



Actes du colloque
« Rendez-vous en didactique :
recherches, dialogues et plus si affinités »

30 mai - 3 juin 2022

Université Paris Cité, Paris (France)

édités par Maha Abboud & Cécile de Hosson



Sciences
Université Paris Cité



Table des matières

1	Introduction	7
2	Plénières	9
	Conceptions et usages des ressources. C. Bruguière & C. Vergnolle Mainar	11
	Pratiques et formation des enseignants et des enseignantes. V. Munier & J. Proulx . . .	13
	Approches sémiotiques et langagières. K. Bécu-Robinault & L. Radford	15
	Usage des technologies numériques. E. Bruillard & P. R. Richard	17
	Transpositions recherche-formation-enseignement. J.-M. Boilevin & C. Orange	19
	Approches didactiques de l'évaluation. F. Le Hébel, M. Schneider & P. Job	21
3	Communications orales	23
	Épisodes évaluatifs et égalité. Recueil en mathématiques et EPS à l'école primaire. M. Benmerah	24
	Articuler les schèmes aux dynamiques intentionnelles. Cas de l'Enseignement - appren- tissage des Sciences Fondé sur l'Investigation. M. Blat, J.-M. Boilevin & P. Marzin- Janvier	34
	Quelles mathématiques en physique ? Une approche praxéologique. A. Caussarieu . . .	44
	Qu'apprennent des enseignants de l'observation de leurs pairs ? C. Burdin, S. Grau, J. Rougelot & A. Tellier	54
	Jeux de signes et inventions de nombres en littérature jeunesse. S. Gobert	64

La formation à l'interdisciplinarité en sciences, technologies et mathématiques dans le cadre d'une recherche participative. Compte-rendu d'une expérience québécoise. A. Hasni & A. Adihou	74
Approche documentaire et génétique d'archives d'enseignants. Le fonds Roger et Odette Leroy. M. Jorge Muriel & C. Tufféry-Rochdi	85
Une approche inter-didactique de l'enseignement et l'apprentissage de la mesure. V. Murnier & A. Chesnais	94
Articuler numérique et autonomie des élèves : les apports d'une mise en regard de trois disciplines. N. Quéré-Sherbourne, S. El Hage, J.-M. Boilevin, G. Gueudet, S. Srey, & S. Joffredo-Le Brun	104
De la géographie à l'histoire expérientielle. D'une didactique à une autre. C. Souplet & C. Leininger-Frézal	114
La programmation informatique dans la formation initiale des enseignants de mathématiques au Québec. Prendre en compte les enjeux algorithmiques. F. Venant . .	125
4 Posters	135
Des ressources pour développer l'esprit critique au collège : Quels choix d'usages par les enseignant-e-s de physique-chimie et de sciences de la vie et de la terre ? C. Barbier	135
Développer une expression algébrique : quel(s) discours enseignants(s) ? C. Barthes Garnier	140
Traditions de présentation en thermodynamique – Utilisation pour une analyse critique de l'enseignement en CPGE. H. Chekir	144
Etude de pratiques ordinaires d'évaluations en géométrie à la transition école collège - Outils conceptuels et méthodologiques. D. Cotron	148
L'activité de contrôle en mathématiques : le cas de suites récurrentes. M. Flores González	152
Situations impliquant un liquide au repos : compréhension par les enseignants. A. Le Mézoboulais	156
Les Voyageurs en cours de géographie, bilan d'une ingénierie didactique au lycée professionnel. A. Lecomte	160
Modèles didactiques pour la conception d'un EIAH. E. Lesnes-Cuisiniez	164
Contrats fortement didactique et ETM idoine. Le cas d'une tâche de modélisation en probabilité. B. Masselin & A. Kuzniak	168

Problématisation de la circulation sanguine via l’histoire des sciences. M. Pelé	172
La mesure et le mesurage en biologie – étude de travaux dirigés et pratiques en Licence. M. Régent-Kloeckner, C. Maisch & C. Daussy	176
Les vidéos en classe de mathématiques. Possibilités didactiques et limites. Z. Sayadi & M. Abboud	180
Enseigner et apprendre la transformation chimique aujourd’hui. M. Sudriès	184
Connexions entre Espaces de Travail à la croisée des probabilités et de l’algorithmique. D. Laval & J. Trunkenwald	189
La géométrie des éclipses. Modélisation d’une éclipse solaire. É. Montoya Delgadillo . .	193
5 Ateliers	195
Validités d’évaluations externes en mathématiques et en sciences. Quelle(s) méthodologie(s) ? Pour quels résultats ? N. Grapin, B. Grugeon-Allys et M. Regent-Kloeckner	197
Former les enseignants du primaire à une démarche interdisciplinaire mathématiques- sciences dans le contexte de l’astronomie. M. Abboud, A. Nechache & E. Rollinde	205
Pratiques <i>in situ</i> d’enseignants-chercheurs et confrontation avec le vécu des étudiants : une étude de cas en mathématiques et en physique. S. Bridoux, N. Grenier-Boley & N. Lebrun	211
Histoire des sciences dans l’enseignement : étude d’une pratique enseignante. R. Chorlay, P. Crépin-Obert, S. Canac, N. Décamp et C. Roux-Goupille	217
Analyser des bandes dessinées « de sciences » - outils et enjeux. C. de Hosson, S. Canac et J. Horoks	219
6 Liste des participants	221

Comité scientifique et d'organisation

MAHA ABBOUD, co-présidente, CY Cergy Paris Université

CÉCILE DE HOSSON, co-présidente, Université Paris Cité

SOPHIE CANAC, Université Paris Est Créteil

NICOLAS DÉCAMP, Université Paris Cité

CORINNE FORTIN, Université Paris Est Créteil

CHRISTOPHE HACHE, Université Paris Cité

FABRICE VANDEBROUCK, Université Paris Cité

LAURENT VIVIER, Université Paris Cité

Chapitre 1

Introduction

Présentation générale du colloque

Les recherches en didactique se sont développées pour répondre à la nécessité de prendre en charge les spécificités des savoirs disciplinaires dans la relation enseignement-apprentissage. Ancrées dans la réalité de la classe, elles se sont structurées autour des disciplines scolaires : la chimie, la géographie, les mathématiques, la physique, les sciences de la Terre, les sciences de la vie... Elles sont ainsi devenues des terrains d'exploration organisant par là même le champ des recherches en didactique en sous-champs disciplinaires.

Les chercheurs et les chercheuses en didactique de la chimie, de la géographie, des mathématiques etc., travaillent au sein d'environnements théoriques variés, souvent spécifiques d'une didactique disciplinaire parce que soumis aux particularités épistémologiques des savoirs qui y sont étudiés. Mais les lignes disciplinaires bougent, les cadres théoriques circulent parmi les didactiques, les évolutions curriculaires décloisonnent certaines disciplines scolaires et imposent de "nouveaux" savoirs à enseigner.

Dans ce contexte, de nouvelles questions et de nouveaux objets de recherche émergent nécessitant des approches didactiques plurielles. S'emparer, préciser et développer les nouvelles questions de recherche sont autant d'invitations au dialogue entre didactiques et au croisement des regards et des perspectives.

S'appuyant sur une organisation originale et volontariste, ce "Rendez-vous en didactique" est une occasion unique de confronter nos approches et de projeter nos communautés de recherche en didactique des mathématiques et des sciences de la nature vers des horizons scientifiques pluri- (voire inter-) disciplinaires féconds.

Présentation de l'organisation scientifique

Le Laboratoire de Didactique André Revuz, LDAR, a organisé cette rencontre autour de six thématiques :

- Pratiques et formation des enseignants et des enseignantes
- Approches sémiotiques et langagières
- Usage des technologies numériques
- Approches didactiques de l'évaluation
- Conceptions et usages des ressources
- Transpositions recherche-formation-enseignement

A colloque unique, organisation unique... C'est ainsi que nous avons choisi d'organiser ce "Rendez-vous" autour de moments forts :

Six conférences plénières thématiques "à deux voix" au cours desquelles deux chercheurs et/ou chercheuses de deux didactiques disciplinaires distinctes ont débattu des spécificités d'exploration liées à leurs didactiques et des ouvertures possibles, voire nécessaires à d'autres didactiques.

Onze communications orales qui devaient prendre en compte au moins deux didactiques, des sciences ou des mathématiques, ou une de ces didactiques et un champ académique connexe.

Cinq ateliers d'analyse de corpus engageant plusieurs didactiques disciplinaires ont été aussi proposés. Chaque atelier s'est déroulé en deux séances.

Chapitre 2

Plénières

LES SOURCES =
UTILISER AUSSI CELLES
DES ÉLÈVES



CATHERINE BRUGUIÈRE

CAR ELLES ONT UNE
VALEUR DIDACTIQUE!



CHRISTINE VERGNOLLE MAINAR

MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
30 MAI - 3 JUIN 2022

TROUVER DES RESSOURCES
PÉDAGOGIQUES DANS LES
DÉTAILS DU QUOTIDIEN
ORDINAIRE



TROUVER DES RESSOURCES
DIDACTIQUES DANS DES
OBJETS HORS DISCIPLINE



MAÏS COQ 2022 @
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

Conceptions et usages des ressources

Catherine Bruguière⁽¹⁾ et Christine Vergnolle Mainar⁽²⁾

(1) - S2HEP - Univ. Lyon 1, (2) - GEODE UMR 5602 CNRS - Univ. Toulouse Jean-Jaurès

L'objectif est d'apporter une réflexion épistémologique et didactique sur la notion de ressources dans l'enseignement et en formation des enseignants ainsi que sur leurs usages possibles, notamment en école élémentaire et en collège. Les ressources seront appréhendées sous l'angle de leur potentiel pour penser une articulation entre les disciplines, dans une logique de pluri / interdisciplinarité. Pour cela, nous croiserons des cadres épistémologiques et didactiques disciplinaires, à partir d'exemples concrets convoquant la biologie et la géographie. La conférence prendra en compte les questions :

Les ressources sont-elles des éléments préconstruits à s'appropriier ou des leviers didactiques à construire par l'enseignant ou le formateur ?

Les ressources sont-elles propres à chaque discipline scolaire ou peuvent-elles être communes à plusieurs disciplines scolaires ce qui pose la question des usages que chacune d'elles en fait ?

Les ressources sont-elles des catégories établies par les prescriptions et les pratiques courantes de chaque discipline scolaire ou peuvent-elles mobiliser des données et supports diversifiés ?

Références :

Bédouret D., Vergnolle Mainar C., Calvet A., Chalmeau R., Julien M.-P., Léna J.-Y. (2019). Les paysages ordinaires comme leviers d'implication citoyenne dans son territoire : un outil et un objet de débat à l'école primaire, dans Sgard A. et Paradis S., *Sur les bancs du paysage*, Genève : MetisPresses, Actes numériques du colloque « Débattre du paysage : Enjeux didactiques, processus d'apprentissage, formations, Genève, 25-26-27 octobre 2017. <https://www.metispresses.ch/en/sur-les-bancs-du-paysage>

Bruguière, C., Pau-Custodio, I, Backez L., Cabodi, L. Charles, F., Ghommaan, M., Guillouët, F., Héraud, J.-L., Heyraud, F., Mazellier, V., Molin, S., Pouey, N., Sarafian, A., Soudani- Bani, O., Soudani, M., Tremey, E. (à paraître). Le Léa « sciences et albums », une communauté d'élaboration et de circulation de savoirs et de ressources en contexte. In Monod-Ansaldi, R, Gruson, B et Loisy, C. Le réseau des lieux d'éducation associés à l'institut français de l'éducation. Un instrument pour la recherche en éducation. Rennes : Presses universitaires.

PRENDRE EN COMPTE
LES SPÉCIFICITÉS DES
DISCIPLINES PERMET
DE QUESTIONNER DES
HABITUDES D'ENSEIGNEMENT
GÉNÉRALES



JÉRÔME PROULX

APPRENDRE LES SCIENCES,
MAIS AUSSI SUR LES SCIENCES



VALÉRIE MUNIER

FORMER DES SCIENTIFIQUES MAIS
AUSSI ACULTURER LES CITOYENS
À LA SCIENCE ET SA PRATIQUE

MAIS COQ 2022 @

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

DÉBAT!

L'INVESTIGATION
ÇA MARCHE!

(IL FAUT
JUSTE BIEN
LA GUIDER)



BILUU...

NAN! ÇA SATURE LA MÉMOIRE
DE TRAVAIL ET Y'A PAS DE
MÉMORISATION SUR LE LONG
TERME!



MORGANE PARISI

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 MAI - 03 JUIN 2022

Pratiques et formation des enseignants et des enseignantes

Valérie Munier⁽¹⁾ et Jérôme Proulx⁽²⁾

1 - LIRDEF - Université de Montpellier

2 - Université du Québec à Montréal, Laboratoire épistémologie et Activité Mathématique

Notre conférence traite des questions relatives aux pratiques des enseignants de mathématiques et de sciences, particulièrement à travers le prisme des connaissances que leur mise en œuvre implique. Pour aborder ces questions, nous proposons une entrée prenant en compte la spécificité des disciplines mathématiques et physique. Cette emphase placée sur la spécificité de nos disciplines force des réflexions épistémologiques sur la nature des mathématiques et de la physique elles-mêmes. C'est à partir de ces dimensions épistémologiques qu'en retour des réflexions sont engagées sur les retombées de celles-ci sur les pratiques des enseignants (et, par le fait même, sur leurs connaissances). Penser les pratiques enseignantes relativement aux disciplines engage sur un terrain convoquant chez l'enseignant une ouverture à la prise en compte dans son enseignement de la nature de l'activité mathématique et scientifique, voire au développement d'une sensibilité et flexibilité au regard de ses possibilités. C'est à travers cette ouverture à « ce qui peut se faire » en mathématiques et en physique, et non à « ce qui devrait se faire », que nous voulons aborder la question des connaissances mathématiques et scientifiques des enseignants, de leurs pratiques et des implications en termes de formation.

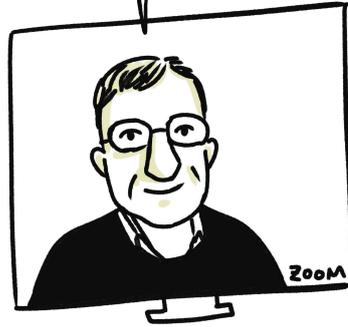
APPROCHES SÉMIOTIQUES ET LANGAGIÈRES

NOUS AVONS ANALYSÉ
LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES
SÉMIOTIQUES DANS
DES APPRENTISSAGES :
ORAL, GESTES,
POSTURES, GRAPHIQUES



KARINE BÉCU-ROBINAULT

CE QU'IL Y A À DIRE
ET COMMENT LE DIRE



LUIS RADFORD

MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 ANI - 3 JUIN 2022

GESTURE - SPEECH MISMATCH EN COURS DE PHYSIQUE



NAÏS COQ 2022 @
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

Approches sémiotiques et langagières

Karine Bécu-Robinault⁽¹⁾ et Luis Radford⁽²⁾

1 - UMR ICAR - ENS de Lyon

2 - Faculté d'éducation - Université Laurentienne

Cette conférence porte sur les approches sémiotiques et langagières dans le cas de la physique et des mathématiques. Dans ces deux domaines, on constate un intérêt grandissant pour comprendre les significations que les enseignants et les élèves produisent à partir de la mobilisation de plusieurs systèmes sémiotiques, tels les formules ou les graphiques, complétés par des systèmes sémiotiques autour de l'action incarnée, tels les gestes, les postures corporelles, le rythme et la parole (Kress & al., 2001).

Dans le cas de la physique, notre approche combine une approche sémiotique à une hypothèse épistémologique concernant le rôle de la modélisation. Partant de la fonction des modèles dans la communauté scientifique des physiciens (Tiberghien, 1994), la prise en compte des systèmes sémiotiques permet de rendre compte de la signification réciproque des situations matérielles et des concepts enseignés, étudiés (Bécu-Robinault, 2018).

