

PROJET DE RECHERCHE

Entrée à l'université en sciences : la disponibilité des outils mathématiques comme levier des apprentissages.

Thèse sous la direction de Ghislaine Gueudet, UR Études sur les Sciences et les Techniques, Université Paris-Saclay et Laetitia Bueno-Ravel, CREAD, Université de Bretagne Occidentale

Contexte, motivation et objectifs

L'échec à l'entrée à l'université est un problème social majeur au niveau international, dans un contexte d'augmentation très sensible du taux d'entrée dans le supérieur (UNESCO, 2020). En France, les taux de réussite en licence sont faibles (35 % des étudiants obtiennent leur licence en 3 ans et 43 % en 3, 4, 5 ans, MESR, État de l'enseignement supérieur, 2023) ; on note un décalage constant entre l'accès à l'université et l'accès au savoir. Ceci concerne en particulier les filières scientifiques utilisatrices de mathématiques : biologie et sciences de la terre, physique-chimie, santé et informatique notamment. Dans ces filières les mathématiques sont indispensables, elles sont même de plus en plus utilisées au fil des évolutions scientifiques actuelles. Or comme l'ont montré des travaux menés à l'échelle internationale (Hawkes & Savage, 2000 ; National Research Council, 2012), les mathématiques constituent le principal facteur d'échec et d'abandon dans ces filières. Il peut s'agir d'échec dans les unités d'enseignement de mathématiques elles-mêmes ; ou d'échec dans une autre discipline, dû à des blocages liés à l'emploi des outils mathématiques dans cette discipline. En France, ce problème est devenu particulièrement sensible depuis la dernière réforme du lycée, qui a accentué l'hétérogénéité des étudiantes et étudiants entrant à l'université vis-à-vis de leur bagage mathématique, selon les spécialités et les options qu'elles et ils ont choisies en classe de Première et de Terminale.

Dans ce contexte, l'objectif de ce projet de recherche est de mieux comprendre certaines des difficultés liées aux mathématiques, chez les étudiantes et étudiants entrant en filières scientifiques et les causes de ces difficultés. Il est également de concevoir et expérimenter des dispositifs d'enseignement permettant de surmonter ces difficultés. Ce travail pourra contribuer à la conception de ressources et de formations pour les enseignantes et enseignants intervenant dans ces filières.

Revue de travaux

Les difficultés des étudiantes et étudiants entrant à l'université en filières scientifiques, en lien avec les mathématiques, peuvent provenir de plusieurs facteurs (Winslow & Rasmussen 2018, Hochmut, 2020, Gueudet & Vandebrouck, 2022). Certaines sont liées aux différences entre les mathématiques enseignées au lycée et celles enseignées à l'université. Même pour des chapitres de cours ayant des intitulés similaires, à l'université les étudiantes et étudiants vont devoir prendre plus d'initiatives dans le choix d'une méthode, dans le passage d'une représentation à une autre ; de plus elles et ils vont rencontrer des notions plus abstraites, associées à un nouveau formalisme (Gueudet, 2008). D'autres difficultés proviennent des

écart entre les mathématiques travaillées lors des cours de mathématiques, et les mathématiques mobilisées dans les cours des autres disciplines (Hitier & González-Martín, 2022).

Dans cette thèse, nous nous intéressons à un type de difficultés spécifique : la difficulté à mobiliser, dans les enseignements de sciences expérimentales, des connaissances relevant de contenus mathématiques « élémentaires », c'est-à-dire enseignés jusqu'en classe de Seconde comprise. Des travaux antérieurs ont établi que les étudiantes et étudiants en première ou deuxième année d'université rencontraient des difficultés liées, en particulier, à l'utilisation en sciences expérimentales de fractions, de calculs algébriques simples et de la proportionnalité, (Coetzee & Mammen, 2017, Greefath et al., 2017, Massart, 2022). Ces difficultés sont observées sans que leurs sources ne soient encore précisément comprises : il peut s'agir de lacunes des étudiantes et étudiants relatives à ces savoirs élémentaires (Rach & Ufer, 2020), ce qui ne permettrait alors pas aux apprenants de réinterpréter les nouvelles informations en les mettant en lien avec des connaissances déjà existantes ; de difficultés à transférer des savoirs mathématiques à d'autres disciplines (Bassok & Holyoak, 1989), notamment. De plus les enseignantes et enseignants ont tendance à surestimer les connaissances antérieures des étudiantes et étudiants (Gueudet & Vandebrouck, 2022). Ces questions ont jusqu'à présent été étudiées par des spécialistes de l'enseignement supérieur, sans que soient réinvesties les connaissances issues de recherches sur le second degré au sujet de ces contenus mathématiques.

