

ENSEIGNER LES ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES EN PREMIÈRE ANNÉE D'UNIVERSITÉ : QUELS LIENS ENTRE LES PRATIQUES ENSEIGNANTES ET LES APPRENTISSAGES DES ÉTUDIANTS ?

| BRIDOUX* STÉPHANIE ET GRENIER-BOLEY** NICOLAS

Résumé | Nous étudions ici les liens entre les pratiques d'un enseignant universitaire et la manière dont ses étudiants les perçoivent à l'issue d'un cours sur les équations différentielles ordinaires. Le relief nous permet d'étudier, dans le discours de l'enseignant, les proximités avec les connaissances (anciennes et nouvelles) des étudiants. Dans le cas présent, un questionnaire adressé aux étudiants à l'issue du cours montre des malentendus entre les pratiques de cet enseignant et les apprentissages visés chez ses étudiants.

Mots-clés : équations différentielles ordinaires, pratiques enseignantes, vécu des étudiants, proximités discursives, relief sur les notions à enseigner

Abstract | We study the relationship between a university teacher's practices and his/her students' perceptions of those practices at the end of a course on ordinary differential equations. The relief allows us to bring out the proximities between the teacher's discourse and the students' (prior and new) knowledge. In the present case, a questionnaire proposed to students at the end of the course reveals misunderstandings between the teacher's practices and the students' intended learning.

Keywords: ordinary differential equations, teachers' practices, students' perceptions, discursive proximities, relief on the taught notions

I. CONTEXTE DU TRAVAIL

Dans cette communication, nous nous intéressons aux liens entre les pratiques des enseignants universitaires et la manière dont ces pratiques sont reçues par les étudiants dans le contexte des cours magistraux. Cette recherche en cours s'inscrit dans la continuité des travaux menés par Bridoux et al. (2023) qui ont étudié, sur base des pratiques déclarées par des enseignants-chercheurs, leurs représentations du métier, ce qu'ils projettent sur les étudiants ou encore leur regard sur la discipline qu'ils enseignent. Trois marqueurs caractérisant les pratiques des enseignants-chercheurs ont ainsi été mis en évidence : la culture disciplinaire (par exemple des conceptions sur leur discipline et les objets à enseigner), la prise en compte du public étudiant (par exemple la place des prérequis, les difficultés repérées chez les étudiants) et l'impact du métier de chercheur sur le métier d'enseignant (donner pendant les cours des exemples issus du domaine de recherche, par exemple). En nous appuyant sur ces travaux, nous faisons l'hypothèse que ces marqueurs amèneront les enseignants à faire des choix qui auront des conséquences sur l'organisation de leurs enseignements et sur les apprentissages de leurs étudiants.

Dans ce contexte, Bridoux et al. (2024) ont interrogé cinq enseignants-chercheurs avant un cours magistral proposé en première année d'université dans des filières scientifiques pour en comprendre les objectifs, les difficultés pressenties chez les étudiants. Les chercheurs ont ensuite assisté au cours et ont proposé à la fin de celui-ci un questionnaire aux étudiants dans le but d'étudier dans quelle

* Université de Mons – Belgique – stephanie.bridoux@umons.ac.be

** Univ Rouen Normandie, Université Paris Cité, Univ Paris Est Creteil, CY Cergy Paris Université, Univ. Lille, LDAR, F-76000 Rouen – France – nicolas.grenier-boleyn@univ-rouen.fr

mesure leur ressenti est en adéquation d'une part avec les propos de leur enseignant durant l'entretien mené avant le cours et d'autre part avec les pratiques développées par celui-ci dans le cours. Nous présentons ici le travail réalisé avec un enseignant-chercheur en mathématiques dont le cours visait à introduire les équations différentielles ordinaires, en complétant le travail précédent par une analyse du discours de l'enseignant pendant le cours. Ce choix de contenu est simplement motivé par le fait que les enseignants ont été choisis sur base volontaire et cet enseignant allait démarrer un nouveau chapitre traitant de ce type d'équations.

Dans un premier temps, nous présentons nos outils d'analyse du discours des enseignants et la problématique qui en découle. Nous décrivons ensuite notre méthodologie, puis l'étude de terrain que nous avons menée et ses principaux résultats.

