LIEN ENTRE MATHEMATIQUES ET PHYSIQUE A PROPOS DES VECTEURS DANS L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE

CISSE BA
Université Cheikh Anta Diop Dakar
cisseba2000@yahoo.com

Résumé. Ce texte issu de notre doctorat présente une recherche sur les interactions entre mathématiques et physique à propos des vecteurs et des grandeurs physiques vectorielles. Nous présentons tout d'abord une synthèse de l'évolution de l'enseignement de ces deux notions au cours du 20ième siècle. Puis nous analysons à l'appui des programmes actuels et de quelques manuels comment cette interaction est actuellement gérée en France. Enfin nous présentons brièvement les résultats d'un questionnaire que nous avons fait passer à des enseignants des deux disciplines en France et au Sénégal.

Mots-clés. Vecteurs, mathématiques, physique, enseignement, programmes, histoire, niche, habitat.

Introduction

De longue date, les mathématiques et les sciences physiques ont entretenu des rapports privilégiés, que ce soit dans la constitution des savoirs savants ou dans leur enseignement.

Néanmoins, ces rapports ont subi d'importantes mutations, qui ont marqué les pratiques d'enseignement dans les deux disciplines.

Comme l'a montré Artaud (1999), au XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles, le découpage disciplinaire assurait l'existence de mathématiques dites « mixtes », englobant entre autres la mécanique, qui correspondaient à une réelle lisibilité sociale des mathématiques. Dans ce découpage, les liens avec la physique étaient non seulement forts, mais dépassaient le simple côté utilitariste des autres disciplines envers les mathématiques, puisqu'il s'agissait « moins de mettre des mathématiques dans la physique que d'amener les questions de physique dans le champ des mathématiques » (op. cité, 26). Dans le courant des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles, les mathématiques ont subi un phénomène « d'implicitation », amplifié par un nouveau découpage en mathématiques pures et appliquées.

> [...] là où les mathématiques mixtes partaient de questions non mathématiques pour les mathématiser, les mathématiques appliquées mettent en avant les théories mathématiques et ne font apparaître les questions auxquelles elles répondent qu'occasionnellement, en fin de parcours. (ibid., 33)

Dans la période des années 70, caractérisée par les mathématiques modernes, l'enseignement des mathématiques ne prenait quasiment pas en compte leurs liens avec les sciences physiques, alors que l'enseignement de ces dernières s'est fortement mathématisé.

Dans cette évolution tracée ici à grands traits, on voit que les rapports entre les enseignements de mathématiques et de sciences physiques ont abouti à une distanciation importante et un rapport de hiérarchie peu favorable à une collaboration égalitaire. Depuis les années 80, les réformes successives, qui s'inscrivent dans une réaction au radicalisme des mathématiques modernes, ont prôné un rapprochement des deux disciplines. Ce phénomène s'inscrit dans un mouvement général d'une part de la nécessité de redonner aux mathématiques une base « concrète » et utilitaire et d'autre part de lutter contre le repliement disciplinaire et la promotion de l'interdisciplinarité.

On trouve ainsi dans divers textes officiels récents, des injonctions comme :

> Dans cette perspective, l'enseignement des mathématiques est aussi à relier à celui des autres disciplines sous deux aspect principaux : étude des situations issues de ces disciplines ; organisation concertée des activités d'enseignement. (Programme de seconde 1990, France)

> D'une manière générale, l'introduction d'une notion par la théorie est vivement déconseillée. Il sera souvent fait appel à l'expérience scientifique de l'élève et aux problèmes des autres disciplines pour décloisonner l'enseignement des mathématiques. (Programme de terminale S1 et S3 2006, Sénégal)

Ou

> La conception des mathématiques comme une science pure, jeu autonome dans le monde des idées est peut-être confortable pour quelques-uns. Mais cette conception gomme les interactions pourtant si fécondes, entre les mathématiques et les autres sciences. Plutôt que de se limiter à des vœux pieux, les programmes devront proposer des exemples précis d'applications des mathématiques. (*Lycées, quels programmes pour quels objectifs*, document interne du GRIAM, Groupe de réflexion Inter-Associations en Mathématiques, daté du 16 décembre 1997).

Dans ces deux citations, on voit bien la volonté de faire sortir les mathématiques de leur tour d'ivoire, en redécouvrant, entre autres, les vertus de leur application aux autres disciplines, dont la physique au premier titre, mais aussi, la difficulté (« vœux pieux ») à proposer dans les programmes de réelles activités de modélisation.