Dans le cas des mathématiques, notre approche combine une approche sémiotique à une conception épistémologique concernant le rôle de l'activité matérielle et sensible (Léontiev, 1984). Partant de la fonction de l'activité comme le système à travers lequel les individus produisent et reproduisent le savoir, il s'agit d'étudier l'activité d'enseignement-apprentissage à travers laquelle les élèves rencontrent le savoir culturel (Radford, 2021).

Dans les deux cas, cette rencontre avec le savoir culturel s'appuie sur une activité sémiotique que produisent conjointement les élèves et les professeurs. Porteuse de sens et d'interprétations variés et, donc, de tensions, cette activité sémiotique est indispensable à ce que Vygotski (1984) appelait la prise de conscience et qu'il plaçait au cœur de l'apprentissage. Cherchant à mieux comprendre la signification des gestes pour enseigner et apprendre, la conférence permettra de discuter leur rôle pour lire et interpréter le réel et l'articulation des gestes aux autres systèmes sémiotiques.

Références :

- Bécu-Robinault, K. (2018). *Analyse des interactions en classe de physique. Le geste, la parole et l'écrit*. Paris : L'Harmattan.
- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal teaching and learning. The rhetorics of the science classroom*. London and New York : Continuum.
- Leontiev, A. N. (1984). *Activité, conscience, personnalité*. Moscou : éditions du Progrès.
- Radford, L. (2021). *The theory of objectification. A Vygotskian perspective on knowing and becoming in mathematics teaching and learning*. Leiden & Boston : Brill/Sense.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching – learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.
- Vygotski, L. S. (1985). *Pensée et langage*. Paris : éditions sociales.

USAGE DES TECHNOLOGIE NUMÉRIQUES

DANS LE DÉVELOPPEMENT
DES A.I., ON NOUS
POUSSE À ÊTRE
SEULEMENT
CONSOmmATEUR



PHILIPPE R. RICHARD

C'EST LES GENS
TRAVAILANT SUR
LES MICRO MONDES
QUI ONT CRÉÉ
L'INFORMATIQUE,
PAS L'A.I.



ÉRIC BRUILLARD

L'IMPORTANCE
DU CORPS

MORGANE PARISI

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 ANI - 3 JUIN 2022



CLUB DES ÉPOUVANTAILS

MAÏS COQ 2022 @

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

Usage des technologies numériques

Eric Bruillard⁽¹⁾ et Philippe R. Richard⁽²⁾

1 - EDA - Université Paris Cité

2 - Faculté des sciences de l'éducation - Université de Montréal

Depuis une quarantaine d'années, l'usage des outils informatiques s'est imposé dans l'enseignement des mathématiques et des sciences au point de distinguer usage et instrumentation pour l'apprentissage et la réalisation du travail à l'école. Il y aurait, d'une part, un usage commun à tous les domaines, comme on l'a vu très nettement au cours de la pandémie, et d'autre part, un usage finalisé ou contraint par les contenus eux-mêmes, les mathématiques notamment. Cette conférence plénière vise à mettre en reliefs ces deux points de vue à partir d'une trame transversale qui porte sur :

- La modélisation des connaissances, la modélisation du raisonnement humain ;
- L'organisation matérielle des ressources par les enseignants ;
- Les projets, les tâches et les technologies avec des artefacts numériques ;
- L'intelligence artificielle, l'intelligence augmentée ;
- Le travail mathématique instrumenté, la conceptualisation et l'évaluation de l'apprentissage et de la formation.

Des généralités sur les technologies numériques, par qui et pour qui, seront abordées, de même que la notion d'interaction au cœur de l'apprentissage avec celle de la responsabilité réciproque entre l'informatique et la didactique. Nous soulevons plus particulièrement la question des savoirs et des connaissances à travers des exemples et des théories qui nous guident en vue d'une école digitale de bon niveau accessible à tous.

Références :

Bruillard, É. & Boissière, J. (2021). *L'école digitale : une éducation à construire et à vivre*. Paris : Armand Colin.

Kuzniak, A, Montoya-Delgadillo, E. & Richard, P.R. (Eds.) (2022). *Mathematical Work in Educational Context. The Mathematical Working Space Theory Perspective*. Springer International Publishing.

Loffreda Magali (Conçu et illustré par Solène Voegel) (2019). *Dis-moi, comment tu ranges ? ! L'organisation matérielle des ressources par les enseignants*.

Richard, P.R, Vélez, M.P., & Van Vaerenbergh. S. (Eds.) (2021). *Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence. How Artificial Intelligence can Serve Mathematical Human Learning*. Springer International Publishing.

UNESCO (2019), Mochizuki Yoko and Bruillard éric (eds.) Rethinking pedagogy : Exploring the potential of Technology in Achieving Quality Education. MGIEP, See Global literature review of digital textbooks and digital education media

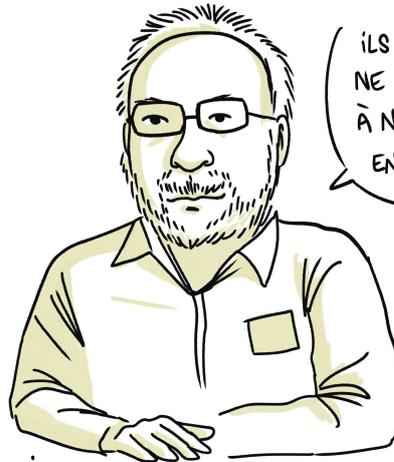
TRANSPPOSITIONS RECHERCHE-FORMATION-ENSEIGNEMENT

LES ENSEIGNANTS
N'AIMENT PAS SI
ON A UNE POSTURE
DE SAVANT

ON EXPLORE LA
CO-CONSTRUCTION



CHRISTIAN ORANGE



JEAN-MARIE BOILEVIN

ILS DISENT QU'ON
NE COMPREND RIEN
À NOTRE LANGAGE
EN DIDACTIQUE...

MORGANE PARISI

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 ANI - 3 JUIN 2022

ALORS, QUE DEVIENT
UNE POMME QUAND
ON LA MANGE?

DU CACA!!!!

HUM, VA FAUDRA
REFORMULER LA
QUESTION



↑
CHERCHEUR
EN DIDACTIQUE

MAÏS COQ 2022 @

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

Transpositions recherche-formation-enseignement

Jean-Marie Boilevin⁽¹⁾ et Christian Orange⁽²⁾

1 - Université de Bretagne Occidentale

2 - Université de Nantes, Université Libre de Bruxelles

Dans cette intervention nous souhaitons discuter l'idée de transposition entre recherches didactiques et l'enseignement. La didactique pense transposition entre savoirs et savoirs (Verret, Chevillard) ou entre pratiques et pratiques (Martinand), voire entre savoirs et savoirs au travers de pratiques (Johsua), mais peut-on penser une transposition entre savoirs de la recherche (didactique) et pratiques (d'enseignement). On pourrait certes penser cette « transposition » des pratiques de recherche à des pratiques d'enseignement, mais quelle forme cela pourrait prendre ?

La question de la « transposition » entre recherche didactique et enseignement mérite d'autant plus d'être discutée que la transposition didactique est généralement pensée comme unidirectionnelle. Peut-on en dire autant des relations entre recherche didactique et enseignement ?

Cette discussion demande certainement à être déclinée selon les différentes formes de recherches didactiques : ingénierie traditionnelle, étude des situations ordinaires, ingénierie coopérative, séquences forcées... Cependant, dans chaque cas, explicitement ou non, les échanges de savoirs et les influences vont dans les deux sens en poursuivant une double visée, pragmatique et épistémique.

Cette discussion permet, de plus, de revenir sur la question des relations entretenues entre recherche et formation et de dépasser les limites des dispositifs de formation visant la transposition des résultats de la recherche pour faire évoluer les pratiques des enseignants. Ici aussi, les échanges entre niveau formation et niveau recherche permettent de nourrir la réflexion et de faire progresser l'un et l'autre.

Toutes ces questions seront discutées selon deux points de vue correspondant à des itinéraires de recherche différents.

Bächtold, M., Boilevin, J.-M. & Calmettes, B. (2017). La pratique de l'enseignant en sciences : comment l'analyser et la modéliser ? Louvain-la-Neuve : Presses Universitaires de Louvain

Boilevin, J.-M. (2013). Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques. Bruxelles : De Boeck.

Hosson, C. & Orange, C. (2019). Les résultats des recherches en didactique des sciences et des technologies : quelle validité et 0 quelles conditions ? RDST, 20, 9-26

Orange, C. (2016). Et si nous étions amis. In B. Calmettes, M.-FF. Carnus, C. Garcia-Debanc & A. Terrisse, Didactiques et formation des enseignants. Louvain-la-Neuve : Presses Universitaires de Louvain. pp 439-442

Orange, C. (2015). L'école de l'émancipation : d'une quête impossible au développement sans cesse du métier d'enseignant. Carnets Rouges, 3, 20-22. <http://reseau-ecole.pcf.fr/58845>

Venturini, P., & Boilevin, J.-M. (2021, à paraître). La formation des enseignants de sciences et technologies, enjeu pour le futur et champ de recherche à développer. RDST, 23.

APPROCHES DIDACTIQUES DE L'ÉVALUATION

PISA
INFLUENCE
LES ENSEI-
GNEMENTS



PIERRE JOB

LA FRANCE
EST LE PAYS OÙ
IL Y A LE + DE
CORRÉLATION SESC
ET RÉSULTATS PISA



FLORENCE LE HÉBEL

MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 ANI - 3 JUIN 2022

TU TROUVES ÇA PERTINENT,
TOI, PISA?



EH, ÇA PERMET DE VOIR
QUE NOTRE ENSEIGNEMENT
RÉSISTE AUX QUESTIONS
MÊME LES PLUS MAL POSÉES



NAÏS COQ 2022 @
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

Approches didactiques de l'évaluation

Florence Le Hébel⁽¹⁾, Maggy Schneider et Pierre Job⁽²⁾

1 - UMR ICAR, UMS LLE - ENS de Lyon

2 - Université de Liège

Cette présentation se focalisera sur les évaluations internationales, avec l'exemple de PISA, en l'abordant de deux points de vue différents : d'une part, de ce que PISA peut informer sur la compréhension par les élèves 15 ans en France de tâches relevant de la culture scientifique, et d'autre part dans quelle mesure l'évaluation PISA peut influencer l'enseignement. Les résultats PISA montrent à chaque cycle une des plus fortes corrélations du Statut économique Social et Culturel (SESC) des élèves et de leurs performances pour la France en comparaison avec les autres pays de l'OCDE (OCDE, 2015). Une première partie se concentrera à montrer en quoi l'évaluation de la résolution d'une tâche relevant de la culture scientifique (item PISA science) peut informer sur les liens entre la compréhension effective de l'élève et son environnement socio-économico-culturel. Ces travaux reposent sur une double approche, à la fois statistique (réponses aux items des évaluations PISA science par des populations d'élèves de différents profils et qualitatives (étude de cas individuels à partir d'observations d'élèves lors de l'élaboration de leur réponse aux items PISA) et ont fait appel à différents cadres théoriques, issus de la didactique des sciences et des mathématiques, de la psychologie cognitive et de la sociologie.

La deuxième partie questionnera la place de l'évaluation comme instrument de pilotage de l'enseignement. à cet égard, plusieurs dérives possibles seront illustrées à partir d'études de cas sur des faits observés en Belgique francophone à propos des mathématiques : ces études concernent la réforme dite des compétences mais aussi, en lien avec cette réforme, les épreuves d'évaluation PISA. Les observations, traitées avec des cadres théoriques propres à la didactique des mathématiques, permettront d'analyser l'authenticité supposée des énoncés qui sont soumis aux élèves dans le cadre PISA, mais aussi la délicate articulation entre l'enseignement, d'une part et l'évaluation, d'autre part.

L'ensemble des résultats de ces travaux conduiront les chercheuses à une réflexion sur les implications pour l'enseignement des évaluations existantes qu'elles soient internes à la classe, nationales ou internationales et à suggérer des pistes de travail ultérieur.

Chapitre 3

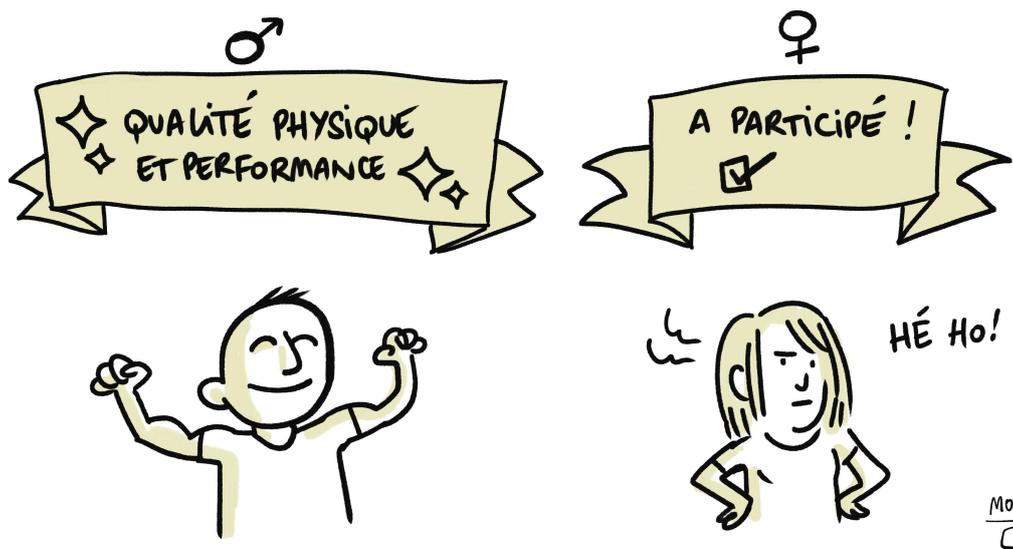
Communications orales



M. BENMERAH

MAÏS COQ 2022 @
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

EN EPS, DES NOTATIONS PÉTRIES DE CLICHÉS



MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 MAI - 3 JUIN 2022

Épisodes évaluatifs et égalité

Recueil en Mathématiques et EPS à l'école primaire

Mathilde Mathieu, doctorante, EMA, CY Cergy Paris Université, mathilde.benmerah@ac-nancy-metz.fr

Nathalie Sayac, directrice de l'Inspé de Normandie Rouen Le Havre, LDAR Université Rouen Normandie, nathalie.sayac@univ-rouen.fr

Sigolène Couchot-Schiex, Professeur des université, EMA, CY Cergy Paris Université, sigolene.couchot-schiex@cyu.fr

Résumé : L'égalité fille-garçon est une problématique centrale de l'école du 21^{ème} siècle comme le montre la reconduction par le ministère de l'Éducation Nationale de la convention pour l'égalité des sexes dans le système éducatif (2019-2024). Permettre la réussite de tous et l'égalité des sexes demande une mise en question des processus d'apprentissage et d'enseignement. Dans cette recherche nous réalisons une étude comparative des pratiques évaluatives en Mathématiques et EPS à l'école primaire. Il s'agit de voir en quoi les pratiques évaluatives des enseignants sont reproductrices ou non des stéréotypes de genre.

Mots-clés : évaluation, didactique, égalité, genre, stéréotypes, polyvalence, épisode évaluatif

Notre recherche s'inscrit dans un cadre socio-didactique car elle fait intervenir des données concernant à la fois la didactique des Mathématiques et de l'EPS mais aussi des données relevant de la sociologie comme la logique évaluative des enseignants, la pression des stéréotypes de genre.

Les études disponibles sur les liens entre la construction scolaire des différences entre les sexes et les pratiques enseignantes soulignent l'existence d'un traitement différent entre les filles et les garçons à l'École. Le système scolaire français contribue à la reproduction voire la construction des inégalités et l'existence d'une forme de scolarisation différentielle selon le sexe des élèves est mis en évidence. (Duru-Bellat, 2017 ; Versheure, Debars, Amade-Escot, Vinson 2019 ; Joigneaux, 2009).

