Après l'identification des trois concepts principaux de notre étude, nous nous interrogeons sur les liens qui existent entre ceux-ci.

Différences et similitudes

Distinction

Si on regarde les différences entre la difficulté et l'obstacle, on remarque au minimum deux niveaux principaux : le rapport aux connaissances antérieures et le rapport aux facteurs externes. La difficulté, selon Brousseau (2003), peut être déterminée par un écart entre une réponse correcte et une mauvaise réponse (relative à la probabilité de réussite précédemment traitée), et il n'y a aucune connaissance parasite à combattre, c'est-à-dire qui n'est pas obligatoirement le résultat de connaissances antérieures. Or, pour Bachelard (1938), les obstacles ne peuvent pas être un manque de connaissance, ou des obstacles externes (la complexité, la fugacité...), mais ils résultent au contraire de connaissances antérieures. L'épistémologie génétique et l'histoire des sciences, aussi, soulignent que les erreurs et les difficultés sont propres à chaque connaissance envisagée (Brousseau, 2003).

Interférences

Bien que ces trois notions (erreur, difficulté et obstacle) se différencient par leur définition, elles possèdent des points communs et des sens complémentaires. A titre d'exemple, citons la définition de l'obstacle par Brousseau (2003, p. 5) qui souligne qu'« *un obstacle (en mathématique) se manifeste par un ensemble de difficultés communes à de nombreux actants (sujets ou institutions), qui partagent « une » conception inappropriée d'une notion mathématique.* ». De même Lajoie (2009, p. 30) définit la difficulté comme « *Ce qu'il y a de difficile en quelque chose : obstacle, barrière... On dit alors qu'une difficulté peut être surmontée, vaincue, tournée. Ce qu'il y a de difficile...* ».

On remarque que les chercheurs expriment l'une des notions par une autre. En effet, Lajoie exploite le mot « obstacle » pour définir la notion de « difficulté » et Vergnaud (1988) et Brousseau (1983) l'approuvent également. De même, Brousseau définit l'obstacle comme un ensemble spécifique de difficultés. Et en abordant la première approche des obstacles, il affirme que si la conception résiste et même si les difficultés semblent disparaître, elles réapparaissent et causent des erreurs.

Ainsi, même en phase de remédiation « *un obstacle ne disparaît pas par petits morceaux, il faut traiter ensemble toutes les difficultés qui le composent* » Brousseau (2003, p. 6). Cette interférence idiomatique nous offre une vision globale dans le cadre de notre recherche. En fait, il est clair qu'on ne peut pas délimiter chaque concept par des frontières isolées, ce qui nous ramène à poser la question sur le rapport entre ces trois notions.

Synthèse et objectifs de la recherche

Certains auteurs définissent les trois concepts indépendamment. En effet, Brousseau (2003) définit la difficulté comme un caractère qui dépend de la probabilité de non réponse ou de réponse erronée. De même, Artigue (1991) souligne qu'un obstacle sera une connaissance, une conception mais pas une difficulté ou un manque de connaissance, et l'erreur est définie comme

« Acte de se tromper » (Dictionnaire Larousse). D'autres impliquent l'un des concepts en définissant l'autre. Par exemple, Brousseau (2003) définit l'obstacle comme un ensemble spécifique de difficultés et Lajoie exploite le mot « obstacle » pour définir la notion de « difficulté ».

Cela nous invite à être sensibles aux points communs (interférences) et aux points de distinctions (distinction) entre les trois concepts. Pour notre part, en observant ces liens entre ces concepts, nous concluons que les erreurs font apparaître les difficultés, qui, à leur tour, font apparaître les obstacles : Erreur → difficulté → obstacle.

Nous nous demandons ainsi quelle typologie adopter pour traiter les difficultés des étudiants débutant dans le supérieur à propos de l'accélération en mécanique du point.