D'autant que, dans le même temps, la noosphère des sciences physiques, en réaction à l'impérialisme des mathématiques a promu un enseignement qui met en avant le rôle de l'expérience et les aspects qualitatifs, parallèlement à moins de mathématisation.

L'hypothèse à la base de notre travail est que les changements de programmes même importants ne peuvent suffire à eux seuls à combattre le repliement disciplinaire. Non seulement un accompagnement en termes de formation (initiale et continue) des enseignants des deux disciplines est nécessaire, mais aussi, et peut-être avant tout, il faut arriver à annihiler les effets pervers d'une culture installée de l'isolationnisme, qui conduit à refuser toute incursion de la problématique de l'autre discipline dans le pré carré de la sienne. C'est ce réseau de questions que nous avons abordé dans notre travail de thèse[1] en nous centrant sur les concepts de vecteur et de grandeurs physiques vectorielles d'une part et de translation et de mouvement de translation d'autre part. Nous allons en rendre compte de façon partielle dans cette brève communication[2].

1. Aperçu de l'histoire de l'enseignement du vecteur

Même si l'on retrouve des traces du parallélogramme des forces dès l'antiquité, l'origine du vecteur est à chercher dans des périodes beaucoup plus récentes. La critique de Leibniz de la géométrie de Descartes, qui prônait la recherche d'une caractéristique purement géométrique qui puisse s'appliquer aux positions de la même façon que l'algèbre s'applique aux grandeurs, est restée vaine pendant plus d'un siècle. C'est vraiment avec l'interprétation géométrique des quantités imaginaires et le désir de généralisation à l'espace, que le concept de vecteur se fait jour dans le courant du XIX^e, à la croisée de l'algèbre et de la géométrie, puis dans les applications à la physique (CROWE 1967 et FLAMENT 1997 et 2003). De même, les liens qui ont uni la genèse du calcul vectoriel et l'élaboration de l'algèbre linéaire sont aussi plus complexes et plus ténus qu'ils n'en ont l'air (DORIER 1997, 1ère partie).

Notre propos n'est pas ici de retracer l'histoire des vecteurs, nous renvoyons le lecteur intéressé aux ouvrages cités ci-dessus. Nous nous intéressons plutôt à l'histoire de l'enseignement des vecteurs en France depuis leur timide apparition dans les programmes des classes du secondaire à la fin du XIXe jusqu'à nos jours. Au-delà de l'intérêt historique, nous voulons ainsi éclairer un domaine de l'éducation mathématique, qui ne cesse de rétrécir au fur et à mesure des réformes récentes, et dont le lien avec l'enseignement de la physique, s'il paraît naturel aux deux parties, semble néanmoins ne pas pouvoir réellement servir d'appui efficace pour les enseignants de l'une et l'autre discipline.

Du point de vue théorique de l'analyse, nous nous situons dans une perspective écologique, c'est-à-dire que nous identifions l'évolution de l'habitat et des niches des vecteurs, selon les termes définis par Chevallard (1994) dans son approche de l'écologie didactique des savoirs :

> Les écologistes distinguent, s'agissant d'un organisme, son habitat et sa niche. Pour le dire en un langage volontairement anthropomorphe, l'habitat, c'est en quelque sorte l'adresse, le lieu de résidence de l'organisme. La niche, ce sont les fonctions que l'organisme y remplit : c'est en quelque façon la profession qu'il y exerce. (Op. cité, p. 142).

À la suite de Chevallard, Artaud (1997) montre alors comment un objet émerge et peut vivre dans un écosystème didactique.

> Pour qu'un objet O émerge dans un écosystème didactique, il est nécessaire qu'existe un milieu pour cet objet, c'est-à-dire un ensemble d'objets connus (au sens où il existe un rapport institutionnel non problématique) avec lesquels O viendra se mettre en interrelation. Cette condition est à mettre

[1] Thèse de doctorat de Cissé Ba (2007) sous la direction de Jean-Luc Dorier.

[2] Faute de place, nous n'aborderons pas du tout dans cet article l'aspect lié au mouvement de translation et à la translation (voir Ba 2007 et Ba &Dorier 2007).

> en rapport avec une condition citée plus haut, la loi du tout structuré, dont je rappelle l'énoncé : un objet mathématique ne peut exister seul ; il doit venir prendre place dans une organisation mathématique, organisation qu'il faut faire exister. La nécessité qu'existe un milieu dit alors que cette émergence d'une organisation mathématique ne peut se faire ex nihilo. Il faut prendre appui sur des organisations, mathématiques ou non mathématiques, déjà existantes. (Op. cité, p. 124).