II. OUTILS D'ANALYSE DU DISCOURS DES ENSEIGNANTS ET PROBLÉMATIQUE

Notre inscription dans la Théorie de l'Activité, adaptée à la didactique des mathématiques (Vandebrouck, 2008), nous amène à étudier les apprentissages des étudiants par le prisme de leurs activités mathématiques. Celles-ci sont influencées par les choix des enseignants en termes de contenus et de déroulements en classe. Les activités des étudiants étant difficilement observables durant un cours magistral, nous nous centrons sur le discours de l'enseignant pour étudier comment l'enseignant va agir sur ces activités.

Pour étudier le discours des enseignants, nous nous demandons comment ils s'appuient ou prolongent des activités antérieures, comme par exemple le fait de remobiliser chez les étudiants des connaissances anciennes pour en introduire de nouvelles, et comment ils préparent les activités ultérieures, par exemple pour contextualiser des connaissances présentées à un niveau général. Cela nous amène à étudier dans le discours des enseignants les occasions de se rapprocher de ce que les étudiants savent, font, ont fait, [...]. Ces rapprochements sont appelés des « proximités discursives » (Robert et Vandebrouck, 2014). Nous distinguons trois types de proximités (Bridoux et al., 2016) : les proximités ascendantes se situent entre ce que l'enseignant fait et l'introduction d'un nouvel objet (passage du contextualisé au décontextualisé), les proximités descendantes se situent entre ce qui a été exposé et des exemples ou des exercices (passage du décontextualisé au contextualisé). Enfin, les proximités horizontales n'amènent pas de changement entre le contextualisé et le décontextualisé. Elles consistent en des reformulations, des explications sur des liens entre les notions, des commentaires sur la structure du cours, ... L'outil des proximités a par exemple été mobilisé pour étudier le discours d'un enseignant qui introduit la définition formelle de limite d'une fonction (Bridoux et Grenier-Boley, 2024). Nous avons ainsi repéré des tentatives de proximités horizontales dans son discours sous la forme de reformulations dans la construction de la définition. Toutefois notre étude de relief nous amène à penser que ces proximités ont peu d'impact sur la prise de sens des étudiants, car elles portent majoritairement sur des connaissances peu disponibles au niveau d'enseignement visé. Des exemples de proximités seront donnés dans la suite du texte dans le contexte précis des équations différentielles ordinaires.

De manière à anticiper les occasions de proximités dans le discours d'un enseignant, nous menons une étude de relief qui résulte d'un croisement entre des analyses mathématiques et épistémologiques (pour étudier les spécificités des notions), d'analyses cognitives (pour répertorier les difficultés repérées chez les étudiants) et d'analyses curriculaires (les programmes scolaires, quand il y en a). Le relief sert alors de référence au chercheur et l'aide à baliser les choix de scénarios possibles, à décrire la conceptualisation attendue et à étudier ensuite les proximités tentées dans le discours des enseignants.

Notre intérêt pour étudier les liens entre les pratiques enseignantes et les apprentissages des étudiants qui en résultent nous amène, au regard des outils présentés, à formuler les questions de recherche suivantes : quels sont les liens entre les choix d'organisation des enseignants et les proximités tentées dans leur discours ? Et quel en est l'impact sur la compréhension des étudiants ? Bridoux et al. (2020) abordent une problématique similaire en analysant les pratiques déclarées de deux enseignants universitaires. Des questionnaires sont aussi proposés à leurs étudiants à l'issue d'un cours pour étudier comment ils reçoivent ces pratiques. Nous utilisons donc une méthodologie analogue pour inférer des éléments de réponse à nos questions. Celle-ci est renforcée ici par l'étude des pratiques effectives de l'enseignant. Ainsi, nous avons tout d'abord mené un entretien avec l'enseignant de mathématique avant son cours sur les équations différentielles ordinaires. L'entretien permet à l'enseignant d'expliquer le sujet du cours, ses objectifs et les éventuelles difficultés pressenties chez les étudiants. Cet entretien nous permet également de dresser un « profil » de l'enseignant en lien avec les trois marqueurs décrits dans la section précédente (la culture disciplinaire, la manière de s'adapter aux étudiants, l'impact du métier de chercheur sur le métier d'enseignant). Nous avons ensuite observé les pratiques in situ de cet enseignant, que nous analysons au regard de notre étude de relief. À la fin du cours, un questionnaire portant sur la séance a été proposé aux étudiants. Ils ont notamment été interrogés sur leur compréhension du cours, leurs difficultés, la présence d'exemples.