Par exemple, les difficultés dans l'apprentissage du concept de fraction sont nombreuses et documentées dans diverses études. Au-delà des difficultés pratiques liées à la notation avec la « barre de fraction » et à la nécessité de mettre en relation deux entiers tout en utilisant un nombre important de règles pour les manipuler, c'est le concept même de fraction qui offre une résistance. En effet, le concept de fraction se présente comme un concept multi-facette, formé de sous-concepts inter-reliés puisque la fraction peut être interprétée de bien des manières différentes, ces interprétations n'étant pas indépendantes les unes des autres : la fraction « partie-tout », la fraction rapport, opérateur, quotient et la fraction mesure, si l'on retient la classification proposée par les chercheurs de « the Rational number project » (Behr & al., 1983). Au moment des études supérieures, ce concept complexe ne se présente pas seul, mais associé au calcul algébrique. La pensée algébrique a été définie entre autres par Blanton & Kaput (2004) comme « une habitude de pensée qui imprègne toutes les mathématiques et qui implique la capacité des élèves à construire, justifier et exprimer des conjectures sur la structure et les relations mathématiques » (p.142). L'Observatoire International de la Pensée Algébrique a pu présenter une synthèse récente (Squalli & al., 2020) des difficultés documentées par la recherche concernant le passage d'un mode de pensée arithmétique à un mode de pensée algébrique. Ces difficultés sont aussi induites par la manière dont sont faits les premiers apprentissages de l'algèbre, c'est alors un objet d'étude qui n'est tendu vers aucun but extérieur au calcul algébrique lui-même, alors qu'au moment des études supérieures, celui-ci devient un outil, et surtout un outil au service des autres disciplines.

Aussi, les résultats de ces recherches pourraient alimenter la conception d'enseignements de mathématiques adaptés aux besoins des autres disciplines, et prenant en compte ces contenus élémentaires tout en s'adressant à des étudiantes et étudiants du supérieur.

Approche théorique et méthodologique

Nous adoptons dans cette recherche une perspective institutionnelle, et retenons les outils fournis par la théorie anthropologique du didactique (TAD, Chevallard, 2001). Dans cette perspective les savoirs mathématiques sont façonnés par les institutions dans lesquels ils vivent, en attribuant au terme institution une acception très large de groupe social légitimé : l'enseignement secondaire est une institution, l'université aussi, mais le cours de mathématique en licence 1 de biologie par exemple est également une institution, qui façonne le même savoir d'une manière différente de celle du cours de biologie dans cette même licence 1. L'étude de la manière dont les savoirs sont façonnés par les institutions est outillée en TAD par le concept de praxéologie (Chevallard, 2001). Une praxéologie est une entité formée de quatre éléments : un type de tâches T (par exemple, en cours de physique : « Exprimer une grandeur physique en fonction d'autres grandeurs à partir d'une ou plusieurs relations ») ; une ou plusieurs techniques τ pour accomplir ce type de tâches (e.g. « Appliquer les formules physiques connues, et effectuer des calculs algébriques pour simplifier l'expression ») ; un discours θ qui justifie cette technique, appelé discours technologique, ou technologie en TAD ; et finalement une théorie Θ dont est issu le discours technologique. Notons que mettre en œuvre une technique conduit souvent à rencontrer un ou plusieurs types de tâches, différents du type de tâches d'origine : ainsi dans notre exemple, « effectuer des calculs algébriques pour simplifier l'expression » est un type de tâches qui fait partie de la technique, pour le type de tâche initial « Exprimer une grandeur physique en fonction d'autres grandeurs à partir d'une ou plusieurs relations ». Chaachoua (2018) propose d'utiliser l'expression « ingrédients de technique » pour souligner le rôle de ces types de tâches. Les savoirs mathématiques élémentaires sont souvent présents dans les ingrédients de technique pour les types de tâches des autres disciplines, et il s'agira tout d'abord en réalisant une analyse praxéologique de mettre au jour les besoins de ces disciplines. Il s'agira aussi par une analyse curriculaire de voir si ces types de tâches mathématiques, ingrédients de techniques des autres disciplines, sont effectivement enseignés au secondaire. En effet la TAD permet aussi de repérer dans les curricula des praxéologies manquantes. Nous faisons l'hypothèse, par exemple, que les disciplines scientifiques mobilisent des calculs algébriques complexes (par exemple « simplifier $\frac{R}{2} * \sqrt{\frac{C}{L}}$ ») qui n'ont pas été

réellement enseignés dans le secondaire.