L'analyse écologique permet alors de mettre à jour un réseau de conditions et de contraintes qui vont déterminer la place que peut occuper l'objet vecteur et son évolution au cours des changements de programmes en prenant en compte le fonctionnement global des institutions scolaires où il intervient.

Dans ce qui suit nous ne donnons qu'une synthèse de ces analyses sous la forme d'un tableau, dans lequel nous distinguons 5 grandes périodes de 1852 à nos jours (pour une analyse complète voir Ba 2007, Ba et Dorier 2006 et Dorier 2000).

Périodes	Dates et faits marquants	Habitats et niches
Les débuts 1852 – 1925	1852 Première référence au mot « vecteur »	*Rayon vecteur* dans les programmes de mathématiques du secondaire. Allusion au parallélogramme des forces et à la composition des forces concourantes ou parallèles. Mais absence de lien avec la notion de vecteur.
	1902 Première apparition du vecteur en Première	Habitat paraphysique (Mécanique - Cinématique) Niche : représentation de grandeurs physiques (force et vitesse).
	1905 Modification et allégement de programme	Habitat : Géométrie en Terminale cependant pas de changement véritable de niche Adaptation purement didactique ;
Une évolution lente 1937 - 1957	1925 Nouvel habitat (arithmétique) potentiel en troisième Légère modification en Terminale (géométrie -> trigonométrie) Pas de lien entre les deux habitats	*Troisième* Habitat (potentiel) : arithmétique [3] Niche : Représentation des grandeurs mesurables susceptibles de sens. *Terminale* Habitat : trigonométrie L'intervention des vecteurs en cinématique est plus précise. Ainsi le statut géométrique des vecteurs se renforce et leur niche dans cet habitat se consolide dans le rapport à la trigonométrie.
	1937-1938	Les habitats et les niches ne

3 Niche arithmétique : Sans être explicitement au programme, les vecteurs apparaissent au niveau de la classe de troisième, pour la représentation des nombres relatifs comme « notions concrètes sur les nombres positifs et négatifs » en arithmétique.

Périodes	Dates et faits marquants	Habitats et niches
	Maintien des deux habitats précédents Nouvel habitat (algébrique)	changent guère. l'habitat algébrique se renforce (importance de la multiplication par un scalaire) tout en se limitant à la dimension 1 L'habitat trigonométrique descend en Première.
	1947 Pont entre les deux habitats géométrie et algèbre	Peu de modification. L'habitat trigonométrie s'élargit à toute la géométrie.Pont entre les deux habitats (géométrie, algèbre), par le théorème de Thalès qui associe géométrie et mesure algébrique. Importance de la multiplication par un scalaire et de l'équipollence.
1957-1967	Renforcement	Habitats et niches restent inchangés alors que l'outil vectoriel s'impose de plus en plus (apparition en physique en classe de première à propos d'électromagnétisme).
1968 - 1985 Réforme des mathématiques modernes	Le vecteur envahit la géométrie	Habitat : géométrie Niche : fondement de la géométrie, préparation à l'algèbre linéaire.
La contre réforme 1985 - 2006	Le vecteur est réduit au rang d'outil et occupe une place réduite en géométrie	Habitat (réduit) : géométrie Niche : illustration de la physique et outil performant pour faire de la géométrie. La référence à l'algèbre (que ce soit l'algèbre linéaire ou les grandeurs orientées, comme on l'a vu dans la niche arithmétique des années 40 à 60) a complètement disparu.

Tableau récapitulatif de l'évolution de l'enseignement du vecteur

De façon générale, il ressort de ces analyses que l'évolution des programmes n'a cessé de séparer les habitats physique et mathématique du vecteur, favorisant ainsi le cloisonnement disciplinaire. Depuis quelques années, on semble vouloir revenir à un lien plus étroit des vecteurs avec les forces ou les vitesses, mais cette injonction s'appuie-t-elle sur une base réaliste ?

De notre analyse historique de l'évolution de l'enseignement du vecteur, nous retiendrons trois points propres à éclairer la situation actuelle de l'enseignement des vecteurs et des liens possibles avec la physique :

- Malgré le rejet de la réforme des mathématiques modernes, le modèle de l'algèbre linéaire s'il a disparu officiellement des programmes du secondaire, continue de marquer l'organisation mathématique autour du vecteur. L'importance accordée à la multiplication par un scalaire en classe de seconde en atteste.