Nous choisissons ici de nous centrer sur l'introduction de la définition d'une équation différentielle ordinaire (notée EDO dans la suite du texte). Ce choix est motivé par le fait que l'enseignant au cœur de ce travail enseigne en Belgique. Dans ce contexte institutionnel, les EDO ne sont pas étudiées au lycée, comme c'est le cas actuellement en France. Il s'agit donc d'un sujet complètement nouveau à introduire aux étudiants au deuxième semestre de cours. Ceux-ci ont toutefois eu un enseignement de physique au premier semestre qui aborde principalement la cinématique et l'étude des mouvements. L'enseignant de mathématiques pourrait donc tenter de s'appuyer sur des concepts de physique pour introduire les EDO.

III. RELIEF SUR LES NOTIONS À ENSEIGNER

Historiquement, les équations différentielles ont émergé au 17^e siècle pour modéliser des phénomènes physiques continus en fonction du temps et des situations en géométrie (Saglam, 2004). Actuellement, les équations différentielles ont des applications dans de nombreuses disciplines telles que la physique (par exemple la radioactivité) ou la biologie (pour étudier la dynamique des populations). Les équations qui nous intéressent ici sont les EDO. Une EDO peut être définie de la manière suivante : une EDO d'ordre n est une relation entre la variable réelle t , une fonction inconnue $t \rightarrow x(t)$ et ses dérivées $x', x'', \dots, x^{(n)}$ au point t définie par $F(t, x(t), x'(t), \dots, x^{(n)}(t)) = 0$ (Demailly, 2006).

Les EDO ont fait l'objet de nombreux résultats, par exemple des méthodes qui permettent de trouver explicitement les solutions d'une EDO linéaire à coefficients constants. D'autres résultats concernent l'existence de solutions ou l'unicité, sans les connaître explicitement. Ainsi, les EDO sont à la fois un objet dont le mathématicien peut étudier les propriétés et un outil de modélisation auquel peut aussi s'associer l'usage des technologies (Saglam, 2004). Dans ce contexte, Moreno Gordello (2006) explique que la conceptualisation des EDO va nécessiter de la part des étudiants une certaine disponibilité et une flexibilité entre différents registres de représentation sémiotique (langue naturelle, algébrique, graphique notamment) au sens de Duval (1993) et différents cadres (géométrie, physique, analyse, algèbre) au sens de Douady (1986). Pourtant, Artigue et Rogalski (1990) soulignent que l'enseignement des EDO peut vite devenir très algorithmisé et opératoire, donc limité au seul cadre algébrique. Les travaux de Habre (2000) montrent eux aussi que pour un nombre important

d'étudiants, résoudre une équation différentielle se limite souvent à une activité purement algébrique et procédurale, sans lien avec le cadre géométrique.

Comme nous l'avons expliqué, les équations différentielles ne sont pas enseignées au lycée en Belgique. Les élèves de terminale (élèves de 17-18 ans) étudient les fonctions exponentielles mais le fait que $(e^x)' = e^x$ n'est jamais interprété en « la fonction exponentielle de base e est solution de l'équation différentielle $u' = u$ ». L'introduction des EDO en première année d'université est donc la première rencontre des étudiants avec des équations où l'inconnue est une fonction, et plus un nombre (réel ou complexe) comme au lycée. Or, de nombreux travaux en didactique des mathématiques ont montré les difficultés des élèves avec l'objet « fonction » (Vandebrouck, 2011) et les travaux de Rasmussen (2001) montrent que cela engendre des difficultés dans la compréhension des équations différentielles, notamment dans le cadre géométrique. Le formalisme contenu dans la définition d'une EDO est également complexe à ce niveau d'enseignement. Et même si la majorité des étudiants ont rencontré dans leur parcours antérieur (lycée et université) la deuxième loi de Newton qui s'écrit souvent sous la forme $\vec{F} = m\vec{a}$, le fait que cette loi puisse s'écrire sous la forme d'une équation différentielle est passé sous silence. Ainsi, même si les liens avec la physique existent, ils seront sans doute difficiles à établir pour un nombre important d'étudiants. Kwon (2020) explique d'ailleurs à ce sujet que les difficultés des étudiants sont à la fois liées aux spécificités mathématiques des équations différentielles qu'à leurs liens avec les autres disciplines.

Du côté des pratiques enseignantes, le cours magistral reste prédominant pour enseigner les équations différentielles (Kwon, *ibid.*). Toutefois, il existe peu de travaux qui se penchent spécifiquement sur l'étude du discours des enseignants dans cet espace d'enseignement. D'autres stratégies d'enseignement visant à impliquer davantage les étudiants ont été développées telles que les démarches d'investigation (Stefan et Rasmussen, 2002). Apkarian et al. (2023) s'appuient également sur ces démarches pour travailler avec des futurs enseignants. Les expériences menées montrent qu'ils donnent davantage de sens à des objets nécessaires à la conceptualisation des équations différentielles comme $\frac{dy}{dt}$. Ce type de dispositif fait aussi évoluer positivement le rapport de ces futurs enseignants aux mathématiques universitaires en leur permettant de faire davantage de liens avec les mathématiques à enseigner au lycée.

