

Quelle recherche en didactique dans le cadre de l'interdisciplinarité ?

Compte rendu de l'atelier par Michel Bourguet

Invitée : Aude Caussariou, didacticienne de la physique, Université de Bordeaux, rédactrice du blog « Vous avez dit... dactique ? » » <https://ditdactique.hypotheses.org/>

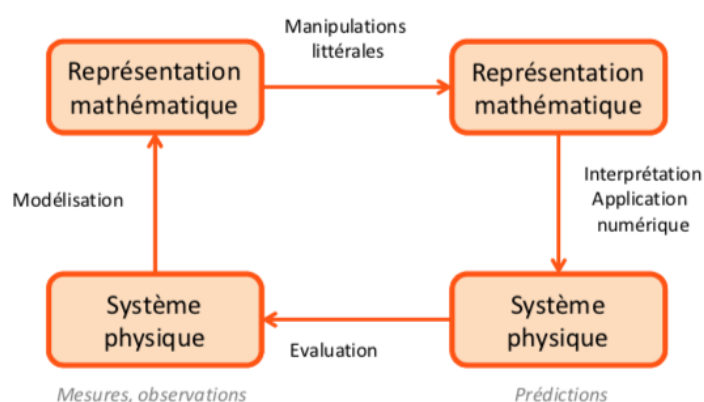
Aude Caussariou est titulaire de deux thèses, l'une en physique statistique et l'autre en didactique de la physique. Elle a travaillé sur les incertitudes de mesure <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/incertitudes-mesure.xml> et mène l'expérience maths4sciences <http://accs.ens-lyon.fr/accs> qui regroupe des enseignants du secondaire et du supérieur de maths et de physique-chimie et qui a pour but de produire des ressources pour la remise à niveau des étudiants de L1.

L'objectif de l'atelier était de réfléchir et travailler sur les problèmes de l'interdisciplinarité et du lien entre les mathématiques et les autres disciplines. Le constat est que ce lien n'est pas développé dans les voies générales ou technologiques et qu'il n'est pas simple à faire dans les voies professionnelles. Une des raisons est peut-être que la recherche didactique est avant tout disciplinaire et que peu de recherches sont orientées vers les spécificités dues à l'interdisciplinarité ou aux problèmes posés par la juxtaposition étanchéifiée des disciplines dans le cursus scolaire et universitaire. Nous avons orienté cet atelier vers les sciences physiques, même si les mathématiques ne sont pas uniquement un outil pour les physiciens. Beaucoup d'autres disciplines font un usage des savoirs mathématiques, notamment les sciences humaines, et cet aspect est apparemment un peu négligé par la recherche.

En première partie, Aude nous a présenté son travail sous forme d'exposé, en partant d'une définition de la physique comme modélisation du réel, en insistant sur le fait qu'une même situation physique réelle peut avoir plusieurs modélisations suivant ce qu'on veut regarder et étudier. Cette problématique de la modélisation ne se pose pas de la même manière en mathématiques et génère déjà beaucoup de difficultés chez les élèves. Il s'agit de relier deux « mondes », celui de la réalité matérielle et celui des théories et modèles.

La démarche scientifique en sciences physique peut être présentée de la façon suivante.

Modélisation en sciences



Uhden, Olaf, Ricardo Karam, Mauricio Pietrocola, et Gesche Pospiech. « Modelling Mathematical Reasoning in Physics Education ». *Science & Education* 21, n° 4 (avril 2012): 485-506. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9396-6>.

Dans cette démarche, le but n'est pas de trouver la meilleure modélisation des données : soit c'est quasiment linéaire ou on cherche à s'y ramener, soit on cherche à construire un modèle physique à partir d'éléments déjà théorisés. Ce qui se résume en une boutade de physicien : « les chimistes ne connaissent que la droite et les physiciens n'en sont pas loin ».

Sur le rôle des mathématiques en sciences physiques, il y a deux questions à se poser : comment les mathématiques sont-elles utilisées en sciences physiques et fait-on la même chose dans les deux disciplines ?

Si les concepts physiques sont mathématiques, les mathématiques sont principalement utilisées comme un outil.

Les rôles des mathématiques en physique

- **Langage** : Les concepts de physique sont mathématiques
 - La vitesse : $v=dx/dt$
- **Outil technique** : on a besoin des mathématiques pour modéliser, faire des calculs...
- **Outil de raisonnement** : raisonnements logiques
- **Heuristique** :
 - permet des analogies entre des domaines différents de la physique,
 - Nouveaux objets maths peuvent mener à des découvertes (RR, topologie, ...)