Nous utiliserons également la notion de niveau de mise en fonctionnement des connaissances (Robert, 1998) par les étudiantes et étudiants, et la distinction entre niveau technique (application simple et isolée), niveau mobilisable (nécessitant une adaptation qui fait l'objet d'une indication), et niveau disponible (combinant plusieurs adaptations, sans indications). Les questions de recherche auxquelles il s'agit de répondre peuvent être formulées comme suit :

QR1 : [analyse curriculaire] Quels sont les besoins praxéologiques des disciplines scientifiques utilisatrices de mathématiques relevant de savoirs mathématiques considérés comme

élémentaires (qui ne font pas l'objet d'un enseignement explicite après la classe de seconde) ? Est-ce que les praxéologies correspondantes sont effectivement enseignées entre la classe de cinquième et la classe de Seconde (comprises) ?

QR2 : [analyse des connaissances des étudiantes et étudiants et de leurs liens avec les difficultés rencontrées] Pour les (certaines des) praxéologies qui ont été effectivement enseignées en cycle 4 du collège ou en Seconde, est-ce que les étudiantes et étudiants primo-entrants parviennent à les mettre en œuvre au niveau technique, mobilisable, disponible ? Est-ce qu'une maîtrise au niveau disponible permet un transfert des connaissances mathématiques vers les autres disciplines ?

QR3 : [conception et évaluation de dispositifs] Quelles activités concernant ces savoirs mathématiques élémentaires peuvent être proposées aux étudiantes et étudiants, en cours de mathématiques et d'autres disciplines, de manière d'une part à ce qu'elles et ils rencontrent et s'approprient les praxéologies manquantes au secondaire, et d'autre part développent une maîtrise au niveau disponible des praxéologies nécessaires, ceci permettant la mise en œuvre de ces praxéologies dans les disciplines utilisatrices ?

Pour répondre à ces questions, la méthodologie suivante sera mise en œuvre.

Tout d'abord une revue de la littérature de recherche internationale sera effectuée sur le thème des difficultés rencontrées par les étudiantes et étudiants scientifiques dits « non-spécialistes » (c'est-à-dire inscrites et inscrits dans des filières utilisatrices de mathématiques) en lien avec des contenus mathématiques élémentaires, et des dispositifs destinés à faire face à ces difficultés. Cette revue de la littérature effectuée en début de thèse sera complétée durant les quatre années de la thèse.

Un travail préliminaire d'analyse des réponses des étudiantes et étudiants de première année à l'UFR sciences de l'université Paris-Saclay aux tests de positionnement en mathématiques (effectués par toutes et tous en septembre) sera réalisé dès octobre 2025, en se centrant sur les contenus relevant des mathématiques enseignées jusqu'en classe de seconde.

De novembre 2025 à février 2026 de premières observations (outilées par une grille réalisée en appui sur les lectures) auront lieu dans des séances de travaux dirigés de chimie, biologie, physique, informatique, afin de repérer et de préciser les besoins praxéologiques de ces disciplines (ingrédients de techniques en lien avec des savoirs mathématiques élémentaires), et d'observer des difficultés. Les enseignants et enseignantes dont les TD seront observés sont, en particulier, membres du groupe SOS maths de l'Institut Villebon - Georges Charpak de l'Université Paris-Saclay ; ils et elles seront également interviewées et interviewés au sujet des difficultés résistantes qu'ils et elles ont observées.

Ces observations et analyses permettront une première approche des besoins praxéologiques des étudiantes et étudiants, qui sera complétée par une analyse de ressources curriculaires : polycopiés de cours et exercices corrigés. Ceci permettra d'identifier et de sélectionner certaines praxéologies, relatives a priori aux fractions, à la proportionnalité et au calcul littéral, nécessaires en sciences expérimentales et posant des difficultés aux étudiantes et étudiants de première (voire de deuxième) année de Licence scientifique. Une analyse de supports curriculaires du secondaire sera alors menée pour observer si ces praxéologies sont effectivement enseignées, ou si certaines sont manquantes. De mars 2026 à août 2026, sera

conçu un test diagnostic centré sur les praxéologies sélectionnées, et permettant d'évaluer la maîtrise des connaissances associées au niveau technique, mobilisable et disponible.