- Par ailleurs, la niche « outil performant pour la géométrie » a elle aussi du mal à fonctionner (Le Thi Hoai 1997, Bittar 1998, Pressiat 1999). Il est en effet difficile de trouver un problème de géométrie posé sans vecteur ou la modélisation par des vecteurs qui conduise à un usage réellement performant de l'outil vectoriel. On a vu en effet, à travers l'évolution des programmes (et l'analyse historique le confirme) que l'habitat géométrique n'était pas si naturel qu'il y paraît pour les vecteurs. Pour une part importante, le vecteur géométrique est une création didactique qui a permis à un moment donné de résoudre un problème idéologique et pratique dans l'organisation du savoir enseigné (Dorier 2000).

- Reste la niche « outil pour la physique », mais elle paraît aussi difficile à faire vivre. En effet, peu de situations physiques sont utilisables en troisième ou même en seconde, dans lesquelles le formalisme vectoriel soit vraiment pertinent

Du point de vue de l'enseignement des sciences physiques, l'introduction du vecteur pour modéliser les grandeurs physiques est relativement récente et a été sujet à de nombreux débats.

2. Eléments d'analyse institutionnelle

Dans ce paragraphe, nous donnons un aperçu partiel du rapport institutionnel actuel aux objets vecteurs et grandeurs physiques vectorielles en France et au Sénégal à la fin du collège et au début du lycée. Nous renvoyons le lecteur à (Ba 2007) pour une étude détaillée.

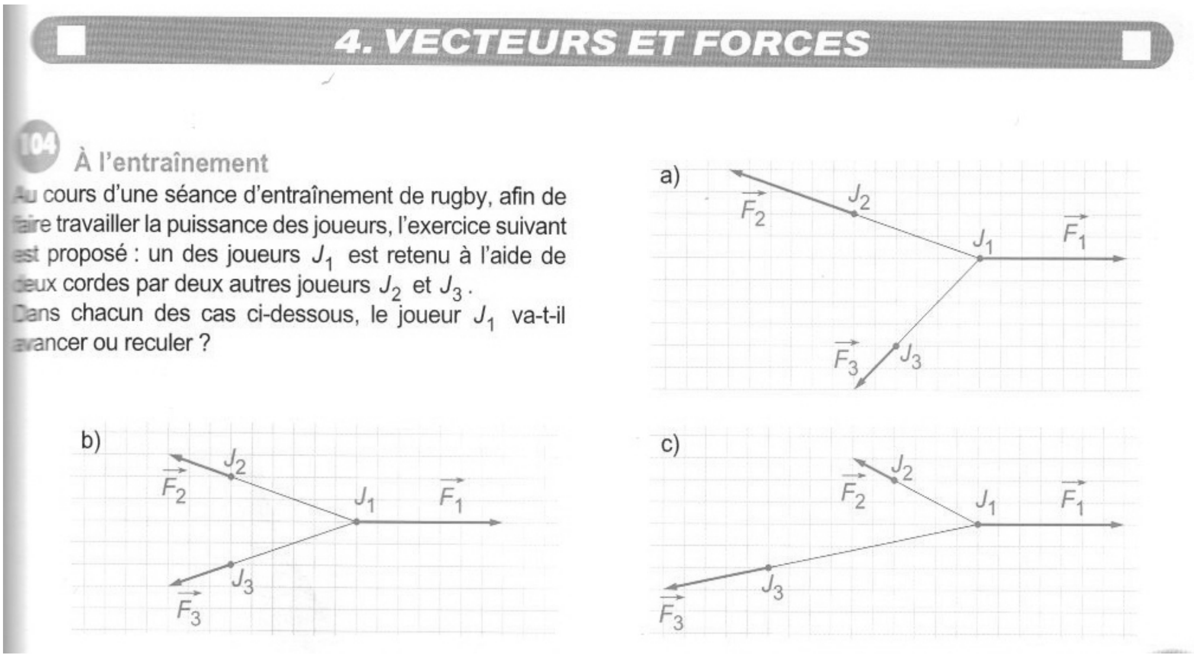
En France, les références à la physique dans la partie des programmes de mathématiques sur les vecteurs ont quasiment entièrement disparu depuis 2000 après une brève apparition dans les années 80-90. Au Sénégal, il reste en seconde une courte allusion : « On montrera l'utilité de l'outil vectoriel dans d'autres disciplines ».

Par ailleurs, nous avons analysé 7 manuels français récents de troisième et 6 de seconde. Moins de la moitié (4 en troisième et seulement 2 en seconde), présentent une ou plusieurs situation(s) illustrant les liens entre vecteurs et grandeurs physiques vectorielles, la plupart du temps, à une place secondaire, voire marginale, dans l'organisation des manuels. En effet, les quelques collections qui en proposent les renvoient de manière systématique en fin de chapitre sous forme d'exercices corrigés ou de travaux pratiques.

