



Difficultés de modélisation vectorielle des forces en mécanique chez les élèves du tronc commun scientifique au Maroc

El khamiss BARKA, Mouna LAATAR, Mohammed ABID (*)

Laboratoire de Recherche Scientifique et Innovation Pédagogique (ReSIP) ; Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation, Madinat Al Irfane, B.P. 3210, Rabat ; Maroc

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

Résumé: Cette étude vise à identifier les difficultés rencontrées par les élèves du tronc commun scientifique marocain (Grade 10) dans l'utilisation du concept de vecteur en mécanique, notamment dans des situations de modélisation liées à l'équilibre d'un solide. Elle cherche à examiner dans quelle mesure le vecteur est mobilisé comme outil de raisonnement et de modélisation des actions mécaniques.

La méthodologie adoptée repose sur une approche descriptive analytique des productions des élèves. L'étude a été menée auprès d'un échantillon de 120 élèves du tronc commun scientifique. Un test de diagnostic, composé de trois exercices progressifs, a été élaboré afin d'évaluer la capacité des élèves à identifier les forces s'exerçant sur un système, à les représenter vectoriellement, à coordonner les registres, et à déterminer les intensités des forces par des méthodes graphique et analytique.

Les résultats montrent que, malgré une certaine maîtrise formelle du vecteur dans des contextes simples, son usage demeure largement procédural. Les élèves éprouvent des difficultés persistantes dans l'identification et la caractérisation des forces, la coordination des registres mathématiques et physiques, ainsi que dans l'exploitation quantitative des diagrammes de forces. La tâche la plus complexe concerne la détermination des intensités des forces, avec des taux de réussite très faibles pour la méthode graphique (11 %) et la méthode analytique (4 %). Ces résultats indiquent que le vecteur n'est pas encore conceptualisé par les élèves comme un invariant opératoire assurant la cohérence de la modélisation.

Mots-clés : Vecteur, force, didactique, modélisation, méthode graphique, méthode analytique

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.1834660>

Difficulties in vector modelling of forces in mechanics among Moroccan pupils at the core science level

Abstract: This study aims to identify the difficulties encountered by Moroccan pupils in the core science level (10th Grade) in using the concept of vectors in mechanics, particularly in modelling situations related to the equilibrium of a solid. It examines the extent to which vectors are used as a tool for reasoning and modelling mechanical actions.

The methodology adopted is based on a descriptive analytical approach to pupils' work. The study was conducted with a sample of 120 core science pupils. A diagnostic test, consisting of three progressive exercises, was developed to assess pupils' ability to identify the forces acting on a system, represent them vectorially, coordinate the registers, and determine the intensities of the forces using graphical and analytical methods. The results show that, despite a certain formal mastery of vectors in simple contexts, their use remains largely procedural. Pupils continue to experience difficulties in identifying and characterising forces, coordinating mathematical and physical registers, and making quantitative use of force diagrams. The most complex task involves determining the intensities of forces, with very low success rates for the graphical method (11%) and the analytical method (4%). These results indicate that vectors are not yet conceptualised by pupils as an operational invariant ensuring the consistency of modelling.

Keywords: Vector, force, teaching, modelling, graphical method, analytical method

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo>.

1 Introduction

La conception et l'élaboration des projets d'enseignement constituent des étapes essentielles pour le développement de stratégies pédagogiques efficaces. Toutefois, ces démarches ne peuvent être pleinement pertinentes sans un repérage préalable et une analyse approfondie des obstacles à l'apprentissage susceptibles d'être générés par le contenu même du savoir à enseigner. À ce titre, l'apprentissage de la mécanique a fait l'objet de nombreuses recherches mettant en évidence le rôle des conceptions erronées des élèves comme obstacles majeurs à l'appropriation du concept de force. Plusieurs travaux, notamment ceux de Viennot (1986), Twigger et al. (1994), Brasquet (1999), Maarouf et Kouhila (2001) ou encore Koffi (2010), ont montré la persistance de ces conceptions, tandis que Ba (2011) s'est plus particulièrement intéressé aux difficultés d'articulation entre mathématiques et physique, en lien avec les concepts de vecteur et de grandeur physique vectorielle. Ces recherches soulignent l'existence de préconceptions chez les apprenants, notamment en ce qui concerne les interactions de contact, souvent révélées par une mauvaise identification du point d'application de la force. Comme le souligne Ménigaux (1986), l'idée selon laquelle une force pourrait être transmise ou transposée constitue une erreur fréquente et problématique dans le raisonnement des élèves.

Dans le cadre de l'enseignement de la mécanique, ces difficultés conceptuelles sont souvent renforcées par une utilisation inadéquate du formalisme mathématique. En effet, comme le montre Redish (2005), les apprenants tendent à mobiliser les outils mathématiques en physique selon un registre essentiellement procédural, en les traitant comme des objets formels décontextualisés, sans les relier explicitement à leur signification physique ni aux hypothèses du modèle mobilisé. Cette dissociation entre raisonnement mathématique et raisonnement physique apparaît de manière particulièrement marquée dans les situations de modélisation faisant intervenir le produit scalaire. Ainsi, l'étude de Chaik et al. (2025) montre que les difficultés rencontrées par les élèves dans la modélisation du travail et de la puissance d'une force relèvent moins de la manipulation algébrique du produit scalaire que d'une maîtrise insuffisante de la modélisation vectorielle préalable, notamment dans l'identification des vecteurs physiques et la détermination de l'angle entre force et déplacement. Ces résultats confirment le rôle central du vecteur comme outil de médiation entre situation physique et formalisation mathématique.