RÉSULTATS

Dans différents domaines, plusieurs recherches (Astolfi, 1997; Auriac & Fiard, 2005; Bachelard, 1983) ont abordé les difficultés comme concept clé et primordial dans le processus d'enseignement-apprentissage ainsi que les stratégies de remédiation. En se basant sur des recherches précédentes (Bengloan & Nichelle, 2012; Brousseau 2003; Delgado Rodriguez, 2020; Goffard & Dumas-Carré, 1993; Laugier & Dumon, 2003; Lefebvre, 2018; Maarouf & Kouhila, 2001; Raouf, Moussetad, & Tlbi, 2016; Roy, 2018; Yavuz, 2007), nous avons pu distinguer huit types de difficultés que nous distinguons dans la présentation des résultats avec des exemples explicatifs et des références issues de la littérature scientifique.

Difficultés de nature épistémologique liée à la science physique

La première difficulté, selon Bengloan et Nichelle (2012), se situe au niveau des notations des grandeurs physiques. En effet, la physique utilise diverses lettres pour la même grandeur ou différentes notations pour la même grandeur (telle que nommer la force normale F_N ou N). Afin d'enlever cette confusion, Hecht (1996) a utilisé la lettre F avec différents indices, exemple : F_p pour la force de pesanteur et F_N pour une force normale.

Cependant, la simplification présente des limitations. En effet, d'après Bengloan et Nichelle (2012), les écritures choisies ne sont pas « toujours complètes », « *Tout dépend du but que l'on veut atteindre dans le cours* ». À ce titre, l'expression $V = d/t$ est valide dans le cas des mouvements uniformes, mais $V = dx/dt$ est la formulation générale de la vitesse instantanée pour une trajectoire plus complexe.

De même, l'expression $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ présente la variation de la vitesse, alors que la difficulté apparaît bien dans le cas d'un mouvement circulaire. En fait, l'apprenant n'arrive pas à assimiler que le mouvement circulaire « peut y avoir une accélération sans variation de l'intensité de vitesse » (Bengloan & Nichelle, 2012, p. 15).

Difficultés de nature épistémologique liée aux mathématiques

La mécanique par ses deux branches, cinématique et dynamique, renvoie la recherche vers les difficultés liées aux dimensions formelle et empirique (Lemeignan & Weil-Barais, 1993; Robardet & Guillaud, 1997; Viennot, 2002) de la science physique. En effet, rencontrer des difficultés en mathématiques peut induire des difficultés à réussir en cinématique en raison d'une mauvaise assimilation du problème suggéré, vue la déconnexion de ces deux dimensions.

Certains auteurs insistent sur « *les difficultés des sujets liées à l'apprentissage des connaissances mathématiques dans la situation source et sur la dynamique de leur mobilisation dans les activités de modélisation* » (Raouf et al., 2016, p. 196). Ces erreurs reflètent généralement des difficultés liées au calcul algébrique (addition, multiplicité, division, ...) dont

la mathématique est la science source. Ces mêmes chercheurs renvoient ces difficultés aux facteurs suivants : « a) *La non-maîtrise, dans la situation source, des connaissances à mobiliser (de mathématiques vers les sciences physiques et inversement)* b) *La quasi-absence des réflexes d'articulation et de mise en relation entre la situation source et la situation cible (...)* c) *L'adoption des stratégies de mémorisation au dépend des stratégies cognitives propices au transfert* d) *Des positions contractuelles reflétant l'existence des barrières quasi-imperméables entre les deux disciplines* ». Delgado Rodriguez (2020) signale de son côté que « *les connexions entre concepts physiques et concepts mathématiques sont manquantes* ». Elle note que certains apprenants ne peuvent pas passer d'une forme à une autre (forme de tableau, représentation graphique, définition par un discours en langage verbal, algébrique...). De plus, Bengloan et Nichelle (2012) évoquent des problèmes liés aux signes algébriques. En effet, dans la deuxième loi de Newton ($F_p + (-F_f) = ma$) « *l'accélération peut être négative ou positive suivant la situation* », bien qu'aucun « *signe n'apparaît devant l'accélération* », d'où la nécessité d'effectuer un calcul. La confusion entre le signe dans une valeur algébrique et le signe dans une grandeur dans une relation est abordée également par Viennot (2002). En plus, l'utilisation des symboles tels que (Δ) ou f peut causer des difficultés de compréhension chez l'apprenant.

