

Les savoirs mathématiques dans l'analyse didactique de l'enseignement de la physique

*Un cas d'enseignement de la réfraction en
classe de seconde*

Lionel Pelissier
UMR EFTS, Univ. Toulouse 2

Nicolas Hervé
UMR EFTS, Univ. Toulouse 2

Marie-Hélène Lécureux-Têtu
UMR EFTS, Univ. Toulouse 2

Résumé

Cette recherche porte sur l'analyse didactique d'une séance de physique sur la réfraction de la lumière, sous l'angle des savoirs mathématiques. L'enseignant accorde une place importante aux savoirs mathématiques dans son enseignement de la physique. Les moments pertinents de la séance que nous avons observés de ce point de vue ont été mis en évidence par une analyse thématique via l'action conjointe en didactique. Puis, via une étude des praxéologies mathématiques de ces moments, nous mettons en évidence le contraste entre les organisations mathématiques en classe de physique au regard de l'enseignement des mathématiques.

Mots-clés

analyse didactique, action conjointe, praxéologies, physique, mathématiques, modèle

Mathematic knowledges in didactic analysis of physics teaching

**An example of Snell-Descartes light refraction law
teaching in high school level 7**

Abstract

This research focuses on the didactical analysis of a physics lesson about refraction of light in terms of mathematical knowledges. The teacher gives a great importance to mathematical knowledges in physics teaching. The relevant moments of the lesson we observed from this point of view are highlighted by a thematic analysis via joint action in didactics. Then, through a study of mathematical praxeologies in these moments, we show the contrast between mathematical organizations in physics teaching in regards to mathematics teaching.

Key-words

Didactic analysis, joint action, praxeology, physics, mathematics, model

CONTEXTE ET HYPOTHÈSES

Cette communication porte sur une étude poursuivie dans le prolongement de celle que nous avons présentée aux précédentes journées de l'Ardist (Pélissier, Hervé, Venturini, 2016). Le travail empirique avait été initialement conduit sur deux corpus distincts et analysés respectivement selon deux méthodologies d'analyses différentes (ACD et TAD). Nous avons ainsi identifié des savoirs mathématiques en jeu dans l'action didactique, savoirs que nous avons voulu spécifier dans le contexte de l'enseignement de la physique comparativement à l'enseignement des mathématiques.

Des recherches qui portent sur les liens savoirs mathématiques / savoirs de la physique, nous retiendrons ceux de Malafosse, Lerouge et Dusseau (2000), Munier & Merle (2007), Castela & Vasquez, (2011). Les premiers proposent notamment un cadre inter-didactique mobilisant les notions de registres sémiotiques, de cadre de rationalité et d'espace de réalité et qu'ils ont mobilisé pour analyser les conceptions d'enseignants et les processus de conceptualisation des élèves en physique lors de situations construites par la recherche.

En posant la question de la spécificité des savoirs mathématiques en jeu dans l'enseignement de la physique, nous avons entrepris de nous centrer sur les enjeux de savoirs mathématiques dans le didactique ordinaire de l'enseignement de la physique comparativement à la manière dont ils sont construits dans l'enseignement des mathématiques, en faisant les hypothèses :

que cela nous donnerait à voir d'autres faits didactiques qui jusque-là étaient écartés par une analyse centrée sur les savoirs de la physique ;

qu'à la lumière des travaux cités précédemment (Malafosse, Lerouge & Dusseau, 2000, Munier & Merle, 2007), des différences dans les pratiques d'étude des savoirs mathématiques pourraient être un moyen d'identifier les déterminants de l'action dans le système didactique.

MÉTHODOLOGIE DE RECUEIL ET D'ANALYSE DES DONNÉES

Nous avons cherché à examiner une séquence d'enseignement de physique dans laquelle des savoirs mathématiques prennent une place potentiellement significative.