Dans cette perspective, il apparaît que la démarche d'enseignement-apprentissage du concept de force tend fréquemment à réduire les situations problèmes de mécanique à de simples problèmes de géométrie vectorielle. Une telle approche excessivement formalisée conduit alors à intégrer, dans le savoir enseigné, des erreurs pourtant largement dénoncées par la recherche en didactique des sciences, notamment celles liées à la transposition ou à la localisation incorrecte de la force. Des études récentes confirment que les conceptions erronées des élèves et des étudiants en mécanique persistent lorsque l'enseignement privilégie une approche formelle des vecteurs, sans ancrage conceptuel physique solide, ce qui limite la restructuration des idées spontanées vers les modèles scientifiques acceptés (Robertson, 2021 ; Aryani et al., 2024).

Par ailleurs, les recherches récentes en éducation scientifique soulignent que les représentations symboliques et conceptuelles des grandeurs physiques, telles que la force ou le vecteur, sont souvent introduites de manière descendante, sans être discutées, confrontées ou construites avec les élèves. Dans ce contexte, ces derniers sont principalement sollicités pour appliquer des modèles formels à des situations écrites, sans réelle appropriation conceptuelle ni activité de conceptualisation active (Resbiantoro, 2022). Cette approche procédurale, bien que largement répandue, empêche les apprenants de dépasser leurs conceptions initiales pour accéder à une compréhension scientifique fonctionnelle et transférable à de nouvelles situations.

Dans le prolongement de ces travaux mettant en évidence à la fois le rôle des conceptions erronées et les limites d'un usage formel et décontextualisé des mathématiques en mécanique, la présente recherche s'inscrit dans une perspective empirique au niveau du tronc commun scientifique (Grade 10). À partir de notre expérience dans l'enseignement de physique au secondaire qualifiant, nous avons constaté que de nombreux apprenants éprouvent des difficultés persistantes dans l'utilisation du concept de vecteur, notamment pour identifier les caractéristiques d'une force, la représenter graphiquement et projeter des vecteurs dans un repère orthonormé. Ces constats, en cohérence avec les résultats de la littérature, conduisent à interroger les difficultés liées à l'application et à l'opérationnalisation du vecteur dans la modélisation des situations-problèmes en mécanique. La question centrale de cette étude est donc la suivante : quelles difficultés les apprenants du tronc commun scientifique rencontrent-ils dans l'utilisation du concept de vecteur lors de l'apprentissage et de la résolution des situations-problèmes en mécanique ?

2 Éléments conceptuels

2.1 Statut conceptuel de la force et rôle du vecteur

En mécanique newtonienne, la force est une grandeur abstraite et relationnelle, non directement perceptible, dont l'existence est inférée à partir de ses effets observables sur le mouvement ou la déformation des corps. Cette nature non phénoménologique explique que la force constitue, pour les apprenants, un concept théorique difficilement stabilisable, nécessitant un processus de modélisation explicite. Épistémologique comme grandeur vectorielle (intégrant simultanément point d'application, direction, sens et intensité) ne relève pas d'un simple formalisme mathématique, mais d'un choix épistémologique central permettant de rendre compte des interactions mécaniques dans des situations d'équilibre et de dynamique.

Des travaux récents en didactique de la physique montrent que le vecteur agit comme un outil de médiation conceptuelle entre la situation physique réelle et son traitement théorique par les lois de Newton, à condition que sa fonction modélisatrice soit clairement explicitée (Meltzer & Thornton, 2012; Rosengrant et al., 2009). Cependant, plusieurs études empiriques récentes indiquent que cette articulation entre signification physique de l'interaction et représentation vectorielle demeure fragile chez les élèves, en particulier lorsque l'enseignement privilégie des procédures algorithmiques (tracé, calcul, projection) au détriment d'une réflexion sur le statut du vecteur comme représentation d'une interaction (Planinić et al., 2012); Kohl & Finkelstein, 2008). Dans ces conditions, le vecteur est souvent réduit à un objet graphique ou mathématique décontextualisé, ce qui entrave la construction d'un raisonnement mécanique cohérent et limite la capacité des élèves à transférer leurs connaissances à des situations nouvelles ou complexes.

2.2 Modélisation des forces

La modélisation des forces repose sur leur représentation sous forme de vecteurs, ce qui permet de passer d'une situation physique concrète à un modèle théorique exploitable par les lois de Newton. Cette modélisation est formalisée à l'aide du diagramme des forces (*free-body diagram*), qui consiste à isoler le système étudié et à représenter toutes les interactions exercées sur celui-ci par des vecteurs appliqués au système (Serway & Jewett, 2014). Chaque force est modélisée par un vecteur défini par quatre caractéristiques indissociables : le point d'application, la direction, le sens et l'intensité, cette dernière étant représentée graphiquement par la longueur du vecteur selon une échelle choisie (Tipler & Mosca, 2008). Cette représentation vectorielle ne constitue pas un simple outil graphique, mais un instrument de modélisation scientifique permettant d'exprimer les lois fondamentales de la mécanique, notamment la deuxième loi de Newton et la condition d'équilibre statique $\sum \vec{F} = \vec{0}$ (Goldstein et al., 2002). Elle permet également d'analyser la composition des forces par addition vectorielle ou fermeture du polygone des forces, et facilite la transition entre le registre graphique et le registre mathématique des équations du mouvement. Plusieurs travaux en didactique de la physique soulignent que cette modélisation n'est conceptuellement efficace que si le vecteur est explicitement interprété comme la représentation d'une interaction physique et non comme un simple objet géométrique ou mathématique décontextualisé (Arons, 1997).