En septembre 2026, le test diagnostic conçu sera intégré aux tests de positionnement que passent toutes les étudiantes et tous les étudiants de l'UFR sciences à l'université Paris-Saclay. Prenant appui sur l'analyse des données recueillies, de premiers dispositifs d'enseignement seront conçus jusqu'en août 2027. Ces dispositifs concerteront les enseignements de mathématiques, en particulier pour ce qui est des praxéologies manquantes au secondaire et qu'il s'agit d'enseigner. Ils concerteront aussi les enseignements des autres disciplines retenues (suite aux premières observations, une sélection de deux disciplines spécifiques pourra être effectuée de manière à mieux cibler la conception et le test de ces dispositifs). Parallèlement, une nouvelle version du test diagnostique à soumettre aux étudiantes et étudiants sera conçue.

En septembre 2027, la version 2 du test diagnostique sera intégrée aux tests de positionnement, et de septembre 2027 à janvier 2028, les dispositifs d'enseignement seront quant à eux mis en œuvre (par des enseignantes et enseignants du groupe SOS Maths) ; ils seront observés et filmés. Un test final sera soumis aux étudiantes et étudiants concernées et concernés. Ces données seront analysées à partir de février 2028, elles donneront lieu, dans une démarche de design-based research (Cobb et al., 2003), à une version modifiée des dispositifs d'enseignement initialement conçus. La version 2 de ces dispositifs sera implémentée de septembre 2028 à janvier 2029, donnant lieu de même à des observations et vidéos qui seront ensuite analysées. La rédaction de la thèse débutera dès février 2028, et sera poursuivie jusqu'en août 2029.

Calendrier et environnement de recherche

Les principales étapes de la thèse se dérouleront selon le calendrier suivant :

ANNÉE 1 (sept 2025-août 2026)			ANNÉE 2 (sept 2026-août 2027)			ANNÉE 3 (sept 2027-août 2028)			ANNÉE 4 (sept 2028-août 2029)						
Revue de littérature															
Observations Interviews		Analyse													
Analyse ressources (poly ...) Analyse curriculaire 2daire															
Conception V1 Tests Diagnostiques (TD)			Intégration du test aux tests existants	Analyse des données → V2 TD		Concept. V2 TD	CERME								
			Conception V1 Dispositifs Enseignement (DE)												
						Mise en œuvre V2 TD Mise en œuvre V1 DE (obs + film)									
						Analyse des données Diagnostic final → V2 DE									
						Conception V2 DE									
						Mise en œuvre V2 DE (obs + film)									
						Analyse des données									
									SOUTENANCE						
						Rédaction thèse									

La thèse sera réalisée au sein de l'UR Études sur les Sciences et les Techniques (EST). Le sujet fait partie de l'axe 2 de recherche de l'équipe DidaScO du laboratoire : « Enseignement et apprentissage des mathématiques dans les filières de non-spécialistes à l'entrée à l'université ». Il intéresse également l'axe 3 de l'équipe DidaScO, qui concerne la réussite étudiante à l'université. Ghislaine Gueudet, co-directrice de la thèse est spécialiste de ces sujets. Laetitia Bueno-Ravel, du Centre de Recherche sur l'Éducation, les Apprentissages et la Didactique (CREAD) de l'Université de Bretagne Occidentale co-dirigera cette thèse, et apportera son expertise relative à l'apprentissage des contenus mathématiques ciblés ici au niveau primaire et secondaire : fractions, proportionnalité, calcul algébrique.

À l'Université Paris-Saclay, la thèse s'insérera de plus dans le projet « SOS maths » de l'institut Villebon - Georges Charpak. Ce projet rassemble des chercheuses en didactique, des enseignantes et enseignants de l'université, précisément autour du problème des difficultés des étudiants et étudiantes de filières scientifiques dues aux mathématiques.