(Uhden, Karam, Pietrocola, & Pospiech, 2012)

Un test : le *Schibboleth* . C'est un mot d'origine biblique qui désigne un signe de reconnaissance, un usage particulier à un groupe social ou autre. Pour distinguer la manière d'agir sur les écritures mathématiques d'un physicien de celle d'un mathématicien, il suffit peut-être de faire ce test dont voici un exemple.

Schibboleth (1)

- L'un de vos collègues est en train de mesurer la température d'une plaque de métal placée au dessus d'un tuyau d'air froid. Le résultat est assez bien décrit en coordonnées cartésiennes par la fonction $T(x, y) = k(x^2 + y^2)$ où k est une constante.
- Si l'on vous demandait de donner la fonction suivante, qu'écririez-vous ?

$$T(r, \theta) = ?$$

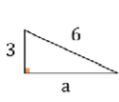


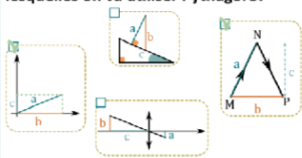

1. $T(r, \theta) = k(r^2 + \theta^2)$
2. $T(r, \theta) = kr^2$

Si vous répondez 1, vous êtes dans la pensée mathématique, peu importe le nom des variables, la formule est la même. Si vous répondez 2, vous êtes un physicien : le sens de la situation (contexte) a primé et vous a fait passer outre le changement de variable et l'incongruité mathématique de ne pas changer la dénomination de la fonction T .

Ce petit test, et d'autres, révèlent la différence de manipulation des écritures que font matheux et physiciens. Les élèves, passant d'une classe à l'autre, ont souvent du mal à s'y retrouver.

La question fondamentale sous-jacente est celle du sens. Donner du sens en maths et en physique ne signifie pas la même opération cognitive. D'où le projet **maths4sciences** qui vise à construire un modèle et trier des questions de mathématiques nécessaires en sciences physiques. Cela nous a amenés à la deuxième partie de l'atelier où nous avons pu expérimenter une méthode de travail.

Exemple présenté, à partir du théorème de Pythagore

	Restituer une connaissance	Donner du sens	Appliquer une procédure
Découvrir	<p>Le triangle ABC est rectangle en C. Le théorème de Pythagore dit que :</p> <p><input type="checkbox"/> $AB=BC+AC$ <input type="checkbox"/> $AC=AB+BC$ <input checked="" type="checkbox"/> $AB^2=BC^2+AC^2$ <input type="checkbox"/> $AC^2=AB^2+BC^2$</p>	<p>Le triangle EFG est rectangle en G. L'hypoténuse de ce triangle est le côté :</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> EF <input type="checkbox"/> EG <input type="checkbox"/> FG</p>	 <p>Quelle est la longueur du côté a ?</p>
Approfondir		<p>Que peut-on dire de la distance MP ?</p>  <p><input type="checkbox"/> Elle est égale à 4 km <input type="checkbox"/> Elle est supérieure à 4 km <input checked="" type="checkbox"/> Elle est inférieure à 4 km <input type="checkbox"/> Elle est égale à 2 km</p>	 <p>Un rayon lumineux fait le trajet ABC. Les points A et C sont séparés d'une distance $v\Delta T$.</p> <p>Utiliser le théorème de Pythagore pour exprimer la distance parcourue par la lumière en fonction de v, ΔT et h</p>
Réinvestir		<p>Dans les 4 situations suivantes, on connaît a et b et on cherche c. Quelles sont les situations pour lesquelles on va utiliser Pythagore ?</p> 	<p>Une fusée se déplace à la vitesse v. Un rayon lumineux émis dans la fusée perpendiculairement au déplacement parcourt le trajet du schéma ci-contre. Sur Terre, un observateur mesure une durée Δt pour ce trajet. Exprimer la distance parcourue par ce rayon lumineux vue par un observateur immobile par rapport à la fusée en fonction de v, h et Δt</p> 