2.3 Le concept de vecteur dans les curricula marocains : une lecture croisée mathématiques– physique

L'examen curriculaire du concept de vecteur dans les programmes marocains du collège et du lycée repose sur une lecture croisée des programmes officiels de mathématiques et de physique-chimie. Cette analyse met en évidence une organisation disciplinaire différenciée, dans laquelle le vecteur est d'abord introduit en mathématiques comme un objet de savoir formel, avant d'être mobilisé en physique comme un outil de modélisation des phénomènes mécaniques, conformément aux orientations pédagogiques en vigueur.

Dans les programmes de mathématiques du collège et du lycée (MEN, 2009, 2007), le vecteur est explicitement enseigné comme un objet conceptuel relevant du calcul vectoriel et de la géométrie. Les contenus portent notamment sur l'égalité de vecteurs, leur addition, la relation de Chasles, la multiplication par un réel, la colinéarité, l'alignement de points ainsi que la définition vectorielle du milieu d'un segment. Les capacités attendues privilient la maîtrise des propriétés algébriques et géométriques, ainsi que les représentations graphiques associées. Dans ce cadre, le vecteur est majoritairement traité comme un objet abstrait, dont la contextualisation physique demeure limitée.

À l'inverse, dans les programmes de physique-chimie, le vecteur n'est pas abordé comme un objet d'étude autonome, mais comme un instrument de représentation et de modélisation des grandeurs mécaniques. Au collège, il est mobilisé pour décrire le poids $\vec{P} = m\vec{g}$, les forces de contact, la force exercée par un ressort, les conditions d'équilibre d'un corps soumis à deux forces, ainsi que les vecteurs vitesse moyenne et vitesse instantanée (MEN, 2015). Au niveau du tronc commun scientifique du lycée (Grade 10), les chapitres relatifs à l'attraction universelle, au mouvement, au principe d'inertie et à l'équilibre d'un corps solide reposent explicitement sur l'usage du vecteur pour formaliser les interactions mécaniques et les conditions d'équilibre, notamment à travers des relations vectorielles et barycentriques (MEN, 2007).

Cette lecture curriculaire met ainsi en évidence une complémentarité fonctionnelle entre mathématiques et physique, mais une complémentarité qui reste largement implicite. Si les mathématiques assurent la formalisation du vecteur comme objet abstrait, la physique en exploite le potentiel opératoire sans en reprendre systématiquement les fondements conceptuels. L'absence d'une articulation didactique explicite entre ces deux approches peut alors engendrer des difficultés de transfert chez les élèves : le vecteur est tantôt perçu comme une entité purement formelle, tantôt comme un simple outil graphique, sans que ses fonctions mathématiques et physiques ne soient véritablement intégrées dans une compréhension cohérente.

3 Méthodologie de recherche

Pour réaliser les objectifs de notre étude, nous avons utilisé la méthodologie d'analyse descriptive qui a pour but de soulever les difficultés du concept « vecteur » chez les apprenants du tronc commun scientifique (Grade 10). Les données nécessaires ont été recueillies par un test de diagnostic qui a été élaborée à cette fin.

3.1 Echantillon de l'étude

L'échantillon étudié comprend 120 élèves du tronc commun scientifique (Grade 10) du secondaire qualifiant de Kénitra, dont 76 filles et 44 garçons. Parmi ces élèves, 11 sont en situation de redoublement. Cet échantillon permet d'analyser les performances et comportements des élèves dans un contexte représentatif de la population ciblée.

3.2 Outil de recherche

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé le test de diagnostic indiqué dans l'annexe, comme principal outil de collecte de données. Cette enquête a pour objectif de connaître de manière plus approfondie les difficultés de l'application du concept vecteur dans l'enseignement-apprentissage des concepts du programme physique, notamment la partie de la mécanique, chez les apprenants de tronc commun scientifique du secondaire qualifiant.

Le test comporte 18 questions, pour la majorité d'entre eux sont fermées, adressé aux élèves de tronc commun scientifique du secondaire qualifiant. Au total, près de 120 élèves, répartis en quatre classes, ont participé à cette enquête. Il a été conçu pour identifier les connaissances, les compétences et les difficultés des élèves concernant l'utilisation du vecteur dans la résolution de problèmes de physique, ainsi que pour recueillir des informations sur leurs stratégies de raisonnement et leurs processus de modélisation.

3.3 Traitement des données

Le traitement des données recueillies a été réalisé à l'aide du logiciel Microsoft Excel, qui a permis l'organisation, et la représentation des résultats.

4 Résultats

Cette étude analytique vise à recueillir des informations sur les difficultés liées à l'application du concept de vecteur dans l'enseignement-apprentissage des concepts relevant de l'unité « mécanique » du programme de physique chez les apprenants du tronc commun scientifique, afin d'en établir un bilan.

4.1 Exercice 1 du test : Concept vecteur

L'objectif de cet exercice est d'évaluer la capacité de l'élève à identifier et à déterminer les caractéristiques d'un vecteur dans différents contextes géométriques. Il se compose de quatre questions organisées de manière progressive, permettant l'analyse des propriétés vectorielles en fonction du repère et du cadre géométrique considérés.

Tableau 1. Répartition des réponses des élèves sur l'exercice 1.