Nous nous sommes intéressés en l'occurrence à l'enseignement, par un enseignant expérimenté, de la réfraction de la lumière en classe de seconde et sa modélisation par la loi de Snell-Descartes, dont la formulation mathématique canonique ($n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$) contient une proportionnalité entre deux sinus d'angles. Le corpus principal des données est constitué de la transcription mot à mot de l'enregistrement audiovisuel des séances, à laquelle nous ajoutons d'autres éléments comme la trace écrite au tableau et les divers documents distribués aux élèves. Il est complété par un entretien ante-séquence semi-dirigé avec l'enseignant, à propos des modèles et de la modélisation, sur leur enseignement et leur apprentissage, sur la portée éducative qu'il leur attribue, et sur ce qu'il envisage d'enseigner à propos de la réfraction de la lumière et de quelle manière. Des entretiens post-séances permettent d'obtenir des éléments de compréhension sur des événements saillants de la séance et de compléter éventuellement les analyses.

Le traitement du corpus principal s'est déroulé en trois phases :

- la première consiste à réaliser une analyse a priori de la séance sous l'angle des savoirs de la physique, de ceux des mathématiques, et de leur articulation dans les modèles des phénomènes physiques mis en jeu ;

- puis nous repérons dans le flux de la séance, grâce à une analyse thématique via l'action conjointe en didactique, des épisodes pertinents et que nous avons indexés du point de vue de la discipline de référence des savoirs en jeu et pour lesquels nous avons précisé la durée.

- enfin nous avons analysé les épisodes qui relèvent des mathématiques sous l'angle des praxéologies disciplinaires et didactiques de la physique et des mathématiques (Chevallard, 1999).

EXEMPLE D'ANALYSE

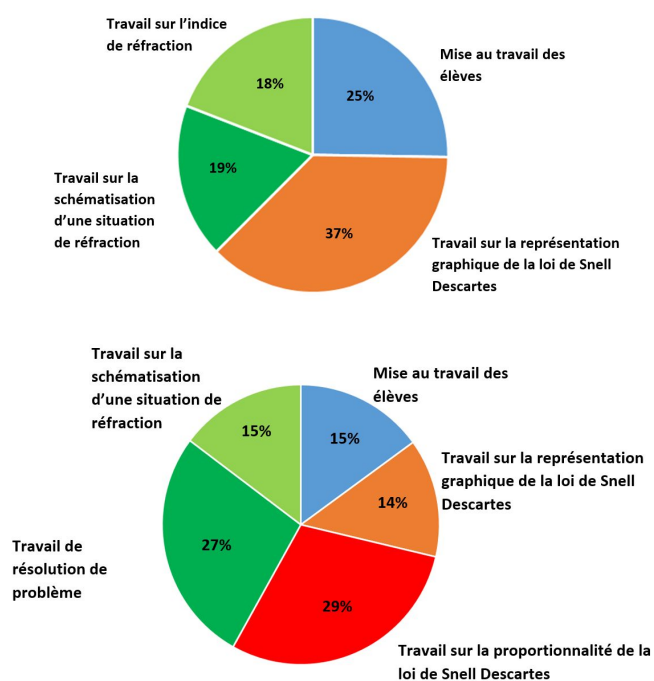
Nous proposons d'illustrer notre travail sur un extrait de corpus, en décrivant notre manière d'identifier un épisode pertinent dans le traitement du corpus, et l'analyse didactique que nous en avons fait, présentée ici uniquement sous l'angle des praxéologies mathématiques au regard du statut des objets mathématiques dans l'enseignement de cette discipline.

Description de la séance et localisation d'un épisode pertinent

La réfraction est étudiée sur une séance en classe de seconde dédoublée, dédiée aux activités expérimentales, et deux séances en classe entière. La première consiste en la présentation du phénomène de réfraction par l'enseignant, puis la réalisation et la collecte par les élèves d'une série de mesures des angles des directions de la lumière incidente et de de la lumière réfractée lors de la traversée d'un dioptre matérialisé par la surface d'un demi-cylindre de plexiglas, le calcul de leur sinus respectifs, ainsi que le positionnement dans un graphique des points correspondants de coordonnées $(\sin i_2, \sin i_1)$.