L'intégration des questions de genre dans les recherches didactiques est récente et l'on trouve peu de données pour le premier degré. C'est pourquoi cette communication a pour objectif de présenter le dispositif mis en place lors d'une étude comparative ciblée de deux disciplines (les mathématiques et l'EPS) réalisée dans le but de dresser un constat récent sur l'impact des stéréotypes de genre sur la pratique évaluative des enseignants du premier degré.

Éléments contextuels et scientifiques

Revue de littérature à l'origine de la problématique didactique de la recherche

La polyvalence de l'enseignant du premier degré

Nous avons fait le choix du premier degré car l'enseignant est dit polyvalent. Il va donc enseigner dix disciplines différentes (ministère de l'Éducation Nationale de la jeunesse et du sport, 2008) aux mêmes élèves durant toute l'année scolaire. Cette polyvalence va donc augmenter la possibilité d'observer une influence des stéréotypes de genre sur la pratique évaluative sur un temps relativement court.

L'évaluation des apprentissages en Mathématiques et EPS dans le premier degré

Ces deux disciplines représentent à elles deux un volume horaire de 188 heures d'enseignement à l'année soit 22% des enseignements dispensés à l'école élémentaire (ministère de l'Éducation Nationale de la jeunesse et du sport, 2008). En mathématiques, les différentes publications réalisées (Sayac, 2017) montrent que les principales évaluations réalisées sont en fin de séquence. Elles sont plutôt homogènes au regard de la complexité de la tâche proposée en effet, elles proposent toutes un contenu dit « de bas niveaux de complexité et de compétences ». Mais elles sont hétérogènes en termes de conception et de notation utilisée. Les enseignant·e·s élaborent leurs évaluations individuellement et utilisent des ressources très diverses (manuels, sites internet...etc.). Les recherches antérieures soulignent le fait que les pratiques évaluatives des enseignant·e·s reposent principalement sur une pratique conçue et pensée personnellement plutôt que sur une construction professionnelle élaborée en formation (TALIS, 2013).

L'EPS est une discipline où les problématiques autour de l'évaluation sont amplifiées, d'une part car l'évaluation est réalisée « à chaud » (c'est-à-dire sans traces de production que l'enseignant peut reprendre en post-séance) et d'autre part les capacités initiales des élèves sur leur réussite renvoient à des éléments à forte détermination génétique, hormonale (âge, poids, taille) et à des déterminants sociaux, telle que l'expérience acquise lors des pratiques extra-scolaires (Cogérino & Mnaffakh, 2008 ; Vigneron, 2004). La durée relativement courte des séquences d'apprentissage ne permet pas de transformer de manière importante ces capacités initiales. Ainsi, c'est principalement la participation de l'élève et son investissement dans l'activité qui sont prises en compte par les enseignant·es.

Les recherches antérieures sur l'évaluation en EPS ont montré un décalage avéré entre les intentions des enseignant·es en termes d'évaluation et ce qui est réellement mis en place dans leur classe. En effet, 97% d'entre eux disent utiliser l'évaluation formative alors que seul 11% proposent ce type d'évaluation dans chaque séquence mais sans jamais la noter (Mougenot et Dugas, 2014). La tension entre évaluation formative ou sommative semble résulter d'un manque de clarté sur ce que l'on souhaite évaluer.

Un cadre conceptuel articulant genre et didactique

Le cadre didactique en évaluation

Cette recherche se place dans le cadre didactique en évaluation au sens défini par Nathalie Sayac en 2017. C'est un cadre qui combine à la fois les savoirs scientifiques en sciences de l'éducation et ceux de la didactique en évaluation. Il s'inscrit dans la double approche de Robert et Rogalski (2002) mais

s'en distingue par la plus place plus importante qu'il accorde à la composante personnelle de ces pratiques spécifiques.

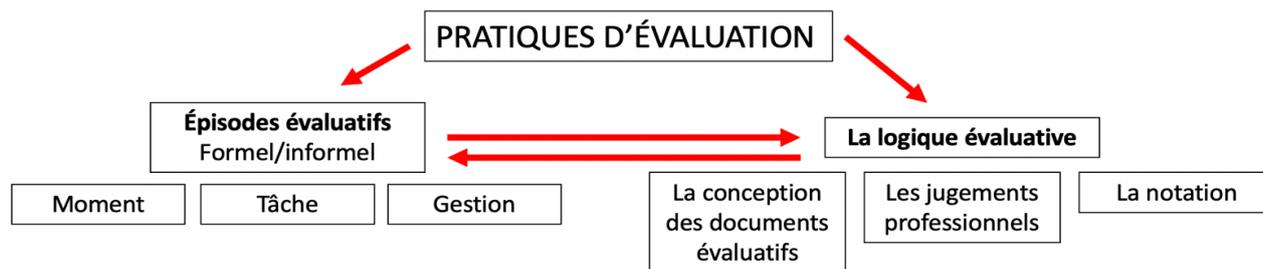


Figure 1 : Le cadre didactique en évaluation (Sayac, 2017)

Il s'appuie sur deux axes :

- Un axe focalisé sur la notion d'épisode évaluatif défini comme un moment où l'enseignant·e est en capacité de porter un jugement formel ou informel sur l'état des connaissances d'un élève par rapport à un savoir ou un savoir-faire visé (Sayac, 2019). Pour le caractériser il est nécessaire de prendre en compte le moment où il est proposé qui permet de nous renseigner sur le rôle qui va jouer sur le processus d'apprentissage. Mais aussi la nature des tâches qui le constituent qui permettent d'évaluer la pertinence du point de vue didactique. Et enfin la gestion qui l'accompagne car elle permet de mettre en avant les différents types de régulations et de jugements (Allal, 1988)

- un axe focalisé sur la notion de logique évaluative, qui prend en compte la conception des documents évaluatifs, le jugement professionnel et didactique en évaluation (JPDE) et la notation. Ce JPDE s'inscrit dans la continuité des travaux de Mottiez Lopez et Linda Allal (2007) et intègre le fait que le jugement professionnel d'un·e enseignant·e est influencé par différents facteurs comme les connaissances disciplinaires, les connaissances didactiques et des facteurs individuels comme les croyances, les représentations, les expériences.

Pour la notation cela doit être mis en lien avec la manière dont l'enseignant·e va rendre compte à ses élèves de la notation attribuée et les jugements évaluatifs associés.

Évaluation, savoirs et fabrication des différences sexuées : état des recherches

Les deux disciplines scolaires : les mathématiques et l'EPS ont été choisies suite aux recherches antérieures démontrant que la présence de stéréotypes sexués y était particulièrement sensible, conduisant à des résultats différenciés plus défavorables aux filles. Comme par exemple, les travaux de Duru-Bellat et Jarlégan (2001) qui mettent en avant une différence dans la nature des interactions. Les garçons sont surtout félicités pour leurs qualités intellectuelles et les filles pour leurs prestations intellectuelles. La recherche menée par Verscheure et Barale (2020) montre qu'il y a un développement important des stéréotypes sexués en EPS car c'est une discipline qui valorise un modèle sportif dit « masculin ». Enfin, les travaux de Fontayne, Ruchaud et Margas de 2016 établissent le constat que les stéréotypes de genre engendrent des standards d'évaluation. C'est-à-dire qu'à partir d'un stéréotype donné l'individu sera jugé en fonction des qualités attribuées à son groupe d'appartenance et non pour des qualités qui lui sont propres.

Problématique

Les pratiques enseignantes sont le résultat d'un cheminement afin d'adapter les situations d'apprentissage aux contraintes institutionnelles, scolaires, spatio-temporelles et organisationnelles

qui pèsent sur le jeu didactique (Sensevy, 2011). Elles révèlent aussi un ensemble d'habitudes, de croyances, de normes et de valeurs formant ainsi un *habitus professionnel* (Poggi, Brière-Guenoun, 2014). Cette polyvalence est-elle un vecteur d'inégalité ? Quelle place occupe-t-elle dans la reproduction des stéréotypes sexués ?

Cet article propose une description outillée et ciblée de pratiques enseignantes afin de mettre en évidence les différenciations à l'œuvre dans l'enseignement et l'évaluation des savoirs et savoir-faire qui sont à l'origine des mécanismes de productions et reproductions des stéréotypes de genre. Autrement dit, y-a-t-il une dimension genrée dans l'évaluation des savoirs disciplinaires par les enseignant·es ? Les garçons sont-ils évalués selon les mêmes critères que les filles ?

Éléments méthodologiques

Introduction sur les choix généraux épistémologique et méthodologique

Comparaison de deux pratiques disciplinaires

Nous réalisons dans cette étude une comparaison des pratiques en EPS et mathématiques sur des éléments didactiques (ici les épisodes évaluatifs). Il s'agit d'observer deux disciplines scolaires ayant des traits communs relevant de l'adhésion aux stéréotypes de genre (de la part à la fois du traitement du savoir, des représentations des enseignants et des élèves). Cette comparaison va permettre d'obtenir une photographie de la pratique évaluative des enseignant·es du premier degré. Les éléments obtenus vont pouvoir ensuite être analysés au regard du genre afin de faire émerger quelques constats sur l'influence des stéréotypes sexués dans les pratiques évaluatives, en ciblant spécifiquement les épisodes évaluatifs selon les deux disciplines retenues.

Les terrains investigués et les outils de collecte de données

Le terrain de recherche

Le terrain de recherche est composé de 4 enseignants de cycle 3 (3 femmes et 1 homme) en poste dans l'académie Nancy-Metz et plus particulièrement dans le département des Vosges. Les 4 enseignants se situent à des avancements de carrières différents. Nous avons réalisé une photographie des pratiques évaluatives de ces enseignants à un moment donné autour d'une séance en mathématiques et EPS.

Enseignant·e	Date de l'observation	Niveau de la classe	Séance observée en EPS	Séance observée en Mathématiques	Avancée de la carrière
1	Janvier 2020	CM1/CM2	Danse contemporaine	Résolution de problèmes avec des fractions.	30 ans de carrière
2	Avril 2021	CM1	Acrosport	Conversions (unités de longueur)	8 ans de carrière
3	Novembre 2021	CM1	Jeux collectifs sans ballon	Géométrie dans l'espace	3 ans de carrière

4	Février 2022	CM1	Tennis de table	Les unités de contenance	15 ans de carrière
---	--------------	-----	-----------------	--------------------------	--------------------

Figure 2 : Tableau récapitulatif des observations réalisées.

Les outils de collecte utilisés

Au niveau du recueil de données, des entretiens ante-séance ont été réalisés ainsi que des entretiens d'auto-confrontation en post séance.

Ces entretiens ante-séance semi-directifs avaient pour objectif de recueillir des éléments implicites et personnels susceptibles d'éclairer la logique évaluative de chaque enseignant·e. Les représentations initiales sur sa pratique, les questions sociales qui se rapportent à son métier, l'évolution des pratiques, la vision de l'institution sont recueillies durant l'entretien. En amont de l'entretien, l'enseignant·e réalise un portrait général pour chacun de ses élèves à la fois en mathématiques et en EPS puis il commente ce descriptif à voix haute lors de l'entretien ante-séance afin d'explicitier son écrit. L'enseignant·e choisit ensuite librement 6 élèves cibles : deux élèves en difficultés, deux élèves « moyens » et deux très bons élèves. Pour chacun d'entre eux, il va émettre un pronostic quant à la réussite ou non de cet élève dans les séances observées.

Les entretiens post-séance sont des entretiens d'autoscopie de type d'auto-confrontation inspirés de ceux utilisés par Brière-Guenoun (2005). Ici l'entretien d'auto-confrontation est utilisé à des fins compréhensives. En effet, l'enseignant·e visionne les épisodes évaluatifs sélectionnés par la chercheuse et dans un premier temps il explicite sa pratique face aux images puis la chercheuse pose des questions pour l'amener à confronter ses représentations initiales et sa pratique réelle.

Le traitement des données

Le traitement des données commence par l'identification et la classification des épisodes évaluatifs. Il s'agit d'abord d'identifier les « moments » où l'enseignant·e porte un jugement sur les connaissances d'un ou plusieurs élèves. Par exemple, l'enseignant demande à un·e élève d'explicitier sa démarche. Une fois l'épisode évaluatif identifié, il s'agit de caractériser le jugement évaluatif associé ainsi que la régulation apportée. Le jugement évaluatif peut être qualifié d'« appuyé » quand l'enseignant·e va accorder un temps marqué pour poser un jugement fondé sur le travail de l'élève ou au contraire le jugement peut être qualifié de « furtif » quand celui-ci n'utilise pas ce temps pour porter un jugement. Enfin, il s'agit aussi de considérer si le jugement est avec ou sans trace. Autrement dit, si l'enseignant·e se donne les conditions matérielles de retenir le jugement émis avec, par exemple, le remplissage d'une grille élaborée à cet effet. Concernant la régulation utilisée par l'enseignant·e, il s'agit de reprendre la catégorisation élaborée par Allal (1988). Elle peut donc être interactive (c'est-à-dire qu'il y a interaction entre l'enseignant·e et les élèves durant toute la phase d'apprentissage), rétroactive (elle intervient à la fin d'une phase d'apprentissage) ou proactive (elle survient au moment d'engager les élèves dans une activité didactique nouvelle)

Deux autres indicateurs sont relevés lors des visionnages des séances par la chercheuse afin de pouvoir mener une analyse transversale au regard du genre : le volume d'interaction et le sexe de l'élève concerné·e par chaque épisode évaluatif.

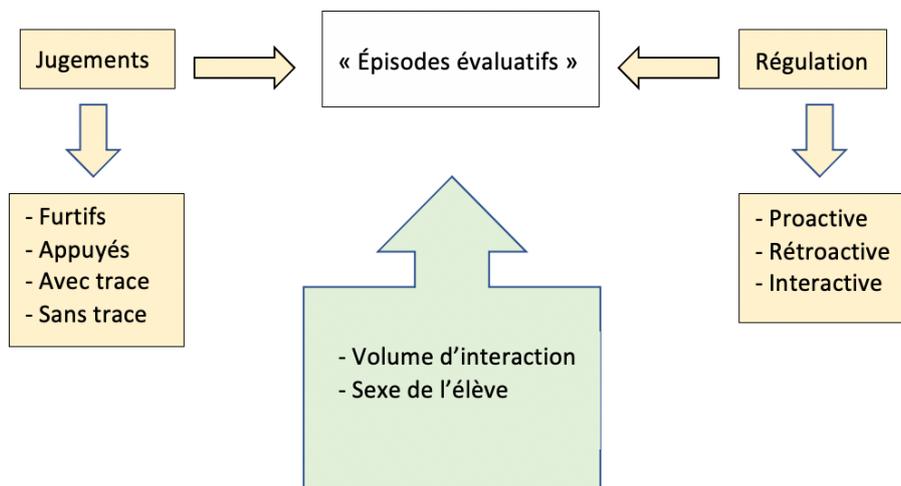


Figure 2 : Étapes de traitement des données

Résultats et interprétation

Premiers éléments d'analyse des pratiques évaluatives

La recherche est menée dans le cadre d'une thèse en sciences de l'éducation qui est en cours de réalisation, il s'agit donc de présenter ici les premiers éléments d'analyse. Toutefois, nous avons pu réaliser plusieurs constats grâce aux observations réalisées dans les classes. Tout d'abord, une dilution des épisodes évaluatifs au fil de l'avancement de carrière. Plus l'enseignant·e sera avancée dans sa carrière plus l'identification des épisodes évaluatifs est difficile. En effet, lors de l'observation des séances des enseignant·es ayant le plus d'ancienneté dans le métier on constate qu'il y a plus d'épisodes évaluatifs informels et sans trace, plus difficiles à repérer car dilués. L'évaluation des savoirs et savoir-faire des élèves reposent sur une sorte « d'impression globale » que s'est faite l'enseignant·e sur l'ensemble de la séquence et même parfois sur les années précédentes. Les difficultés et les réussites des élèves sont souvent anticipées en amont de la séance grâce à « l'expérience ». Ce qui rejoint le constat réalisé par Fontayne, Ruchaud et Margas en 2016 car les élèves sont déjà « catégorisés » avant même le déroulement de la séance.