Ainsi, ces quelques éléments de relief montrent la possibilité, pour l'enseignant, de s'appuyer sur des exemples issus de différents domaines au moment d'introduire les EDO, avant la définition notamment. Il pourrait alors expliquer aux étudiants comment la forme des équations différentielles particulières liées aux phénomènes étudiés se généralise et ainsi introduire le formalisme de la définition. Cette démarche offre des occasions de proximités ascendantes, par exemple en évoquant que l'ordre d'une EDO peut être quelconque et pas limité à l'ordre 1 ou 2 ou en expliquant à quoi la fonction F présente dans la définition générale correspond dans les cas particuliers traités. Des exemples pourraient également être donnés après la définition pour la décontextualiser et adapter le formalisme sur des cas particuliers. Ce choix serait alors l'occasion de trouver des proximités descendantes dans le discours de l'enseignant pour montrer en quoi il s'agit d'un cas particulier qui s'inscrit dans la définition donnée. Des commentaires explicatifs sur la notion de solution, notamment pour insister sur le fait que l'objet « solution » est une fonction, pourraient donner lieu à des proximités horizontales. Ce type de proximités pourrait également se retrouver si l'enseignant prend des exemples dans un autre domaine que les mathématiques, ce qui l'amènerait à expliciter comment passer d'un cadre à un autre, au niveau des notations utilisées, par exemple.

IV. ÉTUDE DE TERRAIN

Dans cette partie, nous analysons le discours de l'enseignant en étudiant comment il introduit la définition d'une EDO. Nous avons réalisé un enregistrement audio de la séance et nous avons photographié le tableau de l'enseignant. Nous avons ensuite retranscrit son discours pour y chercher des occasions de proximités.

Nous avons également eu accès aux notes d'un étudiant qui a un bon niveau en mathématiques, ce qui nous permet de comparer le discours oral de l'enseignant avec les traces écrites au tableau (l'étudiant nous a confié qu'il avait strictement noté ce qui était écrit par l'enseignant). Cette analyse est complétée par des extraits de l'entretien pré-cours avec l'enseignant pour confronter ses pratiques déclarées avec les pratiques effectives. Nous revenons ensuite sur quelques aspects frappants issus des questionnaires proposés aux étudiants à l'issue du cours.

1. *Observations in situ*

L'enseignant présente trois exemples issus de la physique avant d'introduire la définition formelle d'une EDO : le mouvement d'un ressort, la décroissance radioactive et le mouvement d'un pendule. Dans l'entretien, l'enseignant a motivé ce choix d'introduction par l'absence de liens, dans le cours de physique, avec le concept d'équation différentielle. Nous le citons :

« Ce que je vais faire c'est d'abord présenter quelques exemples d'équations en essayant de lier avec le cours de physique, si possible, parce que la vérité ici c'est que dans le cours de mécanique, ils voient pas, enfin le concept d'équations différentielles ne ressort pas. Ils ressortent du cours de mécanique sans savoir que $F = ma$ est une équation différentielle ».

Cet enseignant pense également que le cours ne posera pas de difficulté aux étudiants, comme l'illustre l'extrait suivant :

« Je pense que pour ce que je vais dans la première partie, sauf si je vais jusqu'à l'ordre 1 pas l'ordre 2, pour disons pour l'unicité, il n'y a rien de difficile... le truc qu'on pourrait s'imaginer c'est la notion de solution, parce que remplacer il y a le quantificateur universel sur le temps. Donc j'en fais parfois une en disant je remplace et ça ne marche que pour un certain t , mais c'est... comment dire... Disons que si on creuse pas dans les petits détails, c'est pas un problème ».

Nous choisissons ici de nous centrer sur le traitement du ressort, qui est le premier exemple traité par l'enseignant. Nous avons tout d'abord regardé comment le ressort était étudié dans le cours de physique. La diapositive donnée en annexe est celle présentée par l'enseignant de physique au premier semestre. La loi de Hooke y est énoncée sous la forme : $F_{\text{ressort}}(x) = -kx$. Les notations utilisées relèvent du domaine de la physique et le concept d'EDO est absent. La diapositive montre également que la fonction qui est l'inconnue de l'équation s'appelle x et que sa dépendance par rapport au temps est implicite. Des notations telles que $x = 0$ ou $x > 0$ sont utilisées pour caractériser la position du ressort et pourraient laisser penser à certains étudiants qu'il s'agit d'un nombre réel et pas d'une fonction.