Références

- Bassok, M., & Holyoak, K. J. (1989). Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(1), 153-166. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.1.153>

Blanton, M. L., & Kaput, J. J. (2004). Elementary Grades Students' Capacity for Functional Thinking. *International Group For The Psychology Of Mathematics Education*, 2, 135-142. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED489698.pdf>

Behr, M., & al. (1983). Rational number concepts. Dans R. Lesh, & M. Landau (Eds.), *Acquisition of mathematics concepts and processes*, (91-125). Academic Press Inc. https://www.researchgate.net/profile/Edward-Silver-2/publication/258510439_Rational_number_concepts/links/57598dc808aed884620b0d82/Rational-number-concepts.pdf

Chaachoua, H. (2018). T4TEL un cadre de référence didactique pour la conception des EIAH. In J. Pilet & C. Vendeira (Eds.), *Actes du séminaire de didactique des mathématiques de l'ARDM*. France : IREM de Paris – Université Paris Diderot.

Chevallard, Y. (2001). Organiser l'étude: 1. Structures et Fonctions. In J.-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot, & R. Floris *Actes de la XIe École d'été de didactique des mathématiques*. (pp. 3-32). Editions la Pensée Sauvage.

Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13. <https://doi.org/10.3102/0013189x032001009>

Coetzee, J., & Mammen, K. J. (2017). Science and Engineering Students' Difficulties With Fractions At Entry-Level To University. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 12(3), 281-310. <https://doi.org/10.29333/iejme/614>

Greefrath, G., Koepf, W., & Neugebauer, C. (2017). Is there a link between Preparatory Course Attendance and Academic Success? A Case Study of Degree Programmes in Electrical Engineering and Computer Science. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 3(1), 143-167. <https://doi.org/10.1007/s40753-016-0047-9>

Geudet, G. (2008). Investigating the secondary-tertiary transition. *Educational studies in Mathematics*, 67(3), 237-254. <https://doi.org/10.1007/s10649-007-9100-6>

Gueudet, G., & Vandebrouck, F. (2022). Transition secondaire-supérieur : Ce que nous apprend la recherche en didactique des mathématiques. *Épjournal de Didactique et Epistémologie des Mathématiques pour l'Enseignement Supérieur*, Episciences. <https://epidemes.episciences.org/9715>

Hawkes, T. & Savage, M.D. (2000). Measuring the Mathematics Problem. Engineering Council.

Hitier, M., & González-Martín, A. S. (2022). Derivatives and the Study of Motion at the Intersection of Calculus and Mechanics : A Praxeological Analysis of Practices at the College Level. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 8(2), 293-317. <https://doi.org/10.1007/s40753-022-00182-z>

Hochmuth, R. (2020). Service-Courses in University Mathematics Education. In: Lerman, S. (eds) *Encyclopedia of Mathematics Education*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15789-0_100025

Massart, X. (2022). *Passeport pour le Bac. Résultats des étudiants en faculté des sciences et sciences médicales*. Université de Namur.

MESR (2023). L'État de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en France 2023 <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/l-etat-de-l-enseignement-superieur-de-la-recherche-et-de-l-innovation-en-france-2023-90566>

National Research Council (2012). *Discipline-based education research: Understanding and improving learning in undergraduate science and engineering*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13362>

Rach, S., & Ufer, S. (2020). Which Prior Mathematical Knowledge Is Necessary for Study Success in the University Study Entrance Phase? Results on a New Model of Knowledge Levels Based on a Reanalysis of Data from Existing Studies. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 6(3), 375-403. <https://doi.org/10.1007/s40753-020-00112-x>

Robert, A. (1998). Outils d'analyse des contenus mathématiques à enseigner au lycée et à l'université. *Recherches en didactique des mathématiques*, 18(2), 139-190.

Squalli, H., Oliveira, I., Bronner, A. & Larguier, M. (2020). Le développement de la pensée algébrique à l'école primaire et au début du secondaire. Recherches et perspectives curriculaires. Québec. Livres en ligne du CRIES : https://cries.ulaval.ca/full-text/le_developpement_de_la_pensee_algebrique_a_lecole_primaire_et_au_debut_du_secondaire.pdf

UNESCO (2020). Towards universal access to higher education: international trends. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375686>

Winsløw, C., & Rasmussen, C. (2018). University Mathematics Education. In S. Lerman (Éd.), *Encyclopedia of Mathematics Education* (p. 1-10). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77487-9_100020-1