Ainsi, il apparaît que le lien entre mathématiques et physique est peu abordé, et encore de façon assez anecdotique.

Examinons toutefois un exemple où ce lien est particulièrement mis en avant.

Dans le manuel *Déclic de seconde (édition 2004)*, dans le chapitre sur les vecteurs, on trouve (entre autres) l'exercice suivant :



4. VECTEURS ET FORCES

104 À l'entraînement

Au cours d'une séance d'entraînement de rugby, afin de faire travailler la puissance des joueurs, l'exercice suivant est proposé : un des joueurs J_1 est retenu à l'aide de deux cordes par deux autres joueurs J_2 et J_3.
Dans chacun des cas ci-dessous, le joueur J_1 va-t-il avancer ou reculer ?

Cet exercice s'apparente effectivement à des connaissances de physique, mais il est remarquable que la modélisation est considérée comme totalement transparente. Dans le texte on parle de puissance des joueurs, sans la définir, ni dire par quoi elle est représentée. C'est à l'élève de comprendre que c'est dans le dessin, ce qui est représenté par un vecteur. Mais ceci a plus de chance de se faire par un jeu de contrat didactique, que par une réflexion enrichissante de l'élève sur l'intérêt des vecteurs pour modéliser de telle situation. Reste ensuite à comprendre que l'on peut (on doit d'ailleurs) ramener les trois vecteurs en un même point (J_1 est le meilleur candidat) et que répondre à la question posée revient à comparer $\overrightarrow{F_1}$ à la somme $\overrightarrow{F_2}+\overrightarrow{F_3}$. Cette tâche nécessite de faire graphiquement la somme de 2 vecteurs, ce qui semble bien être le réel enjeu attendu par les auteurs. Pourtant la question de la comparaison aurait pu amener à des questionnements intéressants, puisqu'en effet, il est plus difficile de comparer des vecteurs que des scalaires. Mais ici tout est court-circuité par le fait que les trois exemples éludent la question. En effet, dans les trois cas, la somme $\overrightarrow{F_2}+\overrightarrow{F_3}$ est toujours dans la même direction et de sens opposé par rapport à $\overrightarrow{F_1}$, ramenant la discussion, à la comparaison de grandeurs scalaires positives (bien entendu, les trois exemples correspondent aux trois cas possibles !) . Cet exercice est donc une parodie de modélisation, où le seul enjeu véritable, outre qu'il faut savoir décoder les attentes des auteurs, est de construire graphiquement la somme de deux vecteurs et comparer des longueurs.

On voit donc que le lien entre mathématiques et physique à propos des vecteurs a beaucoup de difficultés à vivre dans les chapitres sur les vecteurs au lycée. Le rapport institutionnel au vecteur dans la classe de mathématiques ne laisse que peu d'espace pour des situations issues de la physique. Quand elles existent, celles-ci restent subordonnées à un rapport inadéquat à la modélisation et apparaissent comme un prétexte à faire faire des mathématiques, tout ce qui relève de la modélisation étant considéré comme transparent et conduit soit à des simplifications drastiques, soit à laisser comme seule possibilité à l'élève de pouvoir deviner les attentes du professeur.

Ce constat peut paraître radical, mais il a aussi des causes profondes, qui ne sont pas à mettre seulement sur le dos d'auteurs de manuels incompétents. En effet, on voit bien que le décalage dans le temps entre les enseignements de mathématiques et de physique rend impossible la vie dans la classe de mathématiques de problèmes, où un questionnement physique pourrait être à la source d'un réel travail de modélisation de la part des élèves conduisant à une utilisation problématisée des vecteurs. Ce décalage pourrait à la limite se régler par une modification curriculaire. Néanmoins, les situations physiques présentes dans les manuels de mathématiques sont peu réalistes du point de vue de la problématique physique. Ceci dépasse le simple aspect curriculaire et met bien en évidence un aspect plus pernicieux du cloisonnement disciplinaire.

Regardons à présent rapidement ce qu'il en est de l'enseignement de la physique. Les élèves apprennent à utiliser des représentations vectorielles pour les forces et les vitesses, en classe de seconde S au Sénégal et en première S en France. Dans les deux cas, ils ont déjà eu une pratique des vecteurs assez importante en classe de mathématiques. Comme pour les mathématiques, nous avons analysé les programmes et des manuels, mais nous ne pouvons rendre compte de nos analyses de façon détaillée ici.