Difficultés de nature épistémologique liée au rapport de la physique avec d'autres disciplines (technologie, chimie, etc.)

McDermott et al. (1987) notent dans leurs recherches plusieurs difficultés du type : les apprenants « *ne reconnaissent pas que le mouvement de la bille doit être représenté par une ligne continue* » et « *les étudiants semblent ignorer que les valeurs mesurées ne sont pas des approximations et que la régularité observée dans un mouvement continu doit être représenté en ajustant une courbe lisse aux points de données* ». Ces difficultés peuvent être rencontrées soit en physique, soit en technologie (pour la première difficulté), soit en chimie (pour la deuxième difficulté). En effet, la plupart des systèmes éducatifs dans le monde entier exigent un cloisonnement des matières par une indépendance et une isolation de leurs programmes. C'est pourquoi, bien que ces connaissances soient enseignées et bien traitées par les apprenants dans les matières sources, les étudiants n'arrivent pas toujours à résoudre les mêmes problèmes lorsqu'on change le contexte ou bien la matière.

Difficultés de nature épistémologique liée à l'informatique

Dans le contexte de l'intégration des TICE dans l'apprentissage de la mécanique en sciences physiques, Flavell (1976), Nelson et Narens (1994), Noël (1997), ainsi que Veenman (2006) valorisent le concept de métacognition et le rôle primordial de l'auto-évaluation par l'apprenant dans l'amélioration du processus d'apprentissage.

L'une des difficultés les plus fréquentes concerne la fiabilité des corrections par les enseignants vis-à-vis de l'unicité des variables et des indicateurs de correction par les TICE. Cependant, il existe diverses difficultés liées au TICE. Ainsi, nous avons proposé un questionnaire ouvert sur ce sujet à des enseignants d'informatique dans différents gouvernorats de la Tunisie (Sidi Bouzid, Monastir, Médenine et Kairouan). D'après les réponses des enseignants qui ont répondu au questionnaire, nous avons repéré les difficultés suivantes : a) des difficultés liées à l'utilisation de l'informatique en général ; b) des difficultés liées à l'utilisation du matériel informatique ou aux compétences des utilisateurs ; c) des difficultés de fiabilité des systèmes, des réseaux et de l'internet : risque de rester des heures/jours sans accès au réseau souhaité, local ou internet ; d) des difficultés liées à l'acceptabilité chez les apprenants des exercices par TICE et le niveau de leur motivation : les apprenants ne sont pas toujours ouverts à l'innovation. Ils considèrent la technologie comme un moyen de loisir et non de formation ; e) des difficultés de fiabilité des résultats puisque le moindre facteur qui change peut bouleverser tout le reste ; f) des difficultés d'équilibrage entre apprentissage coopératif et

collaboratif ; g) des difficultés au niveau des coûts financiers en cas d'utilisation de matériel informatique en physique ; h) des difficultés au niveau de l'assimilation de la logique informatique pour résoudre les problèmes, alors que les apprenants sont habitués à la logique mathématique/physique : la démarche de résolution des problèmes utilisée en informatique diffère de celle en physique ou en mathématiques de point de vue outils et formation.