On ne retrouve pas ce phénomène chez les enseignant·es « en début de carrière » car on note encore une présence importante de moment formel où l'enseignant·e prend des indices sur l'avancée des apprentissages car elle ne peut pas être anticipée par manque d'expérience. La séance est beaucoup plus rythmée, cadencée ce qui rend les épisodes évaluatifs facilement identifiables par la chercheuse.

L'analyse au regard du genre

Dans un premier temps, on remarque un décalage avéré entre les intentions didactiques en termes d'égalité des sexes et la pratique réelles des enseignant·es. En effet, 4 enseignants sur 4 affirment ne faire aucune différence dans leur enseignement entre les deux sexes.

Puis nous avons pu constater qu'en EPS que les épisodes évaluatifs sont surtout appuyés pour les élèves garçons alors qu'ils sont à l'inverse furtifs pour les élèves filles. En mathématiques, les garçons sont utilisés principalement pour la validation des connaissances alors que les filles sont sollicitées pour faire des propositions de réponses ou des rappels de connaissances.

Nous avons pu constater que les portraits réalisés en ante-séance étaient déjà très stéréotypés. Puisque les adjectifs : sage, soigneuse, volontaire sont utilisées systématiquement pour les élèves filles. Alors que les adjectifs agité, performant sont utilisés pour les élèves garçons.

En ce qui concerne l'évaluation des élèves en EPS lorsqu'il s'agit d'une APSA à connotation masculine la qualité physique et la performance sont pris en compte pour l'évaluation de l'élève garçon. Alors que pour les élèves filles c'est la participation qui est utilisée comme critère de réussite. Quand l'APSA est à connotation féminine les critères de réussite pris en compte s'inversent. Avec toujours une acceptation plus importante de la modification de la tâche par les élèves garçons.

En mathématiques, à l'aide de la grille d'observation réalisée nous avons pu relever que la régulation des enseignant·es observés concernaient rarement les garçons. En effet, les enseignant·es regardent le résultat final qui est donné par les garçons, mais s'intéressent peu à la démarche mise en œuvre pour arriver au résultat et inversement pour les élèves filles où le cheminement utilisé pour arriver à la réponse est davantage observé.

Bibliographie

Allal, L. (1988), Vers un élargissement de la pédagogie de maîtrise : processus de régulation interactive, rétroactive et proactive, in Huberman, M. (éd.), *Assurer la réussite des apprentissages scolaires. Les propositions de la pédagogie de maîtrise*, Paris, Delachaux et Niestlé, p. 86-126.

Allal, L. & Mottier Lopez, L. (2007). *Régulation des apprentissages en situation scolaire et en formation*. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur

Brière-Guenoun.F. (2011). Perspectives pour la conception d'outils de formation reposant sur l'analyse des praxéologies disciplinaires et didactiques en EPS. *eJRIEPS*, n°24.

Cogérino.G, Mnaffakh.H. (2008). Évaluation, équité de la note en éducation physique et norme d'effort. *Revue française de pédagogie*, n°164, 111-122.

Couchot-Schiex.S. (2017). coord., *Le Genre*, Paris, Éd. EPS, coll. Pour l'action, 128 pages.

Duru-Bellat, M. (2017). *La Tyrannie du genre*. Paris: Presses de Sciences Po.

Duru-Bellat, M. & Jarlégan, A. (2001). Garçons et filles à l'école primaire et dans le secondaire. Dans : Thierry Blöss éd., *La dialectique des rapports hommes-femmes* (pp. 73-88). Paris cedex 14: Presses Universitaires de France.

Fontayne, P., Ruchaud, F. & Margars, N. (2016). Biais évaluatifs et standards de jugements dans le domaine des activités physiques. *Les stéréotypes*, édition EPS, Chap 3, 45-60.

Jarlégan, A. (2016). Genre et dynamique interactionnelle dans la salle de classe : permanences et changements dans les modalités de distribution de la parole, *Le Français Aujourd'hui*, n° 193, 77-85.

- Joigneaux,C. (2009). La construction de l'inégalité scolaire dès l'école maternelle, *Revue française de pédagogie*, 169, 17-28.
- Leutenegger, F. (2000). Construction d'une "clinique" pour le didactique. Une étude des phénomènes temporels de l'enseignement. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 20 (2), 209-250
- Ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et du sport. (2008). *Programmes et horaires à l'école élémentaire*. En ligne : <https://www.education.gouv.fr/programmes-et-horaires-l-ecole-elementaire-9011>, consulté le 13 janvier 2022.
- Mougenot,L. Dugas,E. (2014). Formation et pratique des enseignants. Regard porté sur l'évaluation. *Revue de recherches en éducation, supplément électronique*, 53, 67-83.
- Poggi,M-P., Brière-Guenoun,F. (2014).Ce qui s'enseigne en milieu difficile : tentative d'articulation des approches sociologiques et didactique. In N. Wallian, M-P. Poggi, A.Chauvin-Vileno (Eds), *Action, interaction, intervention : à la croisée du langage, de la pratique et des savoirs*, 333-364. Bern : Peter lang.
- Rapport TALIS 2013 de l'OCDE. (2014). *Les pratiques professionnelles des enseignants*.
- Robert, A. & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *Canadian Journal of Math, Science & Technology Education*, 2(4), 505-528.
- Sayac, N. (2019). Approche didactique de l'évaluation et de ses pratiques en mathématiques. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 39(3), 283–329.
- Sensevy, G. (2011). Le sens du savoir. *Recherches & éducations*. En ligne : <http://journals.openedition.org/rechercheseducations/1455> consulté le 2 avril 2022.
- Sayac, N. (2017). Étude des pratiques évaluatives en mathématiques des professeurs des écoles en France : une approche didactique à partir de l'analyse des tâches données en évaluation, *Mesure et Évaluation en Éducation*, 40(2), 1-31.
- Verscheure,I. Debars,C. Amade-Escot,C. Vinson,M. (2019). Saisir les co-déterminations du pédagogique et du didactique dans les pratiques d'enseignement. *Revue des Sciences de l'Éducation, Formation et Évaluation*. Hal – 02506860
- Verscheure, I. & Barale, C. (2020). Vers une « égalité sans condition » en EPS : le cas d'une recherche collaborative pilotée par le changement des pratiques d'enseignement du cirque au cours préparatoire. *Revue GEF* (4), 45-57. Repéré à <https://revuegef.org>
- Vignerou, C. (2004). *La construction des inégalités de réussite en EPS au baccalauréat entre filles et garçons*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation. Université de Bourgogne, UFR Sciences humaines, Iredu, Dijon.



UNE ÉTUDE DE CAS
SUR L'INTRODUCTION DE
LA NOTION D'AIR À
L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE

L'ENSEIGNANTE BASCULE
D'UN PARADIGME CONSTRUCTIVISTE
À UN PARADIGME ONTOLOGIQUE

(QUELLE IDÉE)

MURIEL BLAT

MAÏS COQ 2022 @

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

BOUGE PAS ZOÉ...

J'ANALYSE TON ACTIVITÉ MENTALE
ET TES DYNAMIQUES INTENTIONNELLES ...



MORGANE PARISI

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 MAI - 03 JUIN 2022

Articuler les schèmes aux dynamiques intentionnelles

Cas de l'Enseignement-apprentissage des Sciences Fondé sur l'Investigation

Résumé : A travers une étude de cas réalisée à l'école élémentaire nous montrons comment une articulation du cadre de la conceptualisation dans l'action avec un modèle dynamique des intentions basé sur une approche phénoménologique du didactique permet de mieux comprendre les relations entre la conduite de l'apprentissage en situation d'enseignement-apprentissage des sciences fondé sur l'investigation et la conceptualisation de l'enseignante sur la situation. Nos outils méthodologiques sont empruntés aux approches ergonomiques de la psychologie du travail et les résultats présentés ciblent la dynamique des intentions relatives aux savoirs en jeu.

Mots-clé : ESFI, schème, activité enseignante, dynamiques intentionnelles, intentions didactiques

Enseignement-apprentissage des Sciences fondé sur l'investigation

Depuis plusieurs décennies, et afin de rendre l'apprentissage des sciences et de la technologie plus actif et plus motivant, la prescription de démarches d'enseignement-apprentissage fondé sur l'investigation (ESFI) se développe au niveau mondial. Selon Boilevin (2013) il s'agit de proposer aux élèves des tâches plus ouvertes, de plus haut niveau cognitif et leur offrant plus d'autonomie. Cependant, la place centrale accordée aux interactions entre élèves à travers cette évolution transforme profondément la relation didactique et le rôle de l'enseignant, tant en classe que dans sa façon de préparer la séance (Boilevin, *ibid.*). En outre de nombreuses recherches soulignent les difficultés rencontrées par les enseignants pour opérationnaliser ces nouvelles pratiques (voir Marlot et Morge, 2016).

Afin de rendre plus intelligible le processus d'enseignement-apprentissage en situation d'ESFI et faire progresser la compréhension des rapports entre les conduites des enseignants en situation de classe et les éléments qui orientent et guident leur activité, des travaux mettent au jour des *organismes de l'activité enseignante* (pour ceux qui s'appuient sur les théories de l'activité) ou des *déterminants de l'action professorale* (pour ceux qui s'appuient sur les théories de l'action ou de l'action conjointe). Cependant, quels que soient les cadres d'analyse mobilisés, toutes ces recherches soulignent la difficulté à décrire le non visible du travail de l'enseignant, à accéder aux logiques d'actions de ce-dernier et au système de décision qui oriente sa pratique (*e.g.* Amade-Escot et Venturini, 2009 ; Cross, 2010 ; Jameau, 2021). Notre recherche propose de mettre au travail cette complémentarité des approches (didactique professionnelle et didactiques des sciences) afin de mieux comprendre ce que font les enseignants, pourquoi et de quelle manière ils le font, au moment où ils le font (Jameau, 2021 ; Lenoir et Pastré, 2008 ; Venturini, 2012). Notre recherche propose de mettre au travail cette complémentarité des approches afin de mieux comprendre les ajustements réalisés par une professeure des écoles expérimentée en situation d'ESFI. Précisons à présent notre cadre théorique.

Schémes et dynamiques intentionnelles de l'enseignant

Le cadre de la conceptualisation dans l'action (Vergnaud, 1994) est un élément central de la didactique professionnelle. Il postule que l'activité humaine est organisée et peut être analysée en termes de formes d'organisation (des schèmes) associées à des classes de situation. Si le schème peut être défini comme une organisation invariante pour une classe de situation, il n'est cependant pas un stéréotype mais une totalité dynamique organisée et fonctionnelle qui permet de rendre compte des suites d'action du sujet en fonction des valeurs prises par les variables de la situation (Vergnaud, *ibid.*). La mise au travail du concept de schème pour analyser l'organisation de l'activité de professeurs, spécifiquement en situation d'ESFI, amène Jameau (2012) à en proposer une redéfinition fonctionnelle selon six éléments : 1/ les buts et éventuellement les sous-buts du schème, 2/ les anticipations du sujet, 3/ les indices pris en compte (définis par Jameau (*ibid.*) comme les réponses des élèves, qu'elles soient verbales ou non verbales), 4/ les inférences, 5/ les invariants opératoires du sujet (propositions prises pour vraies ou considérées pertinentes par celui-ci pour agir), 6/ les règles d'action. Cette redéfinition permet de considérer plus spécifiquement les anticipations de l'enseignant et les indices qu'il prend en compte en situation de classe pour agir. Toutefois, Jameau (2021) conclut qu'elle ne suffit pas pour donner à voir le réel de l'activité du professeur et suggère une étude des intentions afin d'accéder non seulement à ce qui déclenche l'action mais également à ce qui permet de la guider et de la contrôler jusqu'à son terme.

Le modèle dynamique des intentions proposé par Portugais (1999) propose justement d'augmenter les deux dimensions du concept de schème (sujet et situation) d'une troisième dimension représentant l'*intention du sujet*. Son approche phénoménologique du didactique (des sciences dans notre recherche) appréhende alors l'intention à travers trois instances intentionnelles : l'*Intentio*, l'Intentionnalité et l'intention didactique. L'Intentionnalité (I) de l'enseignant s'exprime en amont de la situation de classe et permet à ce-dernier d'anticiper et de planifier cette situation d'une manière qui lui semble cohérente avec ses propres croyances et avec son interprétation du projet social concernant l'enseignement-apprentissage des sciences (l'*Intentio*). I représente donc tout le réseau intentionnel qui permet à l'enseignant d'organiser son activité, aussi bien au niveau *macroscopique* – enseignement-apprentissage des sciences en général - qu'au niveau *mésoscopique* - enseignement-apprentissage des sciences à l'échelle de la séance - (Masselot et Robert, 2007). Les indices relevés par l'enseignant au cours des interactions entre et avec les élèves en situation de classe, amènent ce-dernier à actualiser ses Intentionnalités en intentions d'agir maintenant, que Portugais (*ibid.*) qualifie d'*intentions didactiques* (i), l'adjectif *didactique* étant ici pris au sens large c'est à dire qu'il englobe l'aspect pédagogique. Le rôle spécifique des intentions didactiques consiste alors à déclencher, guider et contrôler l'agir de l'enseignant en situation de classe. Selon Pacherie (2003), cette transformation d'une intention exprimée en amont (pour nous : I), à une intention exprimée dans le présent de la situation (pour nous : i), s'accompagne d'une transformation du contenu de l'intention d'un type descriptif à un type indexical perceptif, c'est à dire que l'intention d'agir maintenant (intention didactique) se trouve articulée conceptuellement à l'ici et maintenant de la situation.

C'est cette articulation conceptuelle que nous nous proposons de mettre au jour en répondant à la question : Qu'est-ce que la reconstruction des dynamiques intentionnelles d'une enseignante expérimentée révèle de son schème de conduite de l'apprentissage en situation d'ESFI ?

Protocole expérimental

L'étude de cas présentée ici est extraite d'une étude doctorale plus large, et vise à mettre au jour les dynamiques intentionnelles d'une professeure des écoles expérimentée, que nous appelons Zoé, en *situation ordinaire* d'ESFI. Par ordinaire nous entendons, à l'instar de Margolinas et Laparrat (2011), que le chercheur n'intervient ni dans la préparation ni dans la mise en œuvre de la séance et que l'enseignante participante est titulaire et en exercice depuis au moins cinq ans. Zoé enseigne depuis neuf ans, et se trouve actuellement au Cours Préparatoire pour la troisième année consécutive. Par le passé Zoé a régulièrement pris en charge l'enseignement-apprentissage des sciences dans d'autres classes que la sienne dans le cadre de décroisements. Nous la considérons donc expérimentée. Signalons à titre indicatif que Zoé est titulaire d'une licence pluridisciplinaire obtenue à la suite d'un bac scientifique et qu'elle enseigne en zone périurbaine. L'enseignante participe volontairement à la recherche et est libre de choisir la séquence qu'il lui convient de nous partager du moment qu'elle porte sur la matière et qu'elle soit fondée, de son point de vue, sur l'investigation.

Nous recueillons des traces objectives de l'activité de Zoé : sa fiche de préparation écrite d'une séance et la captation audio-vidéo de sa mise en œuvre. Ces données sont augmentées de deux entretiens. Le premier, semi-directif, est réalisé en amont de la séance et vise à faire clarifier par l'enseignante ses buts, ses anticipations, ses invariants opératoires et les Intentionnalités qui les sous-tendent. Le second entretien, de type *auto confrontation explicite* (Cahour et al., 2018), est réalisé en aval de la séance et vise à recueillir les propos de l'enseignante à travers son discours sur sa propre activité, en évitant de faire émerger toute reconstruction de raisons qui n'existaient pas au moment de la séance. Les commentaires de Zoé sur la vidéo de sa séance révèlent les indices qu'elle prend en compte en situation de classe, les inférences et les règles d'actions qu'elle met en œuvre, ainsi que de nouveaux invariants opératoires qui guident ses actes en situation de classe.