Nous avons retranscrit ci-dessous le discours de l'enseignant de mathématiques et nous l'accompagnons des notes prises par un bon étudiant (voir Figure 1).

Donc, on cherche... la manière... donc l'évolution de la position x en fonction du temps, et ça, qu'est-ce que ça veut dire ? La position x , elle va dépendre du temps, et donc, par conséquent, ça va être une fonction du temps. Donc, on va chercher une fonction qui va de $\mathbb{R}$ dans $\mathbb{R}$, et qui, à chaque temps, va me donner la position correspondante. Vous voyez, ça, ça donne bien... l'inconnue de l'équation, c'est le x là, mais c'est plus un nombre, c'est une fonction. Et maintenant, il faut essayer d'écrire pour cette fonction-là l'équation qu'il satisfait. Il (le ressort) va exercer une force qui va être k fois x et on a tiré ici vers la droite, donc, on aura un signe moins, puisque la

force va être dans ce cas-là, elle va aller vers la gauche. Si on fait l'inverse, si on compresse le ressort, le x va être négatif mais maintenant le ressort va exercer une force pour se redilater, donc le moins x va être positif, et donc la force sera dans l'autre sens. Si on a compressé le ressort,... on va faire un dessin vu la tête que vous faites...

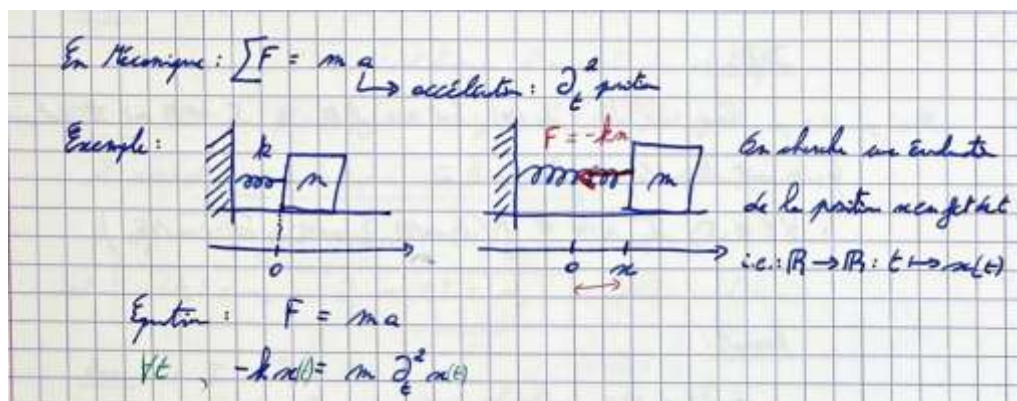


Figure 1 – Le ressort. Notes d'un étudiant

Comme l'enseignant pense que le cours ne posera pas de difficultés aux étudiants, il est fort possible qu'il considère que les étudiants ont le bagage mathématique et physique nécessaire pour comprendre les exemples. Les détails mathématiques et physiques sont donnés rapidement et à l'oral. Les notes de l'étudiant montrent que les traces écrites au tableau par l'enseignant sont des symboles mathématiques et des représentations graphiques. Le registre de la langue naturelle est donc très peu mobilisé à l'écrit. L'aspect fonctionnel de l'inconnue de l'équation ne fait l'objet d'aucune explication, tout comme la dépendance par rapport au temps. L'enseignant considère peut-être que le fait de rechercher une fonction va de soi pour les étudiants. Nos éléments de relief ont pourtant révélé que la nature des objets qui sont solutions d'une EDO est une difficulté répertoriée dans les travaux de recherche. L'enseignant ne dit rien non plus sur le passage de l'équation $F = ma$ à l'EDO correspondante. Le passage des notations liées au domaine de la physique à celles du domaine mathématique sont donc à la charge des étudiants. Nous n'avons pas trouvé de proximités horizontales telles que nous les avons anticipées dans le relief sur le traitement des exemples dans différents cadres.