Difficultés de nature didactique

Au sujet de l'interprétation des représentations graphiques, des constats ont été mentionnés dans les travaux d'Artigue, Saltiel, & Viennot (1981), à savoir celui décrivant l'étudiant qui n'arrive pas à observer l'utilité des représentations graphiques dans la résolution des problèmes (Delgado Rodriguez, 2020). Ces conceptions qui se transforment d'un préjugé à une décision d'agir ou d'inhiber l'action influencent négativement le processus d'apprentissage d'un savoir. De même, Trabelsi (2016) souligne les difficultés et les obstacles induits par les conceptions erronées à propos quelques concepts en mécanique. Quant à Toussaint (2004, p. 4, cité par Bengloan & Nichelle, 2012), il considère que les modèles tels que les représentations graphiques servent à « rendre observable l'inobservable » ou à « rendre visible l'invisible ». Néanmoins, certaines modélisations utilisées renforcent « les représentations non représentables » chez l'apprenant. Ainsi, le travail de McDermott et al. (1987) illustre des difficultés à relier les graphiques au monde réel. Et en mécanique, les apprenants représentent les grandeurs physiques (accélération, force, ...) et ils oublient ou ignorent que c'est un concept formel et pensent que c'est de la réalité physique matérielle. Et pour qu'ils soient conscients de cette confusion, Lemeignan et Weil-Barais (1993, p. 54) citent l'anecdote d'un enseignant : « si vous trouvez une force, ramenez-la moi et peignez-la envert ». Les difficultés liées aux activités de modélisation peuvent être catégorisées comme suit : difficultés liées à la définition du système étudié, difficultés liées à l'inventaire des grandeurs physiques dans le système étudié, et difficultés liées à la représentation vectorielle des grandeurs physiques tel que la force ou l'accélération. Selon Akpan (2001) la simulation motive les élèves à apprendre les sciences. Or pour Efe et Efe (2011), la simulation améliore les sept niveaux : connaissance, compréhension, application, analyse, synthèse et évaluation.

Difficultés de nature épistémologique liée au langage

L'importance des mots pour tout champ de connaissance réside dans le fait qu'ils présentent un « support de concepts ; Ils doivent permettre d'exprimer sans ambiguïté les raisonnements et les débats disciplinaires » (Astolfi, 2008, p. 23). Plusieurs chercheurs tel que Lemeignan et Weil-Barais (1993) et Jimenez-Valladares & Perales-Palacios (2002) ont abordé les conceptions induites par le vocabulaire.

En particulier, les expressions en langage courant et en langage physique viennent à l'esprit car ils peuvent provoquer des obstacles polysémiques. En effet, les mots changent de sens dans les deux contextes, social ou physique (par exemple, le moment est une grandeur de temps équivalente à un instant dans le sens commun, mais une grandeur physique liée généralement à la force et traduisant l'aptitude de cette dernière à faire tourner un système mécanique).

Le langage peut aussi induire la conception erronée ou, comme le mentionne Yavuz (2007), des difficultés méthodologiques. Dans le langage courant, l'accélération ne peut être qu'une augmentation de vitesse. En effet, entendre dire « N'accélère pas, on va tourner à gauche ! » (Tourner, virer = changer de direction), signifie que l'accélération ne peut être qu'une augmentation de vitesse. Or, en sciences physiques le changement de direction sans variation de vitesse implique une accélération.