Questions		Réponses correctes	Aucune réponse
1 Caractéristiques d'un vecteur		18 %	10%
2 Vecteur de position d'un mouvement	Mouvement rectiligne	80 %	4 %
	Mouvement plan	70 %	4 %
	Mouvement spatial	65 %	4%

Le Tableau 1 présente la répartition des réponses des élèves à l'exercice 1, en termes de pourcentage de réponses correctes et d'absence de réponse pour chaque question. Concernant la question 1, relative à l'identification des caractéristiques d'un vecteur, le taux de réponses correctes est de 18 %, tandis que 10 % des élèves n'ont fourni aucune réponse.

La question 2, portant sur le vecteur de position d'un mouvement, a été analysée selon trois contextes géométriques distincts. Pour le mouvement rectiligne, 80 % des élèves ont donné une réponse correcte, alors que 4 % n'ont pas répondu. Dans le cas du mouvement plan, le taux de réponses correctes est de 70 %, avec un taux d'absence de réponse de 4 %. Enfin, pour le mouvement spatial, 65 % des élèves ont fourni une réponse correcte, tandis que 4 % n'ont donné aucune réponse.

Les résultats mettent en évidence les variations des pourcentages de réponses correctes et d'absence de réponse selon les questions et les contextes géométriques considérés.

4.2 Exercice 2 du test : Étude de l'équilibre d'un corps solide sous l'action de trois forces non parallèles

Le but de cet exercice est d'évaluer la capacité de l'élève à identifier, représenter et déterminer les forces exercées sur un anneau en équilibre, soumis à l'action de trois forces non parallèles.

Tableau 2. Répartition des réponses des élèves sur l'exercice 2.

Questions		Réponses correctes		Aucune réponse
1 Les forces exercées sur l'anneau		31 %		8 %
2 Représentation des 3 forces		20 %		10 %
3 Traçage de polygone (méthode graphique)		29 %		11 %
4 Conditions d'équilibre		20 %		8 %
5 Coordonnées des trois forces (méthode analytique)	\vec{F}_1	F_{1X}	15 %	20 %
		F_{1Y}	4 %	20 %
	\vec{F}_2	F_{2X}	4 %	20 %
		F_{2Y}	15 %	20 %
	\vec{F}_3	F_{3X}	12 %	20 %
		F_{3Y}	12 %	20 %

Les pourcentages de réponses des élèves relatives à chaque question l'exercice 2 sont indiqués dans le tableau 1, en distinguant les réponses correctes et les absences de réponse pour chaque question.

Pour la question 1, portant sur l'identification des forces exercées sur l'anneau (les trois forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 et \vec{F}_3), 31 % des élèves ont donné une réponse correcte, tandis que 8 % n'ont fourni aucune réponse.

La question 2, relative à la représentation des trois forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 et \vec{F}_3 , appliquées au centre de l'anneau, orientées selon la direction des fils et proportionnelles aux indications des dynamomètres, a été correctement traitée par 20% des élèves. Le taux d'absence de réponse pour cette question est de 10%. Concernant la question 3, la réponse correcte consistait à tracer le polygone des forces selon la méthode graphique, traduisant la condition d'équilibre par la fermeture du polygone. Cette réponse a été obtenue chez 29 % des élèves, tandis que 11% n'ont donné aucune réponse.

Pour la question 4, portant sur les conditions d'équilibre, exprimées par la relation vectorielle $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$, 20 % des élèves ont formulé correctement cette condition, avec un taux d'absence de réponse de 8%.

La question 5, relative à la détermination analytique des coordonnées des trois forces, correspondant aux composantes F_{iX} et F_{iY} ($i = 1,2,3$) dans un repère cartésien, montre des taux de réponses correctes différenciés selon les composantes. Les réponses correctes s'élèvent à 15 % pour F_{1X} , 4 % pour F_{1Y} , 4 % pour F_{2X} , 15 % pour F_{2Y} , 12 % pour F_{3X} et 12 % pour F_{3Y} . Le taux d'absence de réponse est de 20 % pour chacune de ces composantes.

4.3 Exercice 3 du test : Le vecteur comme outil opératoire dans une situation complexe

Cet exercice vise à évaluer la capacité de l'élève à analyser les forces s'exerçant sur une boule S de masse $m = 100$ g, suspendue à un ressort de raideur $k = 25 \text{ N.m}^{-1}$. Il permet d'évaluer sa capacité à établir le bilan des forces, à déterminer leurs caractéristiques (direction, sens, point d'application et intensité), à les représenter graphiquement et à calculer l'intensité des forces ainsi que l'allongement du ressort à l'équilibre.

Dans une deuxième partie, l'exercice permet d'évaluer la capacité de l'élève à modéliser une situation d'équilibre lorsque le système est soumis à une force horizontale provoquant une inclinaison d'angle $\alpha = 60^\circ$. Il s'agit d'évaluer sa capacité à schématiser les forces dans cette configuration et à déterminer l'intensité de la force appliquée ainsi que la tension du ressort en mobilisant des méthodes graphique et analytique.

Tableau 3. Répartition des réponses des élèves sur l'exercice 3.