Après avoir traité les trois exemples, l'enseignant veut motiver le besoin d'une définition :

« On n'a pas envie de se limiter en termes d'ordre. Donc je vais mettre un ordre quelconque. Tout à l'heure j'ai vu l'ordre un et l'ordre deux, ça arrive plus moins fréquemment qu'on va au-delà de l'ordre deux, surtout en mécanique classique... Alors qu'est-ce qu'on veut ici ? C'est que il y a une équation j'ai écrit l'égalité et le membre de droite il est pas spécialement prescrit, donc c'est simplement une fonction qui peut dépendre du temps ainsi que de toutes les dérivées d'ordre inférieur, c'est-à-dire du coup de x , de la dérivée de x , etc. jusqu'à la dérivée m moins unième de x . Donc ça va être ce genre de choses-là où ça veut dire que ici vous pensez une expression qui peut mélanger les dérivées à votre bon vouloir ».

L'enseignant évoque la possibilité de généraliser les ordres 1 et 2 des EDO rencontrées dans les exemples et amène l'idée d'une fonction générale qui dépend des dérivées pour écrire la forme générale d'une EDO. Nous pensons que ce type de commentaire est lié à une tentative de proximité ascendante de la part de l'enseignant mais ce passage qui est rapidement évoqué par l'enseignant reste une fois encore oral et il n'y en a pas de trace écrite au tableau. La généralisation est donc susceptible d'être difficile pour les étudiants.

Il donne alors la définition et la figure 2 reprend les notes de l'étudiant :

« Une EDO pour équation différentielle ordinaire comme dans mon titre, d'ordre m est simplement la donnée, qu'est-ce que je dois faire pour vous donner ça ben me donner F . Alors F , il va de quoi vers quoi ? Alors ici, je vais simplifier les choses pour ne pas complexifier le détail de domaine, etc. j'ai pas trop envie d'en parler, donc je vais prendre $\mathbb{R}$ qui est défini partout, donc qu'est-ce qu'il va faire ? (inaudible) le temps, et puis elle va accepter dérivée, donc elle va accepter combien de dérivées ? Chaque dérivée sera un nombre réel et j'en ai m , parce que je vais d'ordre 0 à l'ordre m moins 1, donc j'ai m dérivées. Mais qu'est-ce que ça doit me retourner ? Ça doit me retourner un truc compatible avec la dérivée m ème ici, donc un nombre réel. Comme je l'ai dit, vous voyez ici c'est que chacun de ces trucs-là, a priori, est un nombre réel et donc la fonction a juste suffisamment d'arguments pour les accepter tous et puisque la dérivée m ième sera aussi un nombre réel, elle doit retourner quelque chose de compatible. »

Déf:
 Une EDO d'ordre n est la donnée de $f: \mathbb{R} \times \mathbb{R}^{m \times n} \rightarrow \mathbb{R}^n$

(*) $\frac{d^n x}{dt^n} = f\left(t, x(t), \frac{dx}{dt}(t), \dots, \frac{d^{n-1}x}{dt^{n-1}}(t)\right)$

Déf:
 Une solution de (*) est un fct $x: I \rightarrow \mathbb{R}$ si I est un intervalle de $\mathbb{R}$.
 q. x soit dérivable m fois sur I .
 • $\forall t \in I, \frac{d^n x}{dt^n} = f\left(t, x(t), \frac{dx}{dt}(t), \dots, \frac{d^{n-1}x}{dt^{n-1}}(t)\right)$

Figure 2 – Définitions d'une EDO et d'une solution. Notes d'un étudiant

De nouveau, tous les commentaires sont oraux. Ce passage illustre aussi selon nous à quel point l'enseignant s'accroche au formalisme mathématique. Dans l'entretien pré-cours, l'enseignant explique qu'un bon cours de mathématiques se caractérise selon lui par une forme d'entraînement de l'esprit et que la rigueur est aussi importante, ce qui explique peut-être cette centration sur les symboles mathématiques. Il évoque également l'importance de développer de l'intuition chez les étudiants pour accéder à cette rigueur. Sur cet aspect, il y a pour nous ici un décalage entre les intentions de l'enseignant et les pratiques qu'il met en œuvre dans ce cours. Enfin, les exigences de rigueur de cet enseignant semblent être impactées par son métier de chercheur lorsqu'il explique que

« La sensibilité de recherche c'est aussi le fait de comprendre les choses et pas se dire on accepte et c'est bon quoi et leur [les étudiants] dire ok vous avez une intuition mais il faut aussi la technique sachant que à quoi ça sert après ».

Il est vrai que l'enseignant donne beaucoup de détails à l'oral, ce qui est peut-être un témoin de sa volonté de développer une compréhension approfondie des concepts mais reste à voir comment ce type de pratiques est reçu par les étudiants. Ce sera l'objet de la section suivante.