Nous représentons dans les graphiques ci-dessous le résultat de l'analyse de la répartition dans le temps des types d'activités au cours de chacune des deux séances suivantes :

Schéma 1 : Analyse thématique des séances observées (en % du temps de la séance)



Nous observons que dans les deux séances en classe entière le travail spécifique sur des objets mathématiques (représentation graphique de la loi de Snell-Descartes et proportionnalité des grandeurs exprimées dans la loi) occupent une place aussi importante que l'étude des savoirs de la physique (réfraction, indice).

Dans l'entretien post-séance n°1, l'enseignant déclare que la maîtrise des objets mathématiques manipulés en physique est primordiale pour lui et que la réfraction est justement un phénomène qui lui permet de travailler en profondeur ces savoirs avec les élèves.

Nous nous sommes alors centrés sur l'épisode portant sur la proportionnalité dans la loi de Snell-Descartes.

Etude des praxéologies mathématiques

Cet épisode est marqué par la réalisation du type de tâches T : “déterminer si deux grandeurs sont proportionnelles ou non”, rencontré au travers de deux tâches différentes : t1 “déterminer si les angles d'incidence et de réfraction sont proportionnels”, et t2 “déterminer si les sinus de ces mêmes angles sont proportionnels”.

L'élément principal de la technologie est rappelé par le professeur : « *la courbe d'une fonction est droite et passe par l'origine, si la fonction est linéaire* ». Le lien entre fonction linéaire et proportionnalité n'est pas rappelé. Ces savoirs sont étudiés traditionnellement en mathématiques au cycle 4.

Après avoir constaté la proportionnalité des sinus, les élèves devront déterminer le coefficient de proportionnalité reliant $\sin i$ et $\sin r$, par le calcul du coefficient directeur de la droite¹.

La technique choisie est graphique : placer dans un repère les points associés aux valeurs connues, regarder l'allure du nuage de point ainsi obtenu. Si cette allure est éloignée d'une droite, conclure que les grandeurs ne sont pas proportionnelles. Si l'allure semble proche d'une droite, tracer une droite de façon un peu approximative, et regarder si le tracé passe par l'origine – ou s'il semble suffisamment proche de

¹ L'enseignant écrit “ $\sin i = f(\sin r)$ ” mais ne travaille pas précisément sur la signification de cette écriture, qui ne serait pas envisageable en mathématiques à ce niveau d'enseignement.

l'origine². Si les deux conditions sont réunies, Dans le cas où l'on a pu tracer une droite, on vérifie si celle-ci passe par l'origine, conclure que l'on a bien une situation de proportionnalité.

Dans l'enseignement des mathématiques au secondaire, le même type de tâche est rencontré mais sa praxéologie usuelle est différente : on identifie dans le programme du cycle 4 le type de tâches T, en lien avec la compétence *modéliser* : « *Reconnaître des situations de proportionnalité et résoudre les problèmes correspondants.* » (MEN 2016). Une étude non exhaustive de quelques manuels montre que la technologie consiste à reconnaître parmi des courbes de fonctions fournies s'il s'agit de fonctions linéaires ou non : si la représentation graphique ne passe pas par l'origine, cela *démontre* qu'il n'y a pas de proportionnalité ; si la représentation graphique est différente d'une droite -ce qui peut être prouvé à l'aide de trois points non alignés du graphique-, on *démontre* que la situation n'est pas une situation de proportionnalité ; sinon, on *conjecture* la proportionnalité des deux grandeurs. Ainsi, à partir d'un tableau ne donnant que quelques valeurs, on ne peut que prouver que deux grandeurs ne sont pas