Questions		Réponses correctes	Aucune réponse
1	Bilan des forces	47 %	10 %
2	Caractéristiques d'une force exercée par le ressort sur la boule (S)	Point d'application	26 %
		Direction	29,5 %
		Sens	26 %
		Intensité	20 %
3	Représentation des forces	47 %	10 %
4	Bilan des forces exercées sur la boule	34.5%	19.5%
5	Détermination de l'intensité de \vec{F} et \vec{T} par la méthode graphique.	11 %	10 %
6	Détermination de l'intensité de \vec{F} et \vec{T} par la méthode analytique	4%	20%

Les résultats relatifs à l'exercice 3 montrent que la maîtrise des outils vectoriels en mécanique demeure globalement fragile chez les élèves. En effet, moins de la moitié d'entre eux (47 %) parviennent à établir correctement le bilan des forces s'exerçant sur le corps (S) étudié, tandis que 10 % des élèves ne donnent aucune réponse. Ce résultat indique que l'établissement du bilan des forces, pourtant considérée comme une compétence

de base en mécanique, n'est pas encore stabilisée chez une proportion importante d'élèves, ce qui peut constituer une difficulté majeure pour la réalisation des tâches ultérieures de modélisation.

L'examen des réponses relatives aux caractéristiques de la force exercée par le ressort sur la boule met en évidence une compréhension partielle et morcelée de la notion de force comme grandeur vectorielle. Les taux des réponses correctes restent faibles pour chacune des caractéristiques : 29,5 % pour la direction, 26 % pour le point d'application et le sens, et seulement 20 % pour l'intensité. La constance du taux d'absence de réponse (10 %) pour chacun de ces items suggère que certains élèves se trouvent en difficulté dès la lecture ou l'interprétation de la consigne. La faiblesse particulière observée chez les élèves pour l'intensité révèle une difficulté persistante à relier la force à sa dimension quantitative, contrairement aux aspects plus descriptifs tels que la direction ou le sens.

Concernant la représentation graphique des forces (par des vecteurs), les résultats montrent que 47 % des élèves réussissent cette tâche, un taux identique à celui observé pour le bilan des forces. Cette convergence suggère que la capacité à représenter correctement une force dépend étroitement de la capacité à identifier les interactions mécaniques en jeu. Inversement, l'échec des élèves de notre échantillon dans le bilan des forces semble se répercuter directement sur la représentation vectorielle, traduisant une dépendance forte entre compréhension conceptuelle et compétence graphique.

Les résultats deviennent plus préoccupants lorsqu'il s'agit d'établir le bilan des forces exercées sur la boule. Seuls 34,5 % des élèves en question réussissent cette tâche, tandis que 19,5 % n'apportent aucune réponse. Cette baisse significative par rapport au bilan des forces sur la boule met en évidence une difficulté liée au changement de système étudié. Bien que la situation physique soit analogue, de nombreux élèves semblent éprouver des difficultés à transférer leurs raisonnements d'un objet à un autre, ce qui révèle une conception encore peu structurée du système mécanique.

La détermination des intensités des forces par les méthodes graphique et analytique constitue la tâche la plus complexe pour les élèves dans cet exercice et révèle des performances particulièrement faibles. Le taux de réponses correctes atteint 11 % pour la méthode graphique, tandis que 10 % des élèves n'ont fourni aucune réponse. Les résultats sont encore plus faibles pour la méthode analytique, avec seulement 4 % de réponses correctes et 20 % d'absences de réponse. Ces résultats montrent que les élèves éprouvent de sérieuses difficultés à déterminer les intensités des forces, quelle que soit la méthode mobilisée. La très faible performance observée pour la méthode analytique suggère que le passage du diagramme de forces à la formalisation mathématique reste problématique, confirmant une maîtrise insuffisante de la chaîne complète de modélisation en mécanique.

5 Discussion

Les résultats des deux premiers exercices mettent en évidence une maîtrise essentiellement procédurale du concept de vecteur chez les élèves. Si certains parviennent à l'utiliser dans des contextes géométriques simples, cette mobilisation reste largement déconnectée d'une compréhension opératoire de ses caractéristiques (direction, sens et norme) ainsi que de son rôle fonctionnel dans la modélisation des forces. Ce constat rejoint les travaux de Lê Thi (2001), qui montrent que les élèves éprouvent des difficultés persistantes à dépasser une conception euclidienne et métrique du vecteur pour accéder à sa dimension orientée et opératoire, pourtant centrale dans les raisonnements vectoriels. Par ailleurs, Palmgren et al. (2025) montrent que ces difficultés ne relèvent pas uniquement d'un « niveau en mathématiques » insuffisant de l'élève, mais davantage d'une appropriation limitée des mathématiques comme ressources cognitives permettant de donner sens à la situation physique, de la structurer, de sélectionner une représentation pertinente et de valider un résultat, au-delà du simple calcul formel.

Lorsque le vecteur est requis comme outil de modélisation en mécanique, notamment dans l'étude de l'équilibre d'un solide, les faibles performances des élèves observées dans l'identification des forces, leur représentation et l'exploitation graphique ou analytique révèlent une difficulté marquée de coordination des registres sémiotiques. Cette difficulté renvoie directement à ce que Duval (1993, 1995) identifie comme un obstacle central à la compréhension conceptuelle : l'incapacité à assurer des

conversions efficaces entre différents registres de représentation. Cette rupture entre registres mathématique et physique confirme que la réussite en mécanique ne dépend pas uniquement de compétences algébriques, mais de la capacité à articuler plusieurs représentations d'un même objet physique. Dans le contexte marocain, Raouf et al. (2016) montrent que cette difficulté est renforcée par une continuité didactique insuffisamment assurée entre mathématiques et physique, favorisant un cloisonnement disciplinaire qui limite le transfert des connaissances mathématiques vers les situations de modélisation mécanique.