2. Questionnaire adressé aux étudiants

Le questionnaire a été proposé à 49 étudiants des filières mathématiques et informatique. Les réponses des étudiants au questionnaire révèlent tout d'abord que 82 % d'entre eux apprécient peu les cours magistraux donnés par cet enseignant. Concernant le traitement des exemples dans le cours sur les EDO, il leur a d'abord été demandé si l'enseignant avait proposé des exemples (réponses possibles : oui ou non). Tous les étudiants ont identifié la présence d'exemples dans le cours. À la question « peux-tu citer un ou deux exemples proposés par l'enseignant », c'est principalement le ressort et le pendule qui sont cités ou les étudiants se contentent de dire « des exemples issus de la physique ». Enfin, 87 %

d'entre eux estiment que les exemples n'ont pas du tout aidé à comprendre les nouveaux concepts. Cet aspect est illustré dans les propos suivants de trois étudiants qui répondent à la question « Les exemples t'ont-ils aidé à comprendre le cours ? » :

- E1 Le professeur a tellement pris d'exemples que je me suis perdu, j'aurais préféré qu'il en prenne moins mais qu'il passe plus de temps à les expliquer.
- E2 La vitesse à laquelle les notions sont présentées. Les exemples d'initiation n'étant pas clairs, la formalisation qui a suivi était très dure.
- E3 À part le fait qu'on utilise les différentielles en physique, ces exemples ne m'ont servi à rien.

Le décalage entre la conceptualisation visée par l'enseignant en termes de rigueur et de sens sur lequel nous nous interrogeons à l'issue de nos observations in situ semble donc se confirmer et les propos des étudiants montrent clairement des malentendus entre les intentions de l'enseignant et le vécu des étudiants.

V. BILAN ET PERSPECTIVES

L'enseignant au cœur de ce travail vise une compréhension approfondie des concepts qu'il enseigne. Pour développer cette compréhension, il fait ici appel à des exemples introductifs qu'il traite avec beaucoup de détails et de rigueur au niveau du formalisme utilisé. Toutefois, son discours contient très peu de proximités au regard de celles que nous avons anticipées dans notre étude de relief. Les pratiques de cet enseignant ne semblent donc pas adaptées au public étudiant. La recherche menée par Bridoux et al. (2024) a montré que des pratiques visant la rigueur et une compréhension fine des concepts mènent souvent, comme dans notre cas, à des malentendus entre les intentions de l'enseignant et le vécu des étudiants. Il y a en revanche une meilleure conformité entre les pratiques et le vécu des étudiants chez les enseignants qui acceptent de faire le deuil de certains détails et qui interagissent davantage avec les étudiants. Bridoux et al. (ibid.) ont également montré qu'au-delà de la variété des pratiques enseignantes, celles-ci s'organisent en fonction de la représentation que les enseignants-chercheurs ont de leur discipline et de la compréhension visée chez les étudiants. Nous retrouvons ici ces aspects. L'enseignant donne beaucoup d'importance aux spécificités épistémologiques des mathématiques dans l'entretien pré-cours et cela peut expliquer son souci de rigueur dans sa manière de détailler les raisonnements. Ce faisant, tout se passe selon nous comme s'il s'adressait à un « étudiant modèle » qui n'est pas l'étudiant réel.

Ce travail montre donc qu'il y a de nombreux implicites dans le discours des enseignants qui ne sont pas partagés par les étudiants. En ce sens, les cours magistraux ne sont pas que transmissifs et n'induisent pas que la passivité chez les étudiants. Cette étude de cas s'intègre dans les travaux actuels du groupe pluridisciplinaire « enseignants du supérieur » du Laboratoire de Didactique André Revuz (Université Paris Cité, France) où nous mobilisons une méthodologie identique à celle développée ici pour poursuivre l'étude des pratiques enseignantes, aussi dans une visée comparatiste entre les disciplines.

RÉFÉRENCES

Apkarian, N., Habre, S., La Tona-Tequida, T. et Rasmussen, C. (2023). Prospective secondary teachers' emergent knowledge and beliefs: Inquiry-oriented differential equations contributing to teacher preparation. *ZDM Mathematics Education*, 55, 823-835.