Un premier niveau d'analyse consiste à identifier les écarts entre le prévu et le réalisé pour repérer les incidents critiques sur lesquels se focalise l'entretien post-vidéo, c'est à dire les événements qui ont suffisamment surpris ou déstabilisé l'enseignante pour engager sa réflexivité en situation de classe. Les entretiens sont ensuite découpés et transcrits à l'aide du logiciel Sonal, selon des catégories construites et affinées au fur et à mesure de l'analyse. Nous nous intéressons ici spécifiquement aux catégories : *éléments de schème* (buts, anticipations, indices, inférences, invariants opératoires, règles d'action) et *éléments d'intention* (organiser, impliquer, enseigner/faire apprendre). Sous l'étiquette *invariants opératoires*, nous identifions les propos de Zoé qui expriment des propositions jugées vraies ou pertinentes pour agir. Un second niveau d'analyse consiste à reconstruire ces invariants par une reformulation des propos en termes de « il est pertinent de » ou « je pense que », tout en restant au plus près du vocabulaire utilisé par Zoé, puis à identifier les intentions qui les sous-tendent. Un regroupement des extraits selon les intentions identifiées fait alors émerger différentes catégories d'intentions. Puis, afin de reconstruire la dynamique de chaque catégorie, nous identifions le niveau d'organisation de l'activité auquel ces invariants sont opératoires. Les propos qui touchent au général sont associés au niveau macroscopique et portés par des Intentionnalités, les propos qui se réfèrent plus spécifiquement à la séance sont associés au niveau mésoscopique, et également portés par des Intentionnalités, et les propos qui sont directement corrélés aux actes de l'enseignante en situation de classe, sont associés

au niveau microscopique et portés par des intentions didactiques. Présentons à présent nos principaux résultats.

Structure de la séance

Afin de fixer rapidement l'objectif de sa séance ainsi que les tâches qu'elle juge pertinentes, Zoé s'appuie sur un manuel scolaire choisi et utilisé par les membres de son équipe pédagogique. Pour la séance ciblée ici, Zoé prévoit de faire imaginer et réaliser par les élèves des expériences simples impliquant l'air, de manière dit-elle à ce « qu'ils prennent conscience de son existence ». En termes de savoirs, il s'agit de faire construire le « concept d'air » que Zoé juge « très compliqué puisque c'est quelque chose qu'on ne voit pas qui ne se sent pas ni matériellement ni visuellement, qui n'a pas d'odeur ». L'enseignante structure alors sa séance selon trois phases correspondant chacune à une tâche définie (notée T1, T2, T3 dans le tableau 1). L'état final visé par chaque phase c'est à dire le but, ainsi que l'Intentionnalité qui porte chaque but sont identifiés par le chercheur à travers les propos tenus par Zoé. Les buts sont codés B1, B2, B3 et les Intentionnalités sont exprimées en italique (►).

phases/modalités	déroulé effectif	Tâches élèves – buts- Intentionnalités
1 : « je m'interroge » collectif oral	- Zoé questionne les élèves : « qu'est-ce que c'est le vent pour vous ? ... »	T1 : exprimer l'état de ses connaissances B1 : faire émerger que « le vent c'est de l'air qui bouge » ► <i>pour centrer les élèves sur la notion d'air (Intentionnalité d'impliquer les élèves I_{IMP})</i>
2 : « J'expérimente » groupes de 4	- les élèves découvrent le matériel - les élèves manipulent le matériel / expérimentent librement - discussion collective sur l'expérience : souffler dans l'eau avec la paille - nouveau temps d'expérimentation - discussion collective sur l'expérience du mouchoir - dernier temps d'expérimentation	T2 : manipuler/expérimenter, se questionner librement B2 : faire émerger deux ou trois expériences pertinentes ► <i>pour « montrer que l'air existe » (Intentionnalité de faire construire du savoir sur le concept d'air I_{SAV})</i>
3 : « je retiens » individuel	- les élèves recopient les schémas des expériences mises en valeur pendant la séance	T3 : dessiner les expériences jugées pertinentes par PE B3 : garder une trace écrite ► <i>« pour mémoriser et y revenir » (Intentionnalité d'organiser la trace écrite, et la séquence I_{ORG})</i>

Tableau 1 : plan de séance

Zoé précise lors de l'entretien *ante* vidéo que la structure de cette séance est celle habituellement mise en œuvre en situation d'ESFI, elle est proposée par le manuel qui indique « respecter la démarche scientifique et d'investigation ». Nous constatons que les questions posées en phase 1 visent à répondre à la question « qu'est-ce que le vent ? », en faisant émerger la définition : « le vent c'est de l'air qui bouge ». Pour mettre au travail le concept d'air, Zoé utilise donc simultanément les termes de *vent* et d'*air*, définissant le premier concept à partir du second sans jamais orienter spécifiquement le questionnement sur le concept d'air. Ici, l'enseignante souligne sa volonté de partir du quotidien des élèves. Pour elle en effet, le fait que les élèves identifient le vent à travers un rituel de classe sur la météo est une entrée concrète pour mettre au travail le concept d'air. Des propos de Zoé, nous reconstruisons une Intentionnalité d'impliquer les élèves (I_{IMP}). C'est à dire une Intentionnalité de capter leur attention, de leur permettre de s'exprimer et de se concentrer et non une Intentionnalité de les impliquer intellectuellement dans la construction d'un questionnement selon une perspective socio-constructiviste. Nous constatons ensuite que Zoé utilise le terme

d'*expérimentation* comme synonyme d'*investigation*. L'exemple le plus flagrant s'exprime à travers le propos : « comme tu veux voir l'expérimentation [...] », qui révèlent son interprétation de la demande du chercheur de voir une séance fondée sur l'investigation. Pour terminer, remarquons les différentes Intentionnalités indiquées dans le tableau 1 : Intentionnalité d'organiser (I_{ORG}), Intentionnalité d'impliquer les élèves (I_{IMP}) et Intentionnalité de faire progresser le savoir (I_{SAV}). C'est la reconstruction de la dynamique de cette dernière catégorie que nous présentons maintenant.

Dynamique intentionnelle concernant le savoir en jeu

Pour mettre au jour les transformations de I_{SAV} en i_{SAV} , nous extrayons des données les invariants opératoires portés par l'intention d'enseigner-faire apprendre des savoirs sur l'air, et les regroupons selon leur niveau d'opérationnalité.

État initial

Le tableau 2 ci-dessous présente de manière réduite et condensée, une reconstruction des invariants opératoires de Zoé et des Intentionnalités qui les portent aux niveaux macroscopique et mésoscopique de l'organisation de son activité. Les codes entre parenthèses correspondent au numéro attribué à chaque extrait selon qu'il provienne de l'entretien *ante* vidéo (EA) ou de l'entretien *post* vidéo (EP).

Propos de Zoé	Reconstructions du chercheur
<p>- « je trouve là en fait il n'y a pas de choses à apprendre [...] l'air existe autour de nous il est invisible et n'a pas d'odeur » (EA 76)</p> <p>- « l'air c'est quand même un concept compliqué puisque c'est quelque chose qu'on voit pas qui se sent pas ni matériellement ni visuellement ça n'a pas d'odeur [...] c'est quelque chose qui est partout autour de nous » (EP 20)</p>	<p>- Je pense qu'il n'y a pas beaucoup de choses à apprendre sur l'air</p> <p>- Je pense que le concept d'air est compliqué</p> <p>► I_{SAV} niveau mésoscopique</p>
<p>- « c'est pas ça qui me plaisait quand je faisais des sciences [...] c'était voilà les manipulations comprendre des choses » (EA 70) ; « et moi justement je voudrais faire des sciences comme j'ai appris à en faire en fait et comme ça me plaît » (EA 90)</p> <p>- « je les [les élèves] vois pas apprendre par cœur leur leçon là, la répéter comme on fait par exemple pour les mots d'orthographe ou des choses comme ça » (EA 78)</p>	<p>- Il est pertinent de manipuler pour comprendre</p> <p>► I_{SAV} niveau macroscopique</p> <p>- Il n'est pas pertinent d'apprendre une leçon de sciences par cœur</p> <p>► I_{SAV} niveau macroscopique</p>
<p>- « on leur apprend plein de choses en les laissant faire ça [expérimenter librement] (EA 55) »</p> <p>- « parce que c'est là où ils se posent des questions c'est là où ils cherchent il faut leur donner la possibilité que ça émerge, si on donne toujours la réponse euh il n'y a pas de enfin de créativité » (EA 36)</p>	<p>- Il est pertinent de laisser les élèves chercher, expérimenter librement, se questionner</p> <p>► I_{SAV} niveau macroscopique</p>

Tableau 2 : reconstruction d'invariants opératoires aux niveaux macroscopique et mésoscopique

Comme le montre le tableau 2, nous reconstruisons davantage d'invariants opératoires au niveau macroscopique que d'invariants opératoires au niveau mésoscopique. Les invariants opératoires au niveau macroscopique révèlent un arrière-plan épistémologique teinté de socio-constructivisme. Zoé semble en effet accorder de l'importance à laisser les élèves chercher, se questionner et expérimenter. En outre, elle semble privilégier la *compréhension* des savoirs plutôt que l'*apprentissage* de savoirs, ce que nous interprétons comme une Intentionnalité de faire *construire* des connaissances plutôt que d'apporter des savoirs impersonnels de type propositionnels. Nous

remarquons en revanche, que Zoé n'exprime pas de nécessité à faire émerger explicitement les obstacles épistémologiques des élèves dans l'optique de travailler à leur dépassement. Ainsi, bien que l'enseignante juge le concept d'air « compliqué », elle précise qu'il y a peu de choses à savoir sur l'air. Nous constatons au niveau mésoscopique que Zoé ne donne aucune précision sur les difficultés conceptuelles attendues, ni aucune stratégie possible pour dépasser les obstacles épistémologiques des élèves concernant le concept d'air. Regardons ce qu'il se passe au niveau microscopique.

Incident critique : l'expérience du mouchoir

Lors de la phase d'expérimentation, les élèves sont invités à réaliser *l'expérience du mouchoir* proposée par un camarade. Cela consiste à mettre un mouchoir au fond d'un verre et à enfoncer ce verre à l'envers dans un baquet d'eau. En ressortant le verre du baquet les élèves doivent remarquer que le mouchoir n'est pas mouillé. Zoé passe de groupe en groupe pour vérifier que tous réalisent l'expérience proposée puis elle questionne les élèves sur ce qu'ils font, ce qu'ils observent et sur ce qu'ils en concluent, comme le montre l'extrait de transcript ci-dessous.

Extrait de transcript 1 :

Z = Zoé, E = élève (indifféremment identifié)

Z : « vous regardez comment il [le mouchoir] est? il est sec! Plonge à l'envers, maintenant regarde dedans, est-ce qu'il est tout mouillé?

E : nan !

Z : Pourquoi y a pas plein d'eau qui est rentrée dans le verre?

E: le pot il est grand et l'eau elle est petite

Z: parce que dedans il y a de l'air ! »

La proposition de l'élève, ci-dessus en surépaisseur, constitue pour Zoé un indice de son raisonnement et l'entretien post-vidéo révèle les inférences que Zoé est amenée à faire sur ce qu'il pense : « Au tout départ je comprends pas ce qu'il veut dire, il est petit il est grand je sais pas quoi, après j'ai compris qu'en fait il voulait dire que l'eau il y en avait pas assez pour recouvrir le verre et que du coup elle pouvait pas aller jusqu'au fond, le verre il dépassait de la surface de l'eau » (EP 115). Zoé explique alors comment elle traite ces informations :

Propos de Zoé	Invariants opératoires reconstruits par le chercheur
- « en fait quand j'ai compris je me suis dit [...] parce que j'étais pas sûre de réussir à lui montrer, parce que je crois que mon verre j'avais jamais réussi à le remplir complètement en le mettant de côté, donc je me suis dit si j'essaye de lui montrer et que ça marche pas ben ça va rien lui prouver du tout » (EP 116)	- Je pense qu'une expérience ça doit prouver quelque chose ► i_{SAV} niveau microscopique
- « donc j'essaie pas de lui prouver que ce qu'il raconte c'est faux et du coup je vais donner la réponse en fait, [...] je me suis dit au moins il aura la raison et ça fera son chemin » (EP 119)	- Il est parfois pertinent d'apporter le savoir ► i_{SAV} - Je pense que l'élève comprendra plus tard ► i_{SAV} niveau microscopique

Tableau 3 : reconstruction d'invariants opératoires aux niveaux microscopique

Le tableau 3 montre qu'à ce niveau microscopique de l'organisation de l'activité, Zoé évalue une première stratégie : refaire elle-même l'expérience en penchant le verre pour qu'il soit totalement immergé, afin de montrer à l'élève que son interprétation n'est pas correcte. Elle considère finalement cette stratégie risquée et préfère apporter elle-même la conclusion : le mouchoir n'est pas mouillé parce qu'il y a de l'air dans le verre. A ce moment précis, l'invariant qui guide l'activité de Zoé est que *l'expérience doit prouver que l'air existe*. Autrement dit, l'expérience doit permettre

de conclure la séance, et non de discuter les ambiguïtés de la compréhension. Or, dans une perspective constructiviste c'est cette discussion, pouvant prendre la forme d'un débat, qui permet de mettre en relation le monde des objets et des phénomènes d'une part, et l'élaboration théorique d'autre part, c'est à dire, de construire des *savoirs conceptuels* sur l'air (Hasni, 2011). Le positionnement épistémologique de Zoé semble donc avoir basculé d'un paradigme constructiviste à un paradigme ontologique dans lequel la connaissance est impersonnelle et extérieure aux élèves.

Discussion conclusive

Le cadre théorique et la méthodologie construits pour cette recherche exploratoire s'appuient sur la complémentarité de deux champs académiques connexes : la didactique des sciences abordée par un modèle dynamique des intentions centré sur une approche phénoménologique du didactique, et la didactique professionnelle à travers la mise au travail du concept de schème qui permet de prendre en compte la conceptualisation dans l'action. Les résultats obtenus dans l'étude de cas présentée ici confirment le constat posé par Amade-Escot et Venturini (2009) selon lequel les enseignants agissent dans une interférence d'intentions. Ils amènent en outre à dépasser ce constat puisque notre cadre d'analyse permet d'identifier les intentions de l'enseignante, de les catégoriser et de les articuler à ses buts, mais aussi et surtout, à ses invariants opératoires. Ce cadre permet enfin de définir les niveaux d'opérationnalité des invariants opératoires de l'enseignante, et par là-même, de préciser le grain des intentions qui les sous-tendent (I aux niveaux macro et mésoscopiques, i au niveau microscopique). La reconstruction spécifique de la dynamique des *intentions de faire progresser le savoir* montre alors, dans le cas de Zoé, que son activité s'organise selon un paradigme constructiviste au niveau macroscopique, et selon un paradigme ontologique au niveau microscopique. Ce changement de paradigme a pour conséquence la valorisation d'un savoir de type définitionnel et non conceptuel, ce qui fait écho à Perron *et al.* (2020) qui pointent l'absence de savoirs conceptuels lors de mises en œuvre d'enseignements fondés sur l'investigation. Nous avançons donc pour conclure, que la reconstruction de cette dynamique intentionnelle révèle le conflit paradigmatique (Jonnaert, 2002) dans lequel opère Zoé sans s'en apercevoir. Pour le dire autrement, cette reconstruction de la dynamique intentionnelle de I_{SAV} révèle une incohérence épistémologique au cœur du schème de conduite de l'enseignement-apprentissage de cette enseignante. Soulignons bien cependant, que l'incohérence se situe dans *le passage* du macroscopique au microscopique et non à l'échelle d'un niveau, où nous avons pu constater que les actes de Zoé sont cohérents avec sa conceptualisation de la situation.