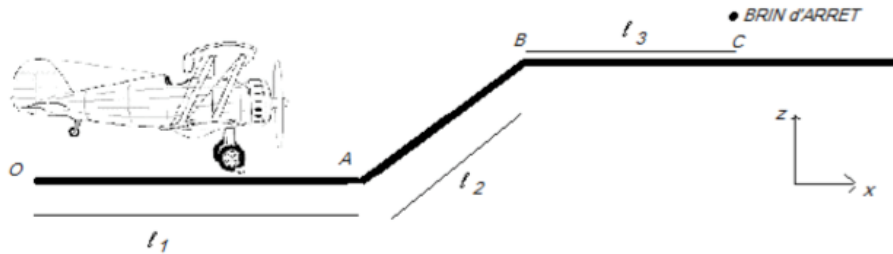
Ce tableau vise à construire des ponts entre notions de mathématiques et notions de sciences physiques, en partant du problème physique et en remontant au concept de mathématique, en le déclinant suivant trois catégories correspondant peu ou prou à une taxonomie des opérations cognitives (inspirée de Bloom).

Le désaccord apparent que nous avons constaté est que le théorème de Pythagore est utilisé par les physiciens pour justifier l'inégalité triangulaire ou l'adage « le plus court chemin est la ligne droite ». Ce n'est pas faux, mais du point de vue d'un élève, a-t-on vraiment besoin d'un angle droit dans ce cas ? Finalement n'y a-t-il pas confusion entre la notion d'angle droit et l'inégalité triangulaire ?

Nous avons ensuite travaillé sur un problème donné en examen de physique en L1 de sciences, avec son corrigé.

Nous allons étudier l'atterrissage d'un avion sur la piste d'un navire porte-avion, ou « appontage ».

L'avion sera assimilé à un point matériel de masse m . La piste comporte quatre parties dont une inclinée d'un angle α . En travers de l'entrée de la quatrième partie est installé un filin métallique qui sera modélisé par un ressort de raideur k .



Section 1 : (5 points)

Au début de l'appontage, l'avion touche le sol en O avec une vitesse horizontale de norme V_0 puis roule horizontalement sur une distance ℓ_1 en freinant. Le freinage sera modélisé par une force de frottement solide \vec{T} opposée au mouvement et tel que $\|\vec{T}\| = \mu\|\vec{N}\|$

où μ est le coefficient de frottement et \vec{N} la composante normale de la réaction.

- 1.1. Déterminer à l'aide du principe fondamental de la dynamique dans le repère $(O, \vec{e}_x, \vec{e}_z)$ l'équation horaire du mouvement de l'avion $x(t)$ sur cette première section de piste.

Bilan des forces s'exerçant sur l'avion + Relation fondamentale de la dynamique

$$m\vec{y} = \vec{P} + \vec{N} + \vec{T} \text{ . En projetant sur } \vec{e}_z : P + N = 0 \text{ donc } N=mg$$

$$\text{donc } \|\vec{T}\| = \mu\|\vec{N}\| = \mu mg \text{ soit en projetant sur } \vec{e}_x : m\ddot{x} = \vec{T} \cdot \vec{e}_x = -\mu mg$$

$$\text{donc } \dot{x}(t) = -\mu gt + cste = -\mu gt + V_0 \text{ et ainsi } x(t) = -\mu g \frac{t^2}{2} + V_0 t$$

Nous n'avons pas eu le temps de faire une mise en commun des travaux de groupe mais plusieurs questions sont soulevées à l'interface mathématiques/sciences physiques par ce document. Est-ce bien le produit scalaire qui est l'enjeu principal de la résolution physique ? Est-ce l'outil pertinent ? On peut facilement s'en passer... Pas besoin de parler de projection pour définir à des élèves du secondaire un système de coordonnées. Ce n'est pas comme cela qu'ils l'ont vu au premier abord.

L'équation différentielle en est-elle vraiment une ou simplement une double primitivisation ?

Il a donc été difficile de démêler les outils mathématiques pertinents, puis de rentrer dans les cases du tableau présenté.

En conclusion, le constat est clair que nous ne faisons pas les mêmes choses en mathématiques et en sciences physiques, que les deux disciplines ont des épistémologies différentes, des pratiques langagières ou de raisonnement différentes et des méthodes très différentes. Ce qui corrobore le fait que le peu de recherche didactique à l'interface de ces disciplines ne peut pas influencer sur les pratiques, ni même faire prendre conscience des difficultés pour les élèves de passer du cours de mathématiques à celui de physique-chimie. Excepté en lycée professionnel où les collègues enseignent les deux disciplines, ces derniers auraient sans doute beaucoup à apporter aux pratiques de ceux des LEGT quant à la gestion de ces difficultés.