Difficultés de nature psycho-socio-culturelle

Certaines difficultés psycho-socio-culturelles peuvent toucher l'apprentissage d'une discipline en général, et spécifiquement la mécanique. En fait, dans le cadre socioconstructiviste (Bruner, 1960; Vygotski, 1934/1997), l'apprenant est invité, non seulement à posséder une bonne formation et des connaissances, mais aussi une aptitude à communiquer, interagir avec son environnement et effectuer des débats scientifiques. Selon Vygotski (1934/1997, p. 163), chaque fonction dans le développement culturel de l'enfant apparaît deux fois : d'abord, sur « *le plan social et, plus tard, au niveau individuel; d'une part, entre les gens (inter-psychologique) et ensuite à l'intérieur de l'enfant (intra-psychologique)* ». Ainsi, l'individu construit son savoir à partir de ses connaissances et de ses expériences antérieures, par l'interaction et le partage des idées et par la comparaison de ses idées avec d'autres. En effet, une opposition entre les apprenants les amène à reconsidérer leur propre point de vue grâce à l'argumentation et à la communication, ce qui donne lieu à la résolution de problèmes (Vygotski, 1934/1997). L'idée que l'insertion sociale agit sur la personnalité, la dimension culturelle chez l'apprenant (Lesne, 1977, cité par Goffard & Dumas-Carré, 1993, p. 3). Mais certains apprenants rencontrent des difficultés à s'intégrer ou à s'exprimer, du fait que certains ne sont pas assez sociaux, timides, isolés ou même autistes. Plusieurs recherches ont montré que l'emboîtement de chaque discipline, par l'aspect institutionnel et abstrait à l'abri des pratiques sociales, crée chez l'apprenant une démotivation, une minimisation de l'attention, et même une réticence à l'apprentissage, spécifiquement des disciplines scientifiques qu'un grand nombre considère comme difficiles et ennuyantes. Ces difficultés semblent expliquées par des recherches récentes en sciences cognitives, par exemple celles de Masson (2007) ou bien encore de Dehaene (2013). Ce dernier chercheur explique que l'attention aide l'apprenant à sélectionner les informations et à ajuster l'activité cérébrale, tout en facilitant l'apprentissage et la mémorisation.

Difficultés de nature méthodologique

Dans notre recherche, nous nous intéressons à la méthode du point de vue du raisonnement logique et scientifique, c'est-à-dire que nous visons les stratégies et la démarche pour résoudre les problèmes ou effectuer un simple choix des données expérimentales ou des données de mesures.

Les deux dimensions (empirique et théorique) de la science physique nécessitent des compétences et des capacités pour réussir cette association entre les deux dimensions, pour la résolution d'un problème scientifique, y compris la mécanique, et nécessitent la possession d'un certain niveau d'esprit logique et d'aspect méthodologique. En effet, dans leurs travaux, Johsua et Dupin (1993) ont pu déterminer des difficultés liées au raisonnement, à l'absence de stratégie, à la pratique de raccourcis non contrôlés et à la maîtrise d'activités sémiotiques.

Des recherches publiées, telles celle de Yavuz (2007), ont pu résumer les aspects des difficultés méthodologiques : 1) l'apprenant peut ne pas avoir une stratégie (méthode) 2) même s'il la possède, il pourrait ne pas l'utiliser ou ne saurait pas comment l'appliquer 3) l'apprenant peut effectuer des choix qui n'ont aucun rapport avec le problème posé 4) il peut privilégier la solution (le but à atteindre) au détriment de sa pertinence, tel qu'un saut rapide, une étape manquante ou des raccourcis divers. Ce même auteur (Yavuz, 2007, p. 37) signale que « *l'étudiant veut tout de suite manipuler des équations alors que l'expert (professeur par exemple) effectue d'abord d'autres étapes dans sa résolution avant de passer aux manipulations algébriques* ». En fait, la stratégie de résolution, l'analyse qualitative et l'imitation du professeur par l'apprenant, sont les aspects méthodologiques nécessaires pour la résolution d'un problème scientifique et spécifiquement en mécanique. En effet, les grandeurs physiques (telle que l'accélération) et les différentes données sont à classer entre utiles, utilisables ou ni utiles ni utilisables, selon le contexte de la problématique proposée.

Des recherches effectuées par McDermott, et al. (1987) montrent que l'apprenant

éprouve des difficultés à décider quelles données prendre et comment profiter de leurs mesures de façon incitative et appropriée. De ce fait, il est important que l'apprenant soit conscient de la démarche faite qui comprend « *la sélection du référentiel, le recueil des données, le traitement des données, la prise en compte des simplifications et des choix faits lors de l'analyse du phénomène réel* » (Delgado Rodriguez, 2020, p. 17).