Il ressort essentiellement de notre étude que les objets mathématiques ne sont traités que comme des outils. Les difficultés éventuelles des élèves avec les vecteurs sont ainsi mises sur le compte de déficiences de l'enseignement des mathématiques, sans que la possibilité d'un questionnement propre à la nature des liens avec les objets physiques ne puisse être perçu comme un levier intéressant. A titre d'exemple, voici un extrait du manuel Tomasino de Première S (Nathan 2001). Ce court encadré, intitulé « point-méthode » se présente comme un rappel de mathématiques et se trouve de fait totalement déconnecté de toute référence à la physique, même si les vecteurs sont notés avec la lettre *F* (comme force) et non *v* ou *u*, comme en mathématiques.

POINT-MÉTHODE

Déterminer le vecteur $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

1. Méthode géométrique

- Mettre les segments fléchés représentant $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ « bout à bout » : conserver exactement les directions et les sens des vecteurs. L'extrémité du premier doit être à l'origine du second. On obtient le segment fléché représentant $\vec{F}$ en joignant l'origine du premier vecteur à l'extrémité du second.
- Si on connaît l'échelle de représentation, la valeur de $\vec{F}$ se mesure directement sur la figure. Les relations trigonométriques permettent aussi de déterminer F par le calcul.

2. Méthode analytique

- Choisir un repère orthonormé $(O, \vec{i}, \vec{j})$. Deux axes suffisent lorsque les vecteurs sont dans un même plan.
- Déterminer les coordonnées (F_{1x}, F_{1y}) de $\vec{F_1}$ et (F_{2x}, F_{2y}) de $\vec{F_2}$. Les coordonnées de $\vec{F}$ sont :

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} \,;\, F_y = F_{1y} + F_{2y}$$

La méthode géométrique se présente comme une suite de règles d'actions avec un choix de vocabulaire volontairement très concret, comme si on voulait contre balancer le langage hermétique des mathématiques. Tout ce qui est présenté ici fait normalement partie du bagage mathématique d'un élève de troisième, et est retravaillé en mathématiques en seconde. Les élèves connaissent également une autre méthode, dite règle du parallélogramme, pour calculer la somme de deux vecteurs, mais elle est totalement absente ici.

La *méthode analytique* est aussi connue des élèves depuis la classe de troisième en mathématiques. Le choix des notations est par contre particulier à l'enseignement de la physique et peut d'ailleurs rentrer en conflit avec l'habitude que les élèves peuvent avoir prise en mathématiques d'utiliser les indices 1 et 2 pour noter l'abscisse et l'ordonnée plutôt que les indices *x* et *y*.

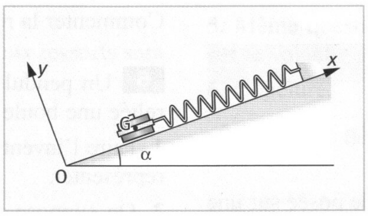
Voici un autre exemple issu du manuel de physique de 1ère S de la collection Parisi (Belin 2005).

Exercice résolu 2

→ Voir aussi l'exercice 23

Solide accroché à un ressort sur un plan incliné

On considère un support plan incliné d'un angle $\alpha = 20{,}0°$ par rapport à l'horizontale. L'extrémité d'un ressort de raideur $k = 12{,}5\ \mathrm{N \cdot m^{-1}}$ est fixé au support, tandis qu'à l'autre est accroché un palet autoporteur de masse $m = 410$ g et de centre d'inertie G. Le ressort est parallèle au support.



Un petit compresseur placé dans le palet envoie un jet d'air par un orifice situé au centre de la semelle du palet, afin de générer un coussin d'air entre le palet et le support. Soit $\vec{R}$ la force exercée par le coussin d'air sur le palet.

Quand l'ensemble est immobile, le ressort est allongé de $\Delta L = 110$ mm. On prendra $g = 9{,}81\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$ pour la pesanteur au lieu de l'expérience.

1. Reproduire le schéma. Représenter la force de rappel $\vec{F}$ exercée par le ressort sur le palet. Calculer sa valeur F.

2. Même question pour le poids $\vec{P}$ du palet.

On considère le repère O*xy* dans le plan de figure. Les coordonnées du vecteur $\vec{R}$ sont notées R_x et R_y.

3. Le palet étant immobile, indiquer en la justifiant la relation vectorielle vérifiée par $\vec{R}$, $\vec{F}$ et $\vec{P}$.

4. Calculer R_x et R_y. Ajouter la force $\vec{R}$ sur le schéma, en choisissant un point d'application quelconque sur la semelle du palet.