- Artigue, M. et Rogalski, M. (1990). *Enseigner autrement les équations différentielles en DEUG*. Commission Inter-IREM Université.
- Bridoux, S. et Grenier-Boley, N. (2024). What teaching practices should be used to introduce the limits of functions in the first year of university? A case study. Dans A. González-Martín, G. Gueudet, I. Florensa et N. Lombard (dir.), *Proceedings of the Fifth Conference of the International Network for Didactic Research in University Mathematics (INDRUM 2024)*, 10-14 June 2024 (p. 791-800). Escola Universitària de Sarrià; Univ. Autònoma de Barcelona et INDRUM2024.
- Bridoux, S., Grenier-Boley, N. et Lebrun, N. (2024). Pratiques *in situ* d'enseignants-chercheurs et confrontation avec le vécu des étudiants : une étude de cas en mathématiques et en physique. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 29(Thématique 2), 209-227.
- Bridoux, S., Grenier-Boley, N. et Leininger-Frézal, C. (dir.) (2023). *Les recherches en pédagogie universitaire, vers une approche disciplinairement située*, ISTE éditions.
- Bridoux, S., de Hosson, C. et Nihoul, C. (2020). Pratiques *in situ* d'enseignants universitaires et confrontation avec le vécu des étudiants : une étude de cas. Dans T. Hausberger, M. Bosch et F. Chellougui (dir.), *Proceedings of the Third Conference of the International Network for Didactic Research in University Mathematics, Tunisia* (p. 179-188). Université de Carthage et INDRUM.
- Bridoux, S., Grenier-Boley, N., Hache, C. et Robert, A. (2016). Les moments d'exposition des connaissances. Analyses et exemples. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 21, 187-233.
- Demailly, J.-P. (2006). *Analyse numérique et équations différentielles* (3^e éd.). EDP sciences.
- Douady, R. (1986). Jeux de cadres et dialectique outil-objet. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7(2), 5-32.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-65.
- Habre, S. (2000). Exploring students' strategies to solve ordinary differential equations in a reformed setting. *Journal of Mathematical Behavior*, 18(4), 455-472.
- Kwon, O. N. (2020). Differential equations teaching and learning. Dans S. Lerman (dir.), *Encyclopedia of Mathematics Education* (p. 220-223). Springer.
- Moreno Gordillo, J. A. (2006). *Articulation des registres graphique et symbolique pour l'étude des équations différentielles avec Cabri Géomètre. Analyse des difficultés des étudiants et du rôle du logiciel* [Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier – Grenoble 1].
- Rasmussen, C. (2001). New directions in differential equations, A framework to interpreting students' understandings and difficulties. *Journal of Mathematical Behavior*, 20, 55-87.
- Robert, A. et Vandebrouck, F. (2014). Proximités-en-acte mises en jeu en classe par les enseignants du secondaire et ZPD des élèves : analyses de séances sur des tâches complexes. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 34(2/3), 239-285.
- Saglam, A. (2004). *Les équations différentielles en mathématiques et en physique. Étude des conditions de leur enseignement et caractérisation des rapports personnels des étudiants de première année à cet objet de savoir* [Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier – Grenoble 1].
- Stephan, M. et Rasmussen, C. (2002). Classroom mathematical practices in differential equations, *Journal of Mathematical Behavior*, 21, 459-490.

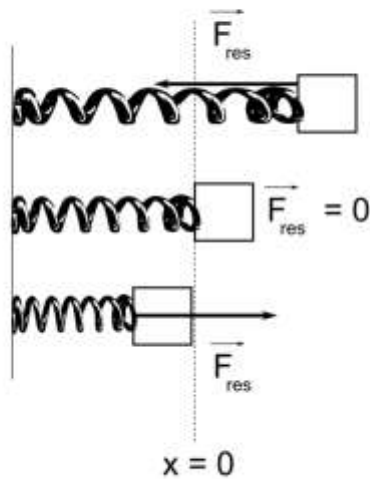
Vandebrouck, F. (2011). Points de vue et domaines de travail en analyse. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 16, 149-185.

Vandebrouck, F. (dir.). (2008). *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants*. Octares.

ANNEXE

LE RESSORT DANS LE COURS DE PHYSIQUE

Travail effectué par un ressort



Loi de Hooke :

$$F_{\text{ressort}}(x) = -kx$$

où k est la constante de rappel du ressort (avec unité N/m).

$x = 0$: position 'naturelle' de l'extrémité libre

$x < 0$: compression (axe x vers la droite)

$x > 0$: élongation

$$\begin{aligned} W_{\text{ressort}} &= \int_{x_i}^{x_f} F_{\text{ressort}}(x) dx = - \int_{x_i}^{x_f} kx dx \\ &= -\frac{1}{2}k(x_f^2 - x_i^2) \end{aligned}$$

Donc le travail dépend uniquement des positions initiale et finale.