DISCUSSION ET CONCLUSION

À partir d'une revue de la littérature, nous avons constaté que la majorité des recherches aborde le concept de l'accélération du point de vue de ses rapports aux concepts fondamentaux tels que la position ou la vitesse, mais nous n'avons pas trouvé d'étude centrée sur le fondement de ce concept. Notre propre étude visait la construction d'une typologie des difficultés propre au concept de l'accélération en mécanique du point tout en mettant en valeur l'interaction entre les différents domaines (mathématiques, physique, chimie, technique...) et les différents champs conceptuels. Et de là réside la nécessité de considérer la dimension interdisciplinaire dans l'enseignement des sciences. Nous distinguons finalement 8 types de difficultés :

1. Difficultés de nature épistémologique liées à la science physique : notation des grandeurs physiques; limitations à la simplification des unités; confusions liées à la précision du système ou liées aux graphiques; manque de connaissances ;
2. Difficultés de nature épistémologique liées aux mathématiques : liées à l'apprentissage des connaissances mathématiques dans une situation ; manque de connaissances mathématiques, dynamique de leur mobilisation, passage d'une forme à une autre, problèmes liés aux signes ; confusions liées à l'utilisation des formules, des symboles, des graphiques ;
3. Difficultés de nature épistémologique liées à l'informatique ;
4. Difficultés de nature épistémologique liées au rapport de la physique avec d'autres disciplines (technologie, chimie...) : confusion, cloisonnements liés aux graphiques, manque de connaissances ;
5. Difficultés de nature épistémologique liées au langage : conceptions induites par le vocabulaire, obstacles polysémiques, usage d'une langue étrangère ;
6. Difficultés de nature épistémologique liée à la pédagogie : fiabilité des corrections selon l'enseignant, conceptions erronées, ne tracer un graphique que lorsqu'il est demandé explicitement, liées à la modélisation, liées au curriculum, relier les graphiques au monde réel, confusion entre concept formel/ réalité physique matérielle, manque d'attention et de concentration, mémorisation/ oubli, automatisme ;
7. Difficultés de nature psy-socio-culturelle : difficulté d'exprimer ses idées/effectuer des débats scientifiques/ s'intégrer, démotivation pour des disciplines considérées difficiles et ennuyantes, confiance en soi, difficulté psychologique interne ;
8. Difficultés de nature méthodologique : liées à une stratégie ou une démarche, interférence entre les dimensions empirique et théorique, manque d'esprit logique et d'aspect méthodologique, liées au raisonnement et l'argumentation, liées à la pratique de raccourcis non contrôlés, à la maîtrise d'activités sémiotiques, effectuer des manipulations algébriques sans les autres étapes de résolution, difficulté à choisir des données à prendre en compte dans la réponse ou la résolution et à traiter des données, prise en compte des simplifications, choix faits lors de l'analyse du phénomène réel, difficultés liées à des erreurs en série.

Ce travail propose de lire l'évolution d'une typologie des difficultés au regard de deux axes : un axe individuel inscrit dans une perspective métacognitive et un axe collectif inscrit dans une

perspective socioconstructiviste. Cependant, toute recherche a besoin d'être testée afin d'être validée et applicable. À cet effet, nous avons testé cette grille dans un contexte universitaire appliqué dans un mémoire de master (Alibi, 2021) sur 256 copies d'examens d'étudiants de première année en licence fondamentale de sciences physiques (LFP1) et mathématiques (LFM1) de la faculté des sciences de Bizerte.

Les premiers résultats statistiques obtenus après l'application de la typologie montrent que l'aspect de l'examen (aspect physique ou mathématique) ne dépend pas du type de licence. Cependant, nous remarquons l'impact de l'aspect mathématique (cinématique) et l'aspect physique (dynamique) de l'examen sur les types de difficultés rencontrées et leurs complexités, où les difficultés mathématiques rendent l'assimilation des problèmes physiques plus difficile. Ainsi, d'une part, cela renforce les résultats trouvés pour la recherche de Raouf et al. (2016) concernant les disciplines (et les situations) source et cible. Par ailleurs, ces doublets (aspect maths-physique / cinématique-dynamique) incluent les sens de « théorique, calcul mathématique et logique, formel », et les sens de « interprétation physique, pratique, mobilisation de connaissance et dynamique de savoir », qui montrent que l'apprentissage du concept visé dépend d'une forte connexion entre les deux dimensions empirique et formelle de la mécanique (cinématique et dynamique).