Dans une perspective de développement professionnel et étant donné le peu d'invariants opératoires reconstruits au niveau mésoscopique, quelques questions suggèrent des prolongements à cette recherche. Tout d'abord, Zoé n'a exprimé aucune stratégie pour construire le concept d'air - ni sous forme d'invariants opératoires, ni sous forme de retour d'expérience - cela indique-t-il qu'elle n'a pas connaissance des obstacles épistémologiques en jeu ? Dans ce cas nous pouvons nous demander si la ressource utilisée pointe clairement ces obstacles et propose des stratégies explicites en termes d'intentionnalités pour les dépasser. Ensuite, l'assimilation entre investigation et expérimentation que nous avons constatée chez Zoé, constitue-t-elle un indice de ce conflit paradigmatique ? Et cette assimilation est-elle induite par la ressource ? Enfin, demandons-nous pourquoi l'expérience de Zoé ne lui a, semble-t-il, pas permis de développer d'invariants opératoires au niveau mésoscopique, et comment procéder alors pour y parvenir ?

Bibliographie

- Amade-Escot, C., & Venturini, P. (2009). Le milieu didactique : d'une étude empirique en contexte difficile à une réflexion sur le concept. *Education et didactique*, 1(3), 7-44.
- Boilevin, J.-M. (2013). La place des démarches d'investigation dans l'enseignement de la science. Dans M. Grangeat (dir.), *Le travail collectif des enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : formations, pratiques, effets* (pp. 23-44). Presses universitaires de Grenoble.
- Cahour, B., Licoppe, C., & Créno, L. (2018). Articulation fine des données vidéo et des entretiens d'auto-confrontation explicite : étude de cas d'interactions en covoiturage. *Le travail humain*, 81(4), 269-305.
- Cross, D. (2010). Action conjointe et connaissances professionnelles de l'enseignant. *Education & Didactique*, 4(3), 36-60.
- Hasni, A. (2011). Problématiser, contextualiser et conceptualiser en sciences : point de vue d'enseignants du primaire sur leur pratique de classe. In A. Hasni & G. Baillat (Dir.), *Pratiques d'enseignement des sciences et technologies : Regards sur la mise en oeuvre des réformes curriculaires et sur le développement des compétences professionnelles des enseignants* (pp. 105-40). Reims: Éditions et Presses Universitaires de Reims.
- Jameau, A. (2021). *Un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique. Mise en relation d'éléments théoriques et méthodologiques en didactique de la physique et en didactique professionnelle*. Note de synthèse pour l'Habilitation à diriger des recherches. Université de Bretagne Occidentale.
- Jonnaert, P. (2002). Recherches collaboratives et socioconstructivisme. Dans P. Venturini, C. Amade-Escot et A. Terrisse (dirs.), *Études des pratiques effectives : l'approche des didactiques* (p. 175-196). Grenoble : La pensée sauvage.
- Margolinas, C., & Laparra, M. (2011). Des savoirs transparents dans le travail des professeurs à l'école primaire. Dans J.-Y. Rochex & J. Crinon (dirs.), *La construction des inégalités scolaires*. (pp.19-32). Presses universitaires de Rennes.
- Marlot, C., & Morge, L. (2016). L'investigation scientifique et technologique : comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire. Rennes : Presses Universitaire de Rennes.
- Masselot P., et Robert, A. (2007). Le rôle des organisateurs dans nos analyses didactiques de pratiques de professeurs enseignant les mathématiques. *Recherche et Formation* 56, 15-31.
- Pacherie, E. (2003). La dynamique des intentions. *Dialogue*, 42.
- Portugais, J. (1999). L'Intentionnalité et le cognitif. Dans F. Conne & G. Lemoyne (dirs.), *Le cognitif en didactique des mathématiques* (pp.71-102). Presses de l'Université de Montréal.
- Lenoir, Y., et Pastré, P. (dir). (2008). Didactique professionnelle et didactiques disciplinaires en débat : un enjeu pour la professionnalisation des enseignants. Toulouse : Octarès.
- Perron, S., Hasni, A., & Boilevin, J.-M. (2020). L'absence de savoir conceptuel lors de démarches d'investigation scientifique mises en œuvre en classe : une crainte devenue réalité?, *Recherches en éducation*, 42.
- Venturini, P. (2012). Action, activité, « agir » conjoints en didactique : discussion théorique, *Éducation et didactique*, 1(6), 127-136.
- Vergnaud, G. (1994). Le rôle de l'enseignant à la lumière des concepts de schème et de champ conceptuel. Dans M. Artigue & R. Gras (dirs.), *Vingt ans de didactique des mathématiques en France. Hommage à Guy Brousseau et à Gérard Vergnaud* (pp. 177-191). La Pensée Sauvage.



AUDE CAUSSARIEU

LES PHYSIENS ET LES
MATHEUX NE PARLENT PAS
LE MÊME LANGAGE
MATHÉMATIQUE

LES PHYSIENS
SONT MOINS FOURBES:
SI ON VOUS FAIT CHERCHER
UN MINIMUM, C'EST QU'IL
Y EN A UN !

ln vs log

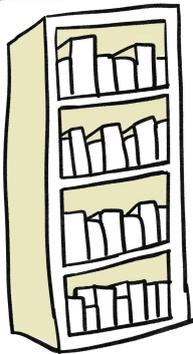
*"COORDONNÉES" VS
"COMPOSANTES"*

*COMMENT ÇA,
VÉRIFIER LA
CONTINUITÉ?!!*

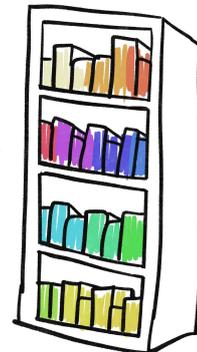
MAÏS COQ 2022 @
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

UNE PHYSICIENNE ET UNE MATHEUSE VIVENT ENSEMBLE

J'AI TOUT CLASSÉ
PAR THÉMATIQUES
ET ORDRE ALPHABÉTIQUE



ET MOI
PAR COULEUR !



MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
02 MAI - 3 JUIN 2022

Quelles mathématiques en physique ?

Une approche praxéologique

Résumé : Cette communication présente l'analyse du savoir mathématique en jeu dans 1148 QCM de mathématiques pour la physique-chimie. En croisant la théorie anthropologique du didactique et le cycle de la modélisation, on a reconstruit une organisation de 50 complexes praxéologiques. Leur étude montre que les mathématiques pratiquées en classe de physique ne sont pas celles pratiquées en mathématiques : différences de notations, d'objets manipulés, de techniques utilisées et même de types de tâches pratiquées.

Mots-clé : mathématiques pour la physique ; complexe praxéologique ; modélisation ; exercices

Introduction

La majorité des étudiant·es en première année de licence scientifique ne poursuivent pas leurs études dans cette filière car ils ne valident pas leur année (Lefebvre, 2013). Les difficultés des étudiant.es en sciences sont fortement corrélées à leurs difficultés en mathématiques (Meltzer, 2002; Sadler & Tai, 2001).

Par ailleurs, les travaux sur le transfert montrent que lorsque les étudiant.es maîtrisent un savoir-faire en mathématiques, ils et elles ont en général peu de difficulté à le transposer dans un contexte de physique. L'échec à utiliser un outil de mathématiques en contexte de physique est en général corrélé à la non maîtrise de ce savoir-faire dans le contexte de mathématiques (Bassok & Holyoak, 1989; Hoban et al., 2013; Potgieter et al., 2008).

Ce constat explique pourquoi de nombreuses universités et écoles post-bac françaises mettent en place des dispositifs de positionnement et/ou de remédiation en mathématiques (Tardy, 2020). En général, ces dispositifs portent sur les mathématiques telles qu'elles ont été enseignées dans le programme de mathématiques du lycée. Ces dispositifs reposent donc sur l'hypothèse que les mathématiques dont on a besoin en physique sont les mêmes que celles enseignées dans le cours de mathématiques du lycée. C'est dans ce contexte qu'ont démarrés les travaux du groupe Maths4Sciences.

Le projet Maths4Sciences

Le projet Maths4Sciences a réuni une dizaine d'enseignant.es de mathématiques, de physique et de chimie - du secondaire et du supérieur - pour produire des ressources de remédiation en mathématiques pour les sciences. Ce projet a démarré en 2017 et s'est déroulé sur une durée de 4 ans grâce à différents financements (Unisciel, Institut Français de l'éducation, Région ARA) et le soutien de différents établissements (ENS de Lyon et Institut Villebon Charpack).

Les enseignant.es de ce projet se sont réuni.es environ une fois par mois sur toute la période pour analyser et produire des ressources numériques de remédiation. Ils et elles ont produit 1148 exercice de type question à choix multiple (QCM) ainsi que 57 fiches méthodes. Toutes ces ressources sont mutualisées via Unisciel.

Le projet était animé et coordonné par l'autrice de cette communication qui avait la casquette de chercheuse en didactique. Son rôle était - entre autres - d'éclairer les échanges avec de la bibliographie ainsi que d'orienter et de documenter le projet.

La problématique

Au départ des travaux du groupe Maths4Sciences, les enseignant.es utilisaient les noms d'objets mathématiques comme « le logarithme », « les fractions » ou bien « le théorème de Pythagore » pour communiquer. Plusieurs incidents ont permis de déceler que ces objets recouvraient des implicites différents pour les enseignant.es de mathématiques et celles et ceux de sciences.

L'un des exemples les plus représentatifs a eu lieu lors de la première année du projet. Nous avons échangé lors de la séance sur les utilisations du logarithme dans les exercices de physique et de chimie. Il avait été alors décidé que l'un des enseignant de mathématiques produirait quelques QCM simples sur le sujet pour la séance suivante. Lorsque les enseignant.es de sciences ont découvert l'une des questions en séance (voir figure 1), leur réaction fut de penser qu'il y avait une erreur dans la question. En effet, en physique et en chimie, on utilise systématiquement le logarithme en base 10 (noté log) lorsque l'on manipule les puissances de 10. Dans la classe de physique-chimie, les élèves doivent savoir que $\log(1000) = 3$. Il a fallu que l'enseignant de mathématique explique que l'exercice portait sur une décomposition en nombres premiers, et que c'était usuel en classe de mathématique, pour que la situation se clarifie.

Quelle est l'expression simplifiée de $\ln(1000)$?

- 3
- $3 \ln(10)$
- $3 \ln(5) + 3 \ln(2)$

Figure1 : Exemple de question à choix multiple produite par un enseignant de mathématique sur le thème des logarithmes.

La répétition de ce type de situations nous a donc amenés à chercher une façon plus précise de décrire les mathématiques dont on a besoin en cours de physique ou de chimie. Nous avons donc posé la question de recherche suivante : « Quelles sont les mathématiques que l'on utilise en physique-chimie ? ».

Pour répondre à cette question il faut se doter d'outils pour décrire et catégoriser les mathématiques utilisées en physique-chimie.

Les cadres théoriques

Nous avons eu recours à deux cadres théoriques : la théorie anthropologique du didactique avec en particulier la notion de complexe praxéologique et la modélisation en physique-chimie.

La théorie anthropologique du didactique

La théorie anthropologique du didactique a été développée dans le champ de la didactique des mathématiques par Yves Chevallard (Chevallard, 1991). L'une des idées fortes est que les savoirs sont des constructions humaines dans le but de *faire* quelque chose. Ainsi, le théorème de Pythagore permet par exemple de calculer des longueurs ou bien de construire un angle droit.

Dans le cadre de cette théorie, Chevallard propose de décrire les objets de savoir en utilisant la notion de complexe praxéologique. L'idée est de partir d'une tâche que l'élève (ou plus généralement une personne) réalise.

Illustrons cette idée sur un exemple : un exercice demande aux élèves de calculer la longueur manquante d'un triangle rectangle EFG de côtés de mesure 3 et 4. Cette tâche t appartient au type de tâche T : « trouver une longueur manquante dans un triangle rectangle ». Pour réaliser cette tâche, on va utiliser une technique τ (« identifier l'hypoténuse, écrire l'égalité entre le carré de l'hypoténuse et la somme des carrés des deux autres côtés, isoler la grandeur recherchée et mener les calculs ») et une technologie θ : le théorème de Pythagore. C'est le théorème de Pythagore qui justifie la technique utilisée. Le théorème de Pythagore peut lui même être justifié dans le cadre de la théorie Θ : la géométrie euclidienne.

Dans le cadre de la théorie anthropologique du didactique, nous venons de construire un complexe praxéologique constitué du quadruplet $(T, \tau, \theta, \Theta)$. Une même technologie peut être utilisée pour plusieurs types de tâches différentes. Ce concept assure le besoin que nous avons de décrire le fait que la propriété du logarithme $\ln(ab^n) = \ln(a) + n\ln(b)$ peut être utilisée pour réaliser différents types de tâches.

La définition d'un type de tâche, d'une technique et d'une technologie conduit à ce que l'on rencontre souvent sous le nom de savoir-faire en pédagogie ou bien de capacité dans les programmes du lycée.

Le cadre de la modélisation en physique-chimie

L'analyse des types de tâches mathématiques que l'on rencontre en cours de physique conduit à une sorte de liste à la Prévert de complexes praxéologiques. Nous avons eu besoin de les regrouper pour rendre intelligible et opératoire cette liste. Le modèle de la modélisation en physique tel que développé par Redish & Bing (2009) a permis de réaliser de manière opératoire l'agrégation des complexes praxéologiques.

Dans ce modèle, Redish et Bing décomposent la démarche de modélisation en physique en quatre grandes étapes : (1) la construction d'un modèle mathématisé de la situation physique étudiée, (2) la manipulation de ce modèle mathématisé pour obtenir une expression exploitable d'une grandeur d'intérêt, (3) l'exploitation de cette expression mathématiques, (4) et sa comparaison aux données expérimentales.

La méthodologie et les données utilisées

La recherche basée sur la conception de ressources

Cette recherche n'a pas été menée en partant d'une problématique obtenue de manière déductive au sein d'un cadre théorique mais à partir d'un travail de conception de ressources avec des enseignant.es. Cette approche garantit d'une part que la problématique soulevée part du terrain et d'autre part que la réponse apportée soit opératoire pour le groupe d'enseignant.es impliqué.es dans le projet. Dans le cadre d'une recherche basée sur la conception de ressources, l'objectif est aussi de construire une théorie « humble » (Cobb et al., 2003). Ici l'enjeu était de théoriser les différences entre les mathématiques du cours de mathématiques et celles utilisées dans le cours de physique.

La méthodologie des théories ancrées

L'analyse des données récoltées s'est faite selon la méthodologie des théories ancrées développée par Strauss & Corbin (1998). Il s'agit d'une approche de recherche qualitative inductive basée sur la comparaison systématique d'un corpus de données. Il est possible de partir de catégories existantes, mais l'idée est de produire de nouvelles catégories en explicitant les critères de catégorisation en même temps que l'on catégorise et que l'on acquière de nouvelles données.

Les données

Les données utilisées pour construire la liste des complexes praxéologiques et leur organisation dans le cadre de la modélisation sont les 1148 exercices de type question à choix multiples rédigés pendant le projet.

Ces exercices sont constitués d'une consigne, de plusieurs propositions, d'une explication générale et d'explications spécifiques. Environ un tiers de ces exercices ont été rédigés par des enseignant.es de mathématiques du secondaire dans un contexte de mathématiques. Le reste des exercices a été rédigé par des enseignant.es de physique ou de chimie (secondaire ou supérieur) dans un contexte de sciences.

L'ensemble des exercices porte sur des outils mathématiques qui sont vus dans l'une des filières du secondaire (collège ou lycée) et qui sont utilisés dans les cours de physique-chimie du lycée ou de physique de l'enseignement supérieur. Ces exercices ont été conçus après que les enseignant.es avaient analysé des exercices de physique ou de chimie qu'ils utilisaient en classe. Le fait que ce travail a été réalisé avec une dizaine d'enseignant.es sur une période de 4 ans garantit globalement la couverture des besoins.