5. Expliquer en conclusion le rôle du coussin d'air.

La première remarque est que l'énoncé est très prolixe en explication sur la situation matérielle. On peut noter ici la différence avec les (pseudo-)exercices de physique présents dans les manuels de mathématiques. Dans ce sens, le dessin est typique de ce qui se fait en physique avec un mélange sur une même représentation d'objets « réaliste » (comme ici le ressort ou le palet) et de signes purement abstraits comme les axes de coordonnées ou les forces. Par ailleurs, on notera que les lettres surmontées d'une flèche sont tantôt appelées vecteurs, tantôt appelées forces, alors qu'au début du cours les auteurs font la distinction entre la force et le vecteur force. Ce glissement sémantique est classique et symptomatique du rôle attendu des mathématiques. Enfin, la détermination de la force $\vec{R}$ est ramenée à un calcul numérique par la méthode imposée et détaillée pas à pas des projections sur les axes, alors qu'une caractérisation à l'aide de la trigonométrie aurait pu permettre une approche plus géométrique. En outre, si les connaissances et compétences mathématiques des élèves étaient prises en compte à la hauteur de ce qu'elles devraient être, les questions pourraient être moins nombreuses et la tâche plus ouverte, condition sine qua non pour faire vivre une interaction adéquate entre les deux disciplines.

3. Du côté des enseignants

Afin de mieux cerner les rapports des enseignants des deux disciplines aux objets en jeu dans notre travail et aux liens entre les deux disciplines, nous avons enfin mené une enquête à l'aide de deux questionnaires destinés aux enseignants de sciences physiques d'une part et aux enseignants de mathématiques d'autre part. Pour des questions pratiques, nous avons recueilli des données essentiellement au Sénégal, mais nos enquêtes précédentes (Ba, 2003) nous permettent de faire des rapprochements avec la situation en France.

Nous ne pouvons pas détailler ici nos analyses. De façon synthétique, nous donnons ci-dessous 3 aspects qui nous semblent les plus saillants que nous illustrons d'extraits des réponses obtenues, qui illustrent malgré leur caractère individuel des aspects institutionnels des problèmes de la profession que nous avons pu repérer :

1. Les enseignants avouent le plus souvent sans complexe ne pas connaître les programmes de l'autre discipline, voire retournent la question en disant que c'est à l'enseignant de l'autre discipline à connaître celui de la sienne.

C'est très net pour ce qui concerne les professeurs de mathématiques, mais voici deux réponses assez caractéristiques des réponses des professeurs de physique :

- C'est au professeur de mathématiques de connaître le programme de sciences physiques.

- Je ne vois pas l'intérêt pour le cours de physique et chimie.

2. Les collaborations entre enseignants des deux disciplines existent, voire sont fréquentes, mais se cantonnent essentiellement à parler des élèves, à faire des ajustements curriculaires, mais très rarement à parler de contenu. Si les enseignants ont conscience qu'il y a un dysfonctionnement entre l'enseignement des deux disciplines, ils croient que sa source est essentiellement liée à des carences des élèves, ou des causes institutionnelles locales (mauvais ajustements curriculaires). Ils n'ont pas conscience à quel

point leur propre représentation de leur discipline et de ses liens avec l'autre peut être une barrière encore plus forte.

Voici une réponse d'un professeur de mathématiques :

Nous discutons surtout du niveau des élèves, pour comparer ceux qui sont bien en maths avec ceux qui sont bien en physique, très souvent on retrouve les mêmes noms.

Et une d'un professeur de physique :

On se voit de temps en temps car en mécanique (2S) nous avons besoin énormément des profs de maths (utilisation des vecteurs). En somme nous demandons régulièrement au prof de maths de revenir sur telle ou telle notion pour nous faciliter la tâche. On constate ensemble que maths et physique sont très liées. Les élèves qui ont un bon niveau en maths le sont aussi en physique.

3. Beaucoup d'enseignants de physique considèrent que le vecteur est un concept mathématique et que les difficultés des élèves avec les forces viennent avant tout de leur carence en mathématiques. Les enseignants de mathématiques eux font le plus souvent allusion au rapport des vecteurs avec les forces, mais ne s'appuient pas sur des situations issues de la physique pour aborder des questions relatives aux vecteurs ou s'ils le font c'est, comme nous l'avons vu dans l'analyse des manuels, dans une sorte de parodie de modélisation.

Voici par exemple deux extraits de réponses de professeurs de physique :

- Les élèves ont souvent des lacunes en maths; ils sont déroutés quand un prof de Physique et Chimie manipule des concepts mathématiques parfois inhérents à la description des phénomènes physiques. Le calcul vectoriel, les projections…

- Les notions mathématiques sont parfois mal maîtrisées. Les élèves peuvent avoir des difficultés pour faire le pont entre les connaissances maths et leur utilisation.