Le but de notre étude était, d'une part, d'améliorer le contenu de savoir et d'autre part, d'améliorer le processus d'enseignement. Ainsi, on trouve plusieurs pistes d'extension de notre travail : pour le premier but, nous pourrions utiliser le logiciel de statistique SPSS afin de mieux analyser les liens entre les diverses dimensions (formelle- empirique / cinématique-dynamique) et dévoiler les relations entre les difficultés mathématiques et les difficultés liées à l'assimilation d'un domaine physique par la collaboration avec des enseignants universitaires de sciences physiques et informatiques. Concernant le second but, on pourrait améliorer le processus d'enseignement par l'intégration des TICE qui aboutirait ainsi à un instrument (Rabardel, 1995) puissant pour mettre en place un dispositif d'aide des étudiants comme la construction d'un software spécifique à la mécanique du point (collaboration possible avec des informaticiens) qui tient compte de la spécificité de chaque concept scientifique tel que le concept de l'accélération.

RÉFÉRENCES

- Akpan, J. P. (2001). Issues associated with inserting computer simulation into Biology instruction: A review of the literature. *The Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*, 5(3). Retrieved from <https://ejrsmc.icrsmc.com/article/view/7656>.
- Alibi, I. (2021). *Élaboration des critères de conception d'un software de simulation de l'accélération en mécanique du point*. Mémoire de recherche, Université Virtuelle de Tunis ; Tunisie.
- Auriac, E., & Fiard, J. (2005). *L'erreur à l'école, petite didactique de l'erreur scolaire*. Paris: L'Harmattan.
- Artigue M. (1991) Épistémologie et didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2/3) 241-285.
- Artigue, M., Saltiel, E., & Viennot, L. (1981). *Fonctions et représentations graphiques*. Paris: I.R.E.M.
- Astolfi, J. P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris: ESF.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- Basmaji, S. (2016). *Histoire de la science mécanique (étapes de développement de cinématique, dynamique et statistique) et les contributions des scientifiques arabes et musulmans*. Burut,

Lebanon: Dar Al-kotob Al ilmiah.

Bengloan, J. Y., & Nichelle, R. (2012). *Réflexions sur les obstacles liés à la transposition didactique en physique*. Mémoire professionnel, Haute École Pédagogique Vaud, Lausanne, Suisse. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/R%C3%A9flexions-sur-les-obstacles-li%C3%A9s-%C3%A0-la-didactique-BengloanNichele/ae2e0d1b2e5350fa4de096646608bc7c423293ee>.

Bruner, J. (1960). *The Process of Education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Brousseau, G. (1983) Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 4(2), 165-198.

Brousseau, G. (2003). *Erreurs, difficultés, obstacles*. DAEST, Université Bordeaux 2. Retrieved from <https://guy-brousseau.com/1659/erreurs-difficultes-obstacles-2003/>.

Dehaene, S. (2013). Les quatre piliers de l'apprentissage, ou ce que nous disent les neurosciences. *Paris Innovation Review*. Retrieved from <http://parisinnovationreview.com/article/les-quatre-piliers-de-lapprentissage-stanislas-dehaene>.

Delgado Rodríguez, I. (2020). *L'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique comme une stratégie possible pour surmonter des difficultés dans l'interprétation des représentations graphiques $x(t)$ de la cinématique classique*. Thèse de doctorat, Université de Paris, Paris, France.