Ces exercices sont rédigés avec la chaîne éditoriale scenari qui possède certaines propriétés des bases de données. Il a ainsi été possible d'utiliser des métadonnées directement dans l'outil auteur pour catégoriser ces exercices et les retrouver automatiquement ensuite.

Résultats

Une liste de complexes praxéologiques identifiés et regroupés en 4 catégories

L'utilisation de ces deux cadres théoriques (la praxéologie et la modélisation) nous a permis d'identifier 50 complexes praxéologiques différents définis à chaque fois par le type de tâche et la technologie visés. Les types de tâches ont ensuite été agrégés selon l'étape du modèle de la modélisation pour laquelle le type de tâche est utilisé : modéliser une situation, manipuler une expression littérale, faire parler une expression littérale, analyser des données. Nous n'avons pas été rechercher la théorie qui serait à mobiliser pour justifier l'utilisation de la technologie dans une technique donnée. En effet, les enseignant·es du projet considéraient que ces justifications n'étaient pas nécessaires pour assurer la réussite des étudiant·es.

Cette catégorisation des types de tâches identifiées dans les exercices de physique et de chimie permet de voir qu'une même technologie peut être utilisée dans des techniques différentes pour des types de tâches différents. C'est le cas par exemple de la dérivée que nous illustrons dans le tableau ci-dessous. L'identification des techniques associées nous a permis de construire des fiches méthodes pour la remédiation.

Domaine (modélisation)	Type de tâche	Technique (en classe de physique ou de chimie)	Technologie
Modéliser	Traduire un énoncé définissant une grandeur par le taux de variation d'une autre grandeur *	1. Identifier la grandeur qui varie (rôle de f en maths) et la grandeur qui la fait varier (rôle de x en maths) 2. Écrire la relation en utilisant la notation physique de la dérivée	Dérivée
Manipuler	Trouver l'expression d'une grandeur définie par une dérivée à partir de son expression littérale	1. Identifier la grandeur qui joue le rôle de variable 2. Reconnaître une structure dans l'expression de la grandeur 3. Appliquer les règles de calcul des dérivées	Dérivée
Faire parler une expression	Étudier les variations d'une grandeur et en particulier la présence ou non d'un extremum à partir de son expression littérale	1. Identifier la grandeur qui joue le rôle de variables 2. Reconnaître une structure dans l'expression de la grandeur 3. Appliquer les règles de calcul des dérivées 4. Chercher la valeur de la variable qui rend la dérivée nulle	Dérivée
Analyser des données	Lire un graphe en interprétant sa pente pour trouver par exemple la valeur de la variable qui rend maximal le taux de variation	1. Traduire la question en une condition sur la pente de la tangente (positive, négative, nulle, ...) 2. Représenter différentes tangentes et chercher progressivement le point qui vérifie la condition recherchée 3. Lire l'abscisse de ce point et conclure	Dérivée

Tableau 1 : Illustration de différents complexes praxéologiques associés à la technologie « dérivée ». * La première ligne correspond à un complexe praxéologique dont nous avons postulé l'existence mais qui n'a pas été observé dans les exercices étudiés.

En regroupant ensemble les types de tâche qui permettent de réaliser une action « similaire », nous pouvons présenter une version condensée de ce référentiel organisée autour de la modélisation comme illustré dans la figure 2.

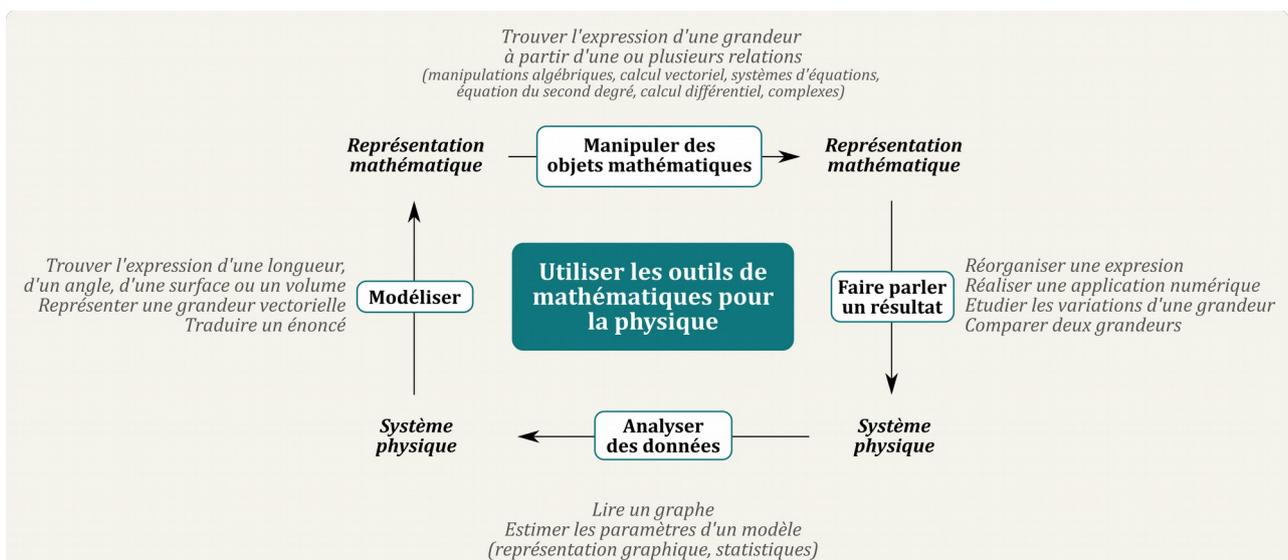


Figure 2 : Organisation des types de tâches autour du cycle de la modélisation.

Deux mathématiques

Ce travail nous a confirmé que les mathématiques utilisées en cours de physique-chimie ou de physique différaient de celles utilisées en cours de mathématiques. Nous avons listé 4 grandes différences qui ne sont évidemment pas toutes présentes pour chacun des objets mathématiques.

1. Des notations différentes

La différence dans les notations est celle qui apparaît le plus nettement et qui est souvent invoquée pour expliquer les difficultés de transfert pour les élèves et les étudiant.es.

Les notations et le vocabulaire utilisés pour décrire les vecteurs en sont un exemple frappant. En classe de mathématiques, le vecteur est défini par ses coordonnées qui sont définies par analogie avec celles du point dans un plan. En physique on parle historiquement de composantes. L'idée étant de décomposer un vecteur (au départ une force ou une vitesse) dans une base bien choisie. La majorité des vecteurs en physique ne représentent pas des déplacements et ne se représentent donc pas dans le plan (ou l'espace) utilisé en géométrie.

En contexte de mathématiques	En contexte de physique
$\vec{V} = X_v \vec{i} + Y_v \vec{j}$	$\vec{V} = V_x \vec{u}_x + V_y \vec{u}_y$
Coordonnées d'un vecteur	Composantes d'un vecteur

Tableau 3 : Différences de notations illustrées sur le cas des vecteurs

2. Des objets différents

Certains quiproquo entre enseignant.es de sciences et enseignant.es de mathématiques tient au fait qu'ils et elles manipulent des objets de nature différente. Cette différence est bien connue dans la littérature avec le schibboleth de (Dray & Manogue, 1999).

On décrit la température d'une plaque métallique chauffée en son centre par $T(x, y) = k(x^2 + y^2)$. On souhaite écrire T en fonction de r et θ . Qu'écrivez vous ?

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

Les mathématicien·nes manipulent des fonctions qui dépendent de variables muettes. Si l'on change la dépendance fonctionnelle, alors on change de fonction, et donc de nom pour la fonction. Les physicien·nes manipulent des grandeurs qu'ils et elles décrivent avec des relations fonctionnelles. Les lettres ont un sens et il s'agit ici de passer d'une description en coordonnées cartésiennes à une description en coordonnées polaires.

Le fait que les lettres utilisées en physique et en chimie aient un sens et amènent avec elles des propriétés non explicités (r est défini positif par exemple) constitue une grande différence avec l'usage en mathématiques.

3 – Des technologies qui ne sont pas utilisées de la même manière

L'une des forces de l'approche de Chevallard est de permettre de rendre compte du fait qu'une même technologie peut être utilisée dans différentes techniques.

Un exemple qui a surpris le groupe est celui de la technique à utiliser pour déterminer un extremum local dans les variations d'une grandeur. Ce type de tâche se retrouve en classe de mathématiques et

en classe de physique-chimie associée à la même technologie : la dérivée. On voit dans cet exemple illustré à la figure 3 que la technique utilisée en mathématiques n'est pas celle utilisée en physique. La différence s'explique par le fait que le contrat didactique en physique sous-entend qu'on ne demandera pas de chercher un extremum local s'il n'y a qu'un point d'inflexion.

Technique en mathématiques	Technique en physique-chimie
1. Reconnaître une structure dans l'expression de la grandeur (forme fractionnaire, produit de fonctions, ...) 2. Appliquer les règles de calcul des dérivées 3. Chercher la valeur de la variable pour laquelle f' change de signe (dérivée seconde, tableau de variations)	1. Identifier la grandeur qui joue le rôle de variable 2. Reconnaître une structure dans l'expression de la grandeur (forme fractionnaire, produit de fonctions, ...) 3. Appliquer les règles de calcul des dérivées 4. Chercher la valeur de la variable qui rend la dérivée nulle

Figure 3 : Exemple des différences entre les techniques utilisées pour un même type de tâche en mathématiques et en physique-chimie

4 – Des technologies qui ne sont pas utilisées pour faire la même chose

Dans l'exemple précédent, la dérivée est utilisé pour un même type de tâche en physique ou en mathématiques. Cependant, l'exemple du logarithme donné en introduction montre bien que parfois une technologie n'est pas utilisé pour les mêmes types de tâche en mathématiques et en sciences.

Nous avons déjà parlé du logarithme en début de communication. En mathématiques les tâches à réalisées sont souvent associées à de la décomposition de nombres premiers et non pas à isoler une grandeur en utilisant les fonctions réciproques.

Nous retrouvons aussi des différences avec les vecteurs. Comme nous l'avons déjà évoqué, en mathématiques le registre graphique est en général associé uniquement à la représentation de déplacements dans le cadre de la géométrie. En physique, les vecteurs représentés sont majoritairement des grandeurs qui ne sont pas homogènes à une distance.

Conclusion et discussion

La principale conclusion de ce travail est que les mathématiques que l'on fait en physique ne sont pas « simplement » les mathématiques du cours de mathématiques avec des notations différentes. Les différences sont plus profondes et le cadre théorique de la théorie anthropologique du didactique permet de décrire ces différences de manière opérationnelle. Nous défendons ici l'idée que ces différences de notation sont une trace sémiotique de la différence des usages des outils entre nos deux mathématiques. Le cadre de la modélisation en physique-chimie permet d'organiser le savoir mathématique autour de grandes familles de type de tâches, et non dans une approche « encyclopédique » qui partirait du pôle « logos » du savoir. Le cadre de la modélisation couplé à celui de la TAD permet de s'inscrire dans une approche compétences.

Ce travail nous a aussi convaincu.es de l'importance de travailler dans un groupe pluridisciplinaire sur des vrais exercices afin de rendre visible les différences entre les cultures : mathématiques versus physique chimie, physique chimie du lycée versus physique du supérieur.

Enfin, ces travaux conduisent à faire l'hypothèse que la manière la plus efficace de faire de la remédiation pour les étudiant.es en physique n'est peut-être pas de leur faire réviser le programme, ou des extraits du programme de mathématiques du lycée. Il y aurait probablement un intérêt à construire un enseignement des techniques effectivement utilisées en physique. La question de la justification de ces techniques n'a pas été abordée de manière systématique dans notre groupe, mais c'est aussi une des ouvertures de ce travail.

Bibliographie

- Bassok, M., & Holyoak, K. J. (1989). Interdomain Transfer Between Isomorphic Topics in Algebra and Physics. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 14.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique—Du savoir savant au savoir enseigné* (2ème édition). La pensée sauvage.
- Dray, T., & Manogue, C. A. (1999). THE VECTOR CALCULUS GAP : MATHEMATICS ≠ PHYSICS. *PRIMUS*, 9(1), 21-28. <https://doi.org/10.1080/10511979908965913>
- Hoban, R. A., Finlayson, O. E., & Nolan, B. C. (2013). Transfer in chemistry : A study of students' abilities in transferring mathematical knowledge to chemistry. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 44(1), 14-35. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2012.690895>
- Lefebvre, O. (2013). *Réussite et échec en premier cycle* (Note d'information 13-10). Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/reussite-et-echec-en-premier-cycle-47746>
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics : A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. *American Journal of Physics*, 70(12), 1259-1268. <https://doi.org/10.1119/1.1514215>
- Potgieter, M., Harding, A., & Engelbrecht, J. (2008). Transfer of algebraic and graphical thinking between mathematics and chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(2), 197-218. <https://doi.org/10.1002/tea.20208>
- Redish, E. F., & Bing, T. J. (2009). Using Math in Physics : Warrants and Epistemological Frames. *Physics community and cooperation*, 2.
- Sadler, P. M., & Tai, R. H. (2001). Success in introductory college physics : The role of high school preparation. *Science Education*, 85(2), 111-136. [https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200103\)85:2<111::AID-SCE20>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200103)85:2<111::AID-SCE20>3.0.CO;2-O)
- Strauss, A., & Corbin, J. M. (1998). *Basics of Qualitative Research : Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. SAGE Publications.
- Tardy, J. (2020, juillet 23). Unisciel se mobilise pour la rentrée 2020 -n°109. *Unisciel*. <http://www.unisciel.fr/2020/07/23/rentree2020/>



ENSEIGNER, UNE PRATIQUE INTIME ?



MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS EN DIDACTIQUE
00 MAI - 03 JUIN 2022

Qu'apprennent des enseignants de l'observation de leurs pairs ?

Résumé : En Loire-Atlantique, des enseignants ont initié un projet de visites mutuelles appelé « compagnonnage ». Une recherche collaborative est en cours pour analyser le processus de formation et ses effets avec le cadre de la problématisation et celui de la didactique professionnelle. Les premiers résultats de cette recherche mettent au jour les motivations des enseignants à s'engager dans ce type de dispositif, ce qui les intéresse chez leurs collègues et enfin, ce que produit le dispositif en termes de développement professionnel.

Mots-clé : formation continue, didactique des mathématiques, didactique professionnelle.

Introduction : contexte de la recherche

Dans le contexte d'une réflexion sur l'éducation nouvelle en Loire Atlantique, certains membres de mouvements pédagogiques ont initié un projet d'auto-formation basé sur des visites mutuelles qu'ils ont appelé « compagnonnage ». Ce projet rassemble plusieurs enseignants dont trois professeurs de mathématiques de collège. En quoi cet espace de formation diffère-t-il des autres modalités de formation continue en France ? Selon le rapport de l'IG (2018), la formation continue des enseignants du second degré reste problématique en France. Si les attentes sont très fortes du côté des enseignants, le modèle de formation dominant basé sur une formation descendante et disciplinaire ne répond plus aux besoins actuels du métier. Seulement 16% des enseignants français participent à des actions de formation ayant recours à des observations mutuelles contre deux tiers des enseignants anglais où le modèle des *lesson studies* s'est largement généralisé. De même, les enseignants français consacrent une heure de moins au travail d'équipe que la plupart des autres pays européens. Parmi les recommandations du CNEC (Mons et al., 2021), certaines font écho au projet compagnonnage comme le fait d'adosser la formation à la recherche pour soutenir des communautés apprenantes et développer des projets de recherche d'équipes mixtes de chercheurs et de praticiens. Une recherche collaborative regroupant des enseignant.e.s et deux chercheuses (l'une en didactique des mathématiques et l'autre en didactique professionnelle) s'est mise en place dans le but de comprendre comment les enseignants peuvent se former dans un collectif et quelles conditions sont favorables au développement des compétences professionnelles. L'objet de cette communication est de présenter cette démarche de recherche ainsi que les premiers résultats qui concernent les motivations des enseignants à s'engager dans ce type de dispositif, ce qui intéresse les enseignants chez leurs collègues et ce que produit le dispositif en termes de développement professionnel.