Et de professeurs de mathématiques :

- Je ne fais pas référence à la physique car le cours risque d'être long et parfois même un peu complexe.

- Non. Je ne vois nullement l'utilité pour la compréhension des vecteurs, les élèves comprennent bien les vecteurs sans le support de la physique.

Conclusion

Est-ce que le cloisonnement entre disciplines est une fatalité liée au fonctionnement même des institutions ? Peut-on le gérer avec des injonctions dans les programmes officiels ? Il est certain que cela devra au moins s'accompagner de dispositifs de formation qui mettent en rapport des enseignants des deux disciplines.

Mais au-delà de ce constat, on voit bien que c'est un manque de communication entre professions plus qu'entre individus qui est en jeu. Si du point de vue épistémologique, les liens entre vecteurs et grandeurs physiques vectorielles existent, l'histoire du système éducatif avec ses contraintes propres, a en quelque sorte tout fait pour les rendre opaques. 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. Les élèves eux s'habituent à un discours en porte-à-faux et ont renoncé depuis longtemps à faire des liens.

Bibliographie

ARTAUD M. (1997), Introduction à l'approche écologique du didactique. L'écologie des organisations mathématiques et didactiques, In M. Bailleul et al. (eds.), *Actes de la IXième Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques*, Houlgate, 1997, pp. 101-139.

ARTAUD, M. (1999) Conditions et contraintes de l'existence des mathématiques dans l'enseignement général – Permanences et évolutions, *Petit x* **50**, 23-38.

BA, C. (2007) *Etude épistémologique et didactique de l'utilisation des vecteurs en physique et en mathématiques*. Thèse de doctorat - Université Claude Bernard – Lyon 1 et Université Cheikh Anta Diop – Dakar.

BA, C. (2003), *Étude didactique de l'utilisation du vecteur en physique et des liens entre mouvement de translation et translation mathématique*, mémoire de DEA, LIRDHIST, Université Claude Bernard, Lyon1.

BA, C. & DORIER, J.-L. (2007) Liens entre mouvement de translation et translation mathématique : une proposition pour un cours intégrant physique et mathématiques, *Repères IREM*.

BA, C. & DORIER, J-L. (2006) Aperçu historique de l'évolution de l'enseignement des vecteurs en France depuis la fin du XIXème siècle, *l'Ouvert* **113**, 17-30.

BITTAR, M. (1998) *Les vecteurs dans l'enseignement secondaire - Aspects outil et objet dans les manuels - Etude de difficultés d'élèves dans deux environnements : papier-crayon et Cabri-géomètre II*, thèse de l'université Joseph Fourier – Grenoble 1.

CHEVALLARD Y. (1994), Les processus de transposition didactique et leur théorisation, 135- 180, In Arsac, G. et al. (ed.) *La transposition didactique à l'épreuve,* Grenoble : La Pensée sauvage.

CROWE, M.J. (1967) *A history of vector analysis : the evolution of the idea of a vectorial system*, Notre Dame : University Press. Rééd., New-York : Dover, 1985.

DORIER J.-L. (ed.) (1997), *L'algèbre linéaire en question, collection Bibliothèque de Recherches en Didactique des Mathématiques*, Grenoble : La Pensée Sauvage Éditions.

DORIER J-L. (2000), *Recherches en histoire et en didactique des mathématiques sur l'algèbre linéaire - Perspective théorique sur leurs interactions*, Cahier du laboratoire Leibniz n°12. http://www-leibniz.imag.fr/LesCahiers/index.html

FLAMENT D. (1997), *Le nombre une hydre à n visages. Entre nombres complexes et vecteurs*. Paris, Éditions de la maison des sciences de l'Homme.

FLAMENT D. (2003), *Histoire des nombres complexes. Entre algèbre et géométrie*. Paris : CNRS Éditions.

LE THI HOAI, C (1997) : *Etude didactique et épistémologique sur l'enseignement du vecteur dans deux institutions : la classe de dixième au Vietnam et la classe* *de seconde en France*, Thèse de l'université Joseph Fourier - Grenoble 1 et Ecole Normale Supérieure de Vinh.

PRESSIAT A. (1999), *Aspects épistémologiques et didactiques de la liaison « points-vecteurs ».* Thèse de l'université Paris VII.

CISSE BA
Université Cheikh Anta Diop Dakar
cisseba2000@yahoo.com