ÉLÉMENTS DE DISCUSSION

L'analyse des séances de physique met en évidence essentiellement deux types de tâches mathématiques T "déterminer si deux grandeurs sont proportionnelles et T' "déterminer la fonction reliant deux grandeurs". L'organisation plus globale obtenue par amalgamation devient relative à des situations extra-mathématiques et n'a de sens que par son inscription dans l'expérimental de la physique. Ainsi, quand se pose la question du lien fonctionnel entre deux grandeurs en sciences expérimentales, le choix de la fonction candidate à un ajustement possible à un nuage de points nécessite une connaissance des fonctions dites de référence (linéaire, affine, puissance, logarithmique, exponentielle), associée à la réflexion sur le comportement relatif des grandeurs³. Les raisons d'être des fonctions de référence n'est pas nécessairement rendu visible dans le cours de mathématiques du secondaire, et ce travail dans l'expérimental est une manière de les faire apparaître, pour peu que ce lien soit mis en évidence. De l'autre côté, l'ajustement en physique du nuage par une fonction implique de clarifier le modèle sous-jacent à ce choix.

² Une autre technique possible consiste à utiliser la méthode des moindres carrés, par le truchement d'un logiciel tableur-grapheur. Notons que cette technique est identique à celle réalisée pour une praxéologie du modèle pour cet épisode. Le type de tâche identifié est alors celui de la construction d'un modèle expérimental.

³ Les outils informatiques permettent de réaliser très rapidement l'ajustement que l'on veut.

Sur cet exemple, nous voulons mettre en évidence que l'intérêt de cette approche pour la didactique des mathématiques est d'observer d'autres praxéologies mathématiques, différentes car développées dans une autre institution qu'on pourrait nommer "enseignement de la physique dans le secondaire", et qui possède un rapport particulier à ces objets. Ce cas confirme que des objets de savoir mathématiques donnés donnent lieu à des praxéologies différentes dans des institutions différentes. Ce résultat est conforme à la TAD et à celle Malafosse, Lerouge et Dusseau (2000) et étend la validité de l'étude de Castela & Vasquèz (2011).

D'un autre côté, l'analyse didactique des organisations mathématiques révèle des angles morts d'une analyse didactique centrée sur les savoirs de la physique : les types de tâches que les élèves sont amenés à réaliser sur des savoirs identiques à ceux qu'ils rencontrent en mathématiques renvoient à des techniques et des technologies (mais pas à des théories puisqu'on ne peut pas reconnaître la linéarité d'une fonction à partir de quelques points) qui peuvent, soit poser problème aux élèves, soit contribuer à leur conceptualisation de savoirs mathématiques (cf. Munier et Merle, 2007)⁴. Reformulé dans le cadre de notre travail à poursuivre, nous pensons que les rapports au savoirs "proportionnalité/linéarité" des acteurs du système didactique (élèves et enseignant) constituent des modes de détermination de leur action en classe.

BIBLIOGRAPHIE

- Castela C., Romo Vazquez A. (2011), Des mathématiques à l'automatique : étude des effets de transposition sur la transformée de Laplace dans la formation des ingénieurs. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 31(1),79-130.
- Chevallard, Y. (1999) L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique, *Recherches en didactique des mathématiques*, 19(2), 221-265. Grenoble : la Pensée Sauvage.
- Malafosse, D., Lerouge, A., Dusseau, J.-M. (2000) Notions de registre et de cadre de rationalité en inter-didactique des mathématiques et de la physique, *Trema*, 18, 49-60.

⁴ la conceptualisation de la notion d'angle en mathématiques peut s'appuyer sur l'espace sensible et son articulation avec l'espace conceptuel qui est caractéristique de l'activité en physique.

- Munier, V., Merle, H. (2008) Une approche interdisciplinaire mathématiques physique : du concept d'angle à l'école élémentaire, *Revue de didactique des mathématiques*, 27(3)
- Sensevy G. & Mercier A. (dir.) (2007) *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*, Rennes : PUR.