Démarche et méthodologie de recherche

Une recherche collaborative pour favoriser le développement professionnel

Les recherches impliquant la participation de professionnels s'inscrivent dans des champs vastes et s'appuient sur des fondements divers mais semblent se référer aux travaux de Dewey (2011) et de Lewin (1946) (cités par Vinatier & Morrissette, 2015). Elles s'apparentent aux « recherches orientées

par la conception » (*design-based-research*) qui promeuvent notamment l'idée d'une recherche appliquée, c'est-à-dire ayant des visées pragmatiques. Elles ont pour caractéristique d'être mises en œuvre de manière contractuelle « avec » les praticiens et non pas « sur ». Dans le domaine de la recherche sur l'enseignement, le développement de recherches impliquant les professionnels, notamment au Canada, se nourrit d'une critique de la recherche universitaire, jugée trop éloignée de la pratique et se justifie par les préoccupations de produire des connaissances pertinentes dans un champ professionnel. Dans notre démarche, ces recherches collaboratives visent à la fois à produire des connaissances (finalité heuristique) sur l'activité analysée et à repérer par l'analyse, les formes que peut prendre le développement professionnel des participants (finalité praxéologique) (Vinatier, 2012). Nous reprenons ici la définition de développement donnée par Mayen & Olry (2012) : ils définissent le développement « *comme la transformation des relations qu'une personne entretient avec son environnement* », la « *transformation de la place qu'on occupe dans et par rapport à cet environnement, des activités possibles avec lui, des capacités pour agir, des modes de pensée, de raisonnement et d'action, des formes de relation avec les autres* », enfin il est « *lié à l'évolution d'une certaine manière de se percevoir et de se percevoir de manière satisfaisante [...] et engendrant des effets également gratifiants : reconnaissance, extension et développement des capacités et du champ des actions possibles, découverte et mobilisation de modes de raisonnement, de connaissances et d'usages du corps et de la pensée, intérêt pour apprendre, appartenance à des groupes nouveaux, position sociale assumée différente* » (Mayen, Olry, 2012, p. 92).

Le croisement de deux cadres théoriques

Une recherche récente dirigée par Doussot a permis de comprendre comment se développe le regard didactique des enseignants et quelles conditions peuvent favoriser ce développement en formation initiale. L'analyse des pratiques des enseignants débutants a été menée en utilisant le cadre de l'apprentissage par problématisation (CAP) dans lequel la pratique enseignante est considérée comme la solution apportée à un problème construit par le professionnel (Fabre, 2006; Grau, 2021; Hersant, 2020). Des études de cas ont permis de mettre en évidence certaines conditions favorables à une évolution du registre explicatif (REX) considéré comme le paradigme dans lequel l'enseignant construit le problème, modélise, explique et justifie ses choix, délimite le « en question » et le « hors question ». Une évolution du REX est alors l'indicateur d'un effet de la formation sur les représentations de l'enseignant. Parmi ces conditions favorables, des temps d'analyse réflexive collective dans un cadre théorique semblent être un facteur déterminant. Il nous est alors paru intéressant d'analyser dans ce même cadre les pratiques d'enseignants en formation continue de type « compagnonnage » pour mesurer les effets de cette formation sur le registre explicatif qu'ils mobilisent et en particulier pour comprendre les effets sur le développement d'un regard didactique chez les enseignants. Par regard didactique, nous désignons le fait que l'enseignant, sur les trois temps que sont la préparation, la mise en œuvre et l'analyse réflexive, tient compte de contraintes didactiques – contraintes du savoir qui est enseigné. Pour mesurer cette évolution, nous nous appuyons sur ce que les enseignants prennent en considération parmi toutes les données de la situation et ce qu'ils disent de ces choix pour tenter de reconstruire le problème qu'ils cherchent à résoudre. Plusieurs éléments interviennent : les buts, les prises d'information, les actions, les régulations (Froger, 2005). N'ayant pas accès à la classe, nous nous appuyons sur les écrits, les échanges en réunion, l'entretien d'auto-confrontation, pour identifier les nécessités, les conditions dans lesquelles se fait cette problématisation. Par ailleurs nous reprenons les différentes composantes de l'activité enseignante développées dans la théorie de la double approche didactique et ergonomique de Robert et Rogalski (2002) pour séparer les composantes personnelle, institutionnelle, sociale des

composantes dans lesquelles se développe le regard didactique que sont les composantes médiative et cognitive.

La didactique professionnelle, champ théorique initié par Pastré (2002) qui vise l'analyse de l'activité pour la formation, constitue, de notre point de vue, une ressource pour accéder aux savoirs incorporés des enseignant.e.s et aux savoirs nouveaux qu'ils développent dans les dispositifs de visites mutuelles. A l'origine de la didactique professionnelle, Vergnaud (1996) a développé l'idée que la conceptualisation prend sa source dans l'action et que la forme opératoire de la connaissance précède sa forme prédicative. Il mobilise, à la suite de Piaget, le concept de schème entendu comme organisateur interne de l'activité et qui a différentes composantes qui relèvent de l'intentionnalité (buts, sous-buts, anticipations), de la générativité (règles d'action), des inférences réalisées en situation mais surtout d'une dimension conceptuelle constituée par les invariants opératoires appelés aussi principes tenus pour vrais. Avec la notion psychologique « d'identité en acte », l'apport de Vinatier (2009) au cadre théorique de la didactique professionnelle permet d'intégrer au schème une dimension subjective de l'activité par la prise en compte des « invariants du sujet » dans l'activité et qui regroupent les valeurs, jugements, intérêts et motivations de la personne. Enfin, les dispositifs de coexplicitation collectifs (Vinatier, 2012) qu'elle a mis en œuvre dans ces recherches sont une ressource pour proposer des dispositifs favorisant la verbalisation, la conscientisation des professionnels engagés dans un compagnonnage mais aussi le partage avec eux des analyses proposées par les chercheuses.

Alors que la didactique des disciplines (celle des mathématiques par exemple) étudie les conditions d'acquisition des savoirs constitutifs de la discipline, la didactique professionnelle étudie les conditions d'émergence et de développement des compétences professionnelles (Numa-Bocage, 2020, p. 39).

Les deux approches sont donc complémentaires puisque l'objectif de la formation est d'une part le développement professionnel des enseignants et d'autre part un développement du regard didactique en mathématiques afin de faire évoluer l'enseignement dans cette discipline.

Le projet compagnonnage

Le projet « compagnonnage » est une initiative prise par des membres de mouvements de l'Éducation Nouvelle, parfois militants ; il est basé sur des visites mutuelles. Ce groupe est entièrement autogéré et fonctionne en dehors de l'institution. Pour le second degré, les visites sont organisées en dehors des heures de cours des enseignants, ce qui ne perturbe pas les emplois du temps des élèves et donc favorise l'accord des chefs d'établissement. Des réunions de travail, qui se déroulent aussi sur le temps personnel des enseignants, s'intercalent entre les visites. Elles sont l'occasion de faire le point sur les visites passées et à venir et un vademécum de visite est en cours de rédaction. Ce document propose de cadrer la démarche en détaillant les étapes du dispositif : l'observation en classe, l'écrit des faits observés, l'échange autour de ce premier écrit où les analyses sont partagées et l'écriture à deux d'un compte rendu de ces échanges. Les questions des chercheuses durant ces réunions amènent les enseignant.e.s à expliciter, formaliser, reformuler certains points. Les motivations, attentes de ces rencontres sont ainsi précisées ; différents aspects de leur activité et des liens avec celle des élèves sont aussi mis au jour. Le recours à certains concepts, discutés lors de ces échanges, outillent les enseignant.e.s et permettent d'approfondir les analyses. Ces réunions semblent en effet permettre un niveau supplémentaire (« meta ») de compréhension de l'activité (réflexion collective sur les analyses réalisées par les enseignant.e.s).

Nous nous sommes particulièrement intéressées à deux enseignants de mathématiques en collège, Arthur et Julien, qui ont déjà effectué plusieurs visites, ont échangé par mails et ont écrit suite à ces

observations mutuelles. Ces deux enseignants n'ont pas la même ancienneté ni la même formation initiale. Julien fait partie du groupe à l'initiative du projet, Arthur vient d'y adhérer. Ils partagent le désir d'un travail collectif autour de leurs pratiques et s'engagent rapidement dans le compagnonnage. Un entretien d'auto-confrontation (EAC) en didactique professionnelle (Numa-Bocage, 2020) a été réalisé, non pas à partir de traces filmées de leur activité, mais à partir des écrits de leurs observations afin de mettre au jour, d'une part les problèmes didactiques et pédagogiques que se posent et construisent ces enseignants et d'autre part, ce qu'ils développent grâce à ce dispositif. L'artefact - les écrits des enseignants - devient ainsi un instrument, associé à la médiation de la chercheuse, pour favoriser (aux professionnels et à la chercheuse) l'intelligibilité des motivations des acteurs et des effets du dispositif sur leur activité. Notre recherche s'appuie sur les écrits pré et post-visites d'Arthur et Julien, sur les enregistrements des réunions du groupe de la période de juin 2021 à mars 2022 et sur la transcription de l'entretien d'auto-confrontation qui s'est déroulé en janvier 2022.

Premiers résultats

Pourquoi les enseignants s'engagent-ils dans l'observation de leurs pairs ?

Les motivations à s'engager dans un processus de visites mutuelles et d'écriture à partir de ces visites apparaissent être de différentes natures. Tout d'abord, les visées réflexive (prendre du recul sur son activité en observant et en étant observé, disposer d'un espace-temps pour réfléchir à ses pratiques et partager ses questions professionnelles, faire du lien avec la recherche) et créative (faire évoluer ses pratiques, ouvrir le champ des possibles, inventer) au service des apprentissages des élèves, semblent les plus évidentes.

Julien : « personnellement moi ça m'apporte, ces questionnements [...] quand on a fini notre journée. Ah quand même ce truc-là, ce truc quotidien du prof, une situation de classe vécue ou, un truc didactique qu'on n'arrive pas et puis un truc qui reste dans la tête qu'on rumine. Ben oui mais si t'es tout seul, ben tu rumines tout seul. Ben là on a un espace pour pas faire tout seul et des fois c'est riche » (EAC, 143).

En questionnant les enseignant.e.s, une visée relationnelle émerge : il s'agit pour certains de se rencontrer (curiosité de mieux connaître l'autre et la façon dont il travaille), de rompre l'isolement professionnel que peuvent vivre certains professeur.e.s dans leur établissement. Cette rencontre peut permettre de prévenir des formes de souffrance au travail. Il s'agit aussi, pour eux, de se retrouver avec des pairs qui partagent des valeurs communes autour d'une vision de l'élève : son éducativité et sa place d'acteur dans ses apprentissages. Du point de vue de leur identité en acte (Vinatier, 2009), les enseignants manifestent des préoccupations récurrentes que l'on peut qualifier d'invariants du sujet et qui semblent partagées.

Enfin, une autre motivation semble plus « politique ». Les enseignant.e.s engagés dans ce dispositif aspirent à ce que les rencontres permettent de favoriser l'émancipation des élèves mais ils souhaitent aussi montrer qu'il est possible de former autrement les enseignants.

Qu'est-ce qui intéresse les enseignants chez leurs collègues ?

Dans le cadre du projet compagnonnage, les enseignants décident ou non, en amont des visites, s'il y aura une focale spécifique dans l'observation. Ainsi, il s'agit parfois d'observer l'utilisation d'un outil (le plan de travail par exemple). Deux enseignantes de lettres s'étaient données comme focale de regarder comment elles appréhendaient la mixité filles/garçons dans les classes et quelle place elles laissaient à la parole des filles. Sur la grille d'observation qu'elles ont construite, elles évoquent les postures de l'enseignant (aménagement de l'espace, déplacements, distribution de la parole) et les

postures des élèves (autonomie, prise de parole, validation de leur travail). Pour une des visites d'Arthur et Julien, l'objectif commun déterminé était par exemple « *d'objectiver au maximum ce qui se passe en classe à partir des dispositifs de travail proposés par l'enseignant* ».

Les données recueillies concernant des différentes visites semblent cependant montrer que les observations réalisées dépassent (ou s'éloignent) systématiquement du projet d'observation initial. Les visites suscitent et provoquent de nouveaux questionnements. Nous constatons chez Arthur et Julien, l'émergence de préoccupations très didactiques en cours de visite mais aussi dans leurs écrits. En effet, au départ, les objets de l'observation choisis par les participants relèvent de l'organisation pédagogique plus que du didactique (travail de groupe, plan de travail, gestion de l'oral...), mais par la suite, nous allons montrer comment Arthur et Julien abordent des questions didactiques au travers de ces thématiques (résolution de problème, institutionnalisation, place de l'oral, dialectique outil/objet...).

Quels effets produit le dispositif en termes de développement professionnel ?

En nous basant sur l'entretien d'auto-confrontation réalisé avec Julien et Arthur, différents aspects traduisent un développement professionnel directement lié au dispositif mis en place, qui augmente notamment leurs capacités à agir avec leurs élèves. Tout d'abord, ce dispositif aiguise leurs capacités d'analyse et leur possibilité de « lire » l'apprentissage des élèves en dépassant les explications de sens commun. Par ailleurs, Arthur et Julien témoignent de la création, en commun, de ressources : ils ont co-construits un fichier de remédiation pour le cycle 4 en s'inspirant d'un fichier prévu pour le cycle 3 (EAC 41-45). Emerge aussi l'idée de demander aux élèves d'exposer leur « *petite astuce* » à la classe (EAC 35-38) pour valoriser les procédés mis en œuvre par les élèves et offrir aux élèves d'autres modalités pour réussir. Ensuite, le dispositif va leur permettre d'ouvrir le champ des possibles dans la classe. En effet, il va les autoriser à tenter, à tester de nouvelles méthodes, à proposer des situations d'apprentissage inédites, c'est le cas chez Arthur qui teste un travail de groupe sur le chapitre des statistiques en 3^e. Suite à l'observation d'Arthur, Julien témoigne de l'évolution de sa posture, notamment dans la prise en compte de l'erreur et dans son ouverture à des réponses alternatives des élèves. Chez Julien le compagnonnage va prendre aussi d'autres formes comme celle de préparer une séquence avec un autre collègue. Ce dispositif permet aussi de mettre en lumière des questions didactiques, de partager des dilemmes. Par exemple Arthur s'interroge sur l'équilibre entre donner du sens aux apprentissages et développer des automatismes chez l'élève (EAC 89); il s'interroge aussi sur « *les voies pour faire progresser les élèves à l'oral* ». Sur ce point, il envisage de reprendre les règles que Julien pose pour le passage au tableau des élèves (EAC 139-141). Enfin, la recherche autour du compagnonnage a aussi des effets sur les relations que vont entretenir les enseignants avec leur environnement. Les questions d'explicitation posées lors de l'entretien d'auto-confrontation ont permis d'approfondir encore la réflexion sur leurs pratiques mais aussi, chez Julien, d'adopter une attitude qu'il qualifie de « *moins sectaire* » avec des collègues ne partageant pas ses conceptions de l'enseignement.

Comment s'effectue la problématisation des pratiques dans ce dispositif ?

La construction d'un problème professionnel relève d'un processus dynamique dont il s'agit de repérer les phases pour comprendre ce qui amène un changement de point de vue, de registre explicatif, une modification du cadre dans lequel se pense l'agir professionnel.

Pour ce qui concerne Julien et Arthur, nous avons un processus en différentes phases : les réunions de cadrage où les visites sont décidées, les visites de Julien chez Arthur, celles d'Arthur chez Julien,

les comptes-rendus de visite, l'entretien d'auto-confrontation, la réunion avec le collectif. Pour chacune de ces phases, nous recueillons des éléments nous permettant d'identifier les buts, les prises d'information, les actions et les régulations (voir tableau 1). On remarque que les deux premières