Efe, H. A., & Efe, R. (2011). Evaluating the effect of computer simulations on secondary Biology instruction: An application of Bloom's taxonomy. *Scientific Research and Essays*, 6(10), 2137-2146.

Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence* (pp. 231-236). Hillsdale, NJ: Erlbaum

Goffard, M., & Dumas-Carré, A. (1993). Le problème de physique et sa pédagogie. *Aster*, 16, 9-28.

Hecht, T. (1996). An alternative life history approach to the nutrition and feeding of Siluroidei larvae and early juveniles. *Aquatic Living Resources*, 9(5), 121-133.

Jimenez-Valladares, J. D., & Perales-Palacios, F. J. (2002). Modélisation et représentation graphique de concepts. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 841(96), 397-417.

Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: PUF.

Lajoie, C. (2009). *Un groupe en quête de théorie : Un problème pour les étudiants en maths !* Montréal: Éditions Bande didactique.

Laugier, A., & Dumon, A. (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques. *Didaskalia*, 22, 69-97.

Lefebvre, O. (2018). *Évolution des conceptions en physique d'étudiants de première année d'enseignement supérieur et réceptivité des enseignants du supérieur aux travaux de recherche en didactique*. Thèse de doctorat, Université Sorbonne Paris, France.

Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique : L'enseignement de la mécanique*. Paris: Hachette.

Maarouf, A., & Kouhila, M. (2001). La dynamique élémentaire dans l'enseignement fondamental marocain : Analyse des difficultés d'apprentissage de la notion de force. *Didaskalia*, 18, 41-59.

Masson, S. (2007). Enseigner les sciences en s'appuyant sur la neurodidactique des sciences. In P. Potvin, M. Riopel & S. Masson (Dir.), *Enseigner les sciences : Regards multiples* (pp. 308-321). Québec: Éditions MultiMondes.

- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., & Van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503-513.
- Nelson, T. O., & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition? In J. Metcalfe & A. P. Shimamura (Eds.), *Metacognition: Knowing about knowing* (pp. 1-25). The MIT Press.
- Noël, B. (1997). *La métacognition*. Bruxelles: De Boeck & Larcier.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin.
- Raouf, K., Belazzaar, I., Radi, M., Moussetad, M., & Tlbi, 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), 185-198.
- Régis Mili, I. (2016). *Identification d'obstacles et de difficultés inhérents à l'apprentissage de l'algèbre abstraite*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Canada. Retrieved from <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/16438>.
- Robardet G., & Guillaud J.-C. (1997). *Élément de didactique des sciences physiques*. Paris: Presse Universitaire de France.
- Roy, P. (2018). *Modèles et en physique dans les pratiques d'enseignement d'enseignants québécois du secondaire : Le cas de la cinématique*. Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, Canada.
- Sagaut, P. (2008). *Introduction à la pensée scientifique moderne*. Université Pierre et Marie Curie – Paris 6, Paris, France
- Trabelsi, H. (2017). Innover l'enseignement des sciences physiques en ISFM par l'utilisation de l'histoire des sciences. *HAL*, (hal-01441626). Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01441626>.
- Veenman, M. V. J. (2006). The role of intellectual and metacognitive skills in math problem solving. In A. Desoete & M. V. J. Veenman (Eds.), *Metacognition in mathematics education* (pp. 35-50). Hauppauge: Nova Science Publishers.
- Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. In J. Hiebert & M. Behr (Eds.), *Number concepts and operations in the middle grades* (pp. 141-161). Hillsdale, NJ: Erlbaum and Reston.
- Viennot, L. (2002). *Enseigner la physique*. Paris: de Boeck.
- Vygotski, L.S. (1934/1997). *Pensée et langage*. Paris: La Dispute.
- Yavuz, A. (2007). *Stratégie de résolution d'exercice en mécanique du point matériel. Stratégie des enseignants et difficultés des étudiants de la première année universitaire. Exemple du problème de la machine d'Atwood*. Thèse de doctorat, Université Joseph-Fourier, France. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00174030>.