D'un point de vue curriculaire, ces résultats soulignent un écart notable entre les intentions institutionnelles du tronc commun scientifique, qui visent le développement des capacités de modélisation et de raisonnement scientifique, et les apprentissages effectifs des élèves. Le concept vecteur est introduit en mathématiques comme un objet géométrique formel, puis mobilisé en physique comme un outil de modélisation, sans que le changement de statut entre ces deux usages ne soit explicitement travaillé. Cette rupture fonctionnelle, déjà mise en évidence par Ba (2011), fragilise l'usage du concept vecteur comme instrument de raisonnement et contribue à la persistance des difficultés observées en mécanique, chez les élèves du tronc commun scientifique.

Les résultats obtenus relatifs à la production des élèves de notre échantillon de l'exercice 3 confirment cette constatation. Bien que le système étudié demeure identique (boule–ressort), l'ajout d'une force horizontale entraîne une chute significative des performances des élèves. Cette instabilité révèle que le concept vecteur n'est pas encore conceptualisé comme un invariant opératoire assurant la cohérence de la modélisation d'un même système soumis à des actions mécaniques différentes (plusieurs forces et de nature différentes) (Redish, 2005). Pratiwi, (2021) montre que la résolution de problèmes de mécanique repose sur une chaîne de décisions de modélisation (faire le bilan de forces, construction du polygone de forces, écriture des relations vectorielles, exploitation graphique ou analytique) et que l'échec peut survenir dès l'une de ces étapes, indépendamment des compétences algébriques.

D'autre part, les difficultés particulièrement marquées observées chez les élèves de notre échantillon dans la détermination des intensités des forces, par les méthodes graphique et analytique, indiquent que le diagramme de forces est le plus souvent perçu comme une simple illustration descriptive, et non comme un outil de raisonnement scientifique et de validation. La méthode graphique, bien qu'apparemment plus accessible, exige la construction d'un diagramme opératoire respectant les conventions vectorielles (direction, sens, fermeture du polygone, lecture à l'échelle) ainsi que la conversion de cette représentation en une information quantitative. Lorsque cette représentation n'est pas explicitement instrumentée, la conversion du registre graphique vers une mesure exploitable échoue, ce qui correspond précisément aux difficultés de coordination et de conversion des registres sémiotiques mises en évidence par Duval (1993, 1995).

De plus, la performance encore plus faible observée pour la méthode analytique peut être interprétée comme le prolongement de cette difficulté. Le passage à une démarche analytique suppose en effet une modélisation plus formelle, impliquant l'écriture des relations vectorielles, le choix d'un repère et la gestion des composantes. Or, comme le soulignent Ba (2011) et Raouf et al. (2016), la simple exigence de tracer un diagramme ou de représenter une force par une flèche ne garantit pas une compréhension conceptuelle si les fonctions épistémiques des représentations et les conversions associées ne sont pas explicitement travaillées. En l'absence d'un tel étayage, les élèves adoptent des démarches essentiellement exécutives, ce qui conduit à des erreurs systématiques, à des non-réponses et à une exploitation quantitative défaillante des relations vectorielles.

6 Conclusion

Cette étude montre que l'usage du concept de vecteur en physique par les élèves du tronc commun scientifique (Grade 10) demeure majoritairement procédural et peu intégré comme outil de modélisation en mécanique. Les difficultés observées chez les élèves dans l'identification des forces, la construction et l'exploitation graphique ou analytique, ainsi que dans la coordination des registres de représentation, indiquent une appropriation limitée des mathématiques comme ressources pour le raisonnement physique. Lorsque le nombre et la nature des actions mécaniques évoluent, le concept vecteur n'est pas encore conceptualisé par les élèves comme un invariant opératoire assurant la cohérence de la modélisation. Ces résultats soulignent la nécessité d'un enseignement explicitant le changement de statut du concept vecteur entre mathématiques et physique et renforçant la coordination des registres dans les activités de modélisation.

REFERENCES

- [1] Arons, A. B. (1997). *Teaching introductory physics*. John Wiley & Sons.
- [2] Aryani, S. D., Novia, H., Setiawan, A., & Samsudin, A. (2024). Advancement of conceptual change in physics education from 2018–2024: A literature review. *Journal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 8(2), 293–312.
- [3] Ba, C. (2011). Vecteurs au lycée : difficile articulation entre mathématiques et physique. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 14(1), 71-83.
- [4] Brasquet, M. (1999). Difficultés des élèves dans la compréhension des concepts de mécanique au lycée. *Mémoire de DEA*, Université Paris 7.
- [5] Chaik, A., Laatar, M., Bouanfir, D., & Abid, M. (2025). Identification des difficultés de modélisation mathématique lors d'une activité de résolution de problème en mécanique chez les élèves du secondaire qualifiant : Cas du produit scalaire. *European Journal of Education Studies*, 12(12). <https://doi.org/10.46827/ejes.v12i12.6340>
- [6] Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 5, 37–65.
- [7] Duval, R. (1995). Sémiotique et pensée humaine : registres sémiotiques et apprentissages intellectuels. Paris: Peter Lang.
- [8] Goldstein, H., Poole, C., & Safko, J. (2002). *Classical mechanics* (3rd ed.). Addison-Wesley.
- [9] Koffi, V. (2010). Analyse des difficultés d'apprentissage en mécanique au secondaire: étude didactique. *Thèse de doctorat*, Université de Lomé.
- [10] Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2008). Patterns of multiple representation use by experts and novices. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 4(1), 010111. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.4.010111>
- [11] Lê Thi, H. (2001). Difficultés d'apprentissage de la notion de vecteur pour des élèves de première année de lycée en France et au Viet-Nam. *Recherches en didactique des mathématiques*, 21(1), 157-187.
- [12] Maarouf, A., & Kouhila, M. (2001). Les obstacles rencontrés par les élèves dans l'apprentissage de la mécanique. *Revue Marocaine de Didactique des Sciences*, 4, 23–35.
- [13] Meltzer, D. E., & Thornton, R. K. (2012). Resource letter ALIP–1: Active-learning instruction in physics. *American Journal of Physics*, 80(6), 478–496. <https://doi.org/10.1119/1.3678299>
- [14] Ménigaux, J. (1986). La schématisation des interactions en classe de troisième. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 683, 761-778.
- [15] Ministère de l'Education Nationale (MEN), (2009), Programmes et orientations pédagogiques spécifiques à l'enseignement des mathématiques dans le secondaire collégial.
- [16] Ministère de l'Education Nationale (MEN), (2007), Programmes et orientations pédagogiques spécifiques à l'enseignement des mathématiques dans le secondaire qualifiant.

- [17] Ministère de l'Education Nationale (MEN), (2007), Programmes et orientations pédagogiques spécifiques à l'enseignement de physique-chimie dans le secondaire qualifiant.
- [18] Ministère de l'Education Nationale (MEN), (2015), Programmes et orientations pédagogiques spécifiques à l'enseignement de physique-chimie dans le secondaire collégial.
- [19] Palmgren, E., Kokkonen, T., & Bruun, J. (2025). Roles of mathematics in physics education: A systematic review. *Physical Review Physics Education Research*, 21(2), 020602.
- [20] Planinić, M., Boone, W. J., Krsnik, R., & Beilfuss, M. L. (2012). Exploring alternative conceptions from Newtonian dynamics and vector addition. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 8(1), 010103.
- [21] Raouf, K., Radi, M., Belazzaar, I., Talbi, M., & Moussetad, M. (2016). 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*, 12(31), 165-188.
- [22] Resbiantoro, G. (2022). A review of misconceptions in physics: The diagnosis, causes, and remediation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2193, 012019.
- [23] Robertson, A. D. (2021). University student conceptual resources for understanding forces and mechanics. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010121. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010121>
- [24] Rosengrant, D., Van Heuvelen, A., & Etkina, E. (2009). Do students use free-body diagrams? *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 5(1), 010108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.010108>
- [25] Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). Physics for scientists and engineers with modern physics (9th ed.). Cengage Learning.
- [26] Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). Physics for scientists and engineers (6th ed.). W. H. Freeman and Company.
- [27] Twigger, D., Byard, R., Driver, R., & others. (1994). Developing understanding in physics. *School Science Review*, 75(272), 53–61.
- [28] Redish, E. F. (2005). Problem solving and the use of math in physics courses. In *World View on Physics Education 2005* (Proceedings of the International Conference on Physics Education, Delhi, India).
- [29] Viennot, L. (1986). *Raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris : Hermann.

ANNEXE

Exercice 1 :

En physique, les vecteurs sont grandement utilisés, ils permettent de modéliser des grandeurs comme une force, une vitesse.

On modélise la force par un vecteur (ou segment fléché) :



Les caractéristiques du vecteur en physique sont :

Cocher les réponses correctes

Direction Sens Intensité Point d'application Origine largeur

Pour repérer la position du mobile dans le référentiel choisi on utilise un repère d'espace.

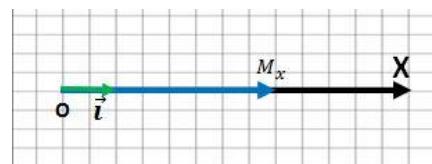
1^{er} cas : si le mouvement est rectiligne : Mouvement d'un train

par exemple orienté dans le sens du mouvement. (O , \vec{i}). Dans ce cas le repère d'espace est un axe :

Cocher la réponse correcte.

Le vecteur de position est :

$\vec{OM} = M_Y \vec{j}$ $\vec{OM} = M_z \vec{k}$ $\vec{OM} = M_x \vec{i}$



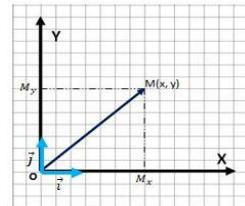
2^{ème} cas : si le mouvement est plan : mouvement d'une fourmi par ex. sur la table. ($\mathbf{O} \vec{i}, \vec{j}$). Dans ce cas le repère d'espace est un repère orthonormé. Avec x et y sont les coordonnées du mobile M.

Cocher la réponse correcte. Le vecteur de position est :

$\overrightarrow{OM} = M_x \vec{i} + M_y \vec{j}$

$\overrightarrow{OM} = M_x \vec{i} + M_z \vec{j}$

$\overrightarrow{OM} = M_x \vec{i} + M_y \vec{n}$



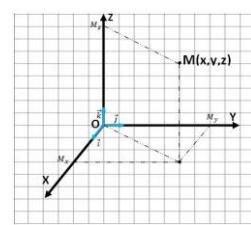
3^{ème} cas : si le mouvement est spatial : mouvement d'une abeille dans l'espace par exemple. ($\mathbf{O} \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$) dans ce cas le repère d'espace est un repère orthonormé. Avec x, y et z sont les coordonnées du mobile M.

Cocher la réponse correcte. Le vecteur de position est :

$\overrightarrow{OM} = M_x \vec{i} + M_y \vec{j} + M_z \vec{k}$

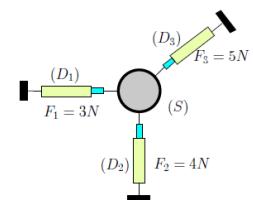
$\overrightarrow{OM} = M_x \vec{i} + M_z \vec{j} + M_y \vec{k}$

$\overrightarrow{OM} = M_x \vec{i} + M_y \vec{n} + M_z \vec{k}$

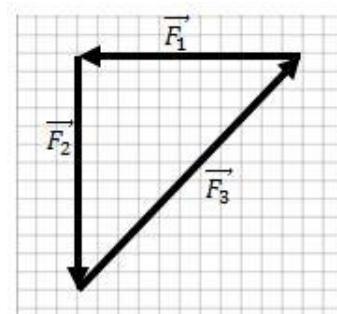
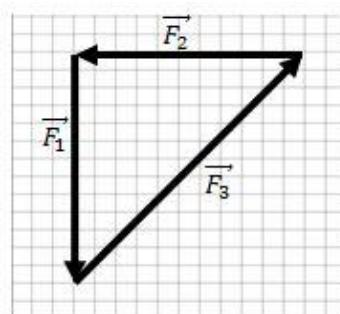
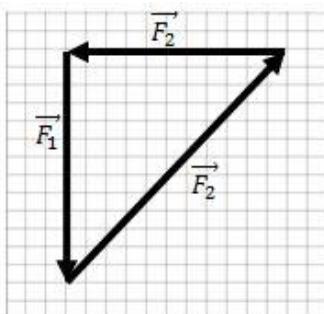


Exercice 2 : Etude de l'équilibre d'un corps soumis à l'action de trois forces non parallèles.

L'anneau de poids $P = 0.1$ N est maintenu en équilibre à l'aide de trois fils liés à des dynamomètres comme l'indique la figure ci-dessous, le poids de l'anneau est négligeable devant les intensités des trois forces, donc l'anneau est en équilibre sous l'action de trois forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 et \vec{F}_3 .



1. Faites le bilan des forces qui s'exercent sur l'anneau.
2. Représenter ces trois forces exercées sur l'anneau avec une échelle 1cm → 2N.
3. Le polygone des trois forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 et \vec{F}_3 , en utilisant la méthode graphique est :

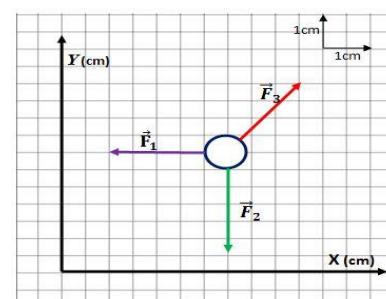


4. Quelles sont les conditions d'équilibres de l'anneau soumis à trois forces.
5. Dans un repère orthonormé, déterminer les coordonnées de chaque force et en utilisant la méthode analytique, tracer ces trois forces.

$$\vec{F}_1 \left(\begin{array}{l} F_{1X} = \dots \\ F_{1Y} = \dots \end{array} \right)$$

$$\vec{F}_2 \left(\begin{array}{l} F_{2X} = \dots \\ F_{2Y} = \dots \end{array} \right)$$

$$\vec{F}_3 \left(\begin{array}{l} F_{3X} = \dots \\ F_{3Y} = \dots \end{array} \right)$$



Exercice 3 :

1. Une boule S masse $m = 100\text{g}$ suspendue à l'extrémité d'un ressort de constante de raideur $K=25\text{N/m}$.



1.1 Faire le bilan des forces s'exerçant sur la boule S.

1.2 Déterminer les caractéristiques d'une force exercée par le ressort sur la boule S.

1.3 Sachant que la boule S est en équilibre, schématiser sur la figure ci-dessus les forces exercées par le ressort sur la boule S sans échelle.

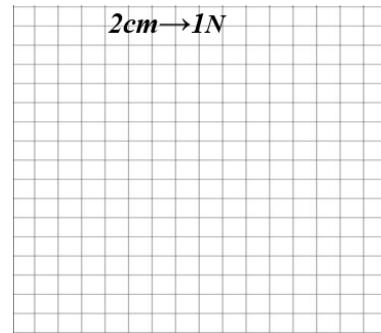
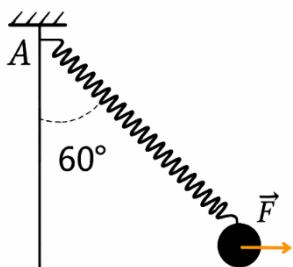
1.4 Déterminer l'intensité des forces s'exerçant sur la boule S.

1.5 L'allongement du ressort à l'équilibre est :

$\Delta l = 4\text{m}$ $\Delta l = 4\text{cm}$ $\Delta l = 0.04\text{cm}$ $\Delta l = 0.04\text{m}$

2. On exerce sur la boule S une force horizontale, le système {boule + ressort} à l'équilibre forme un angle $\alpha = 60^\circ$ avec l'horizontale passant par A. Avec : $g=10\text{N/kg}$.

2.1 Schématiser sur la figure ci-dessus les forces exercées.



2.2 Déterminer en utilisant la méthode graphique l'intensité de la force \vec{F} et l'intensité de la tension \vec{T} du ressort.

2.3 Déterminer en utilisant la méthode analytique l'intensité de la force \vec{F} et l'intensité de la tension \vec{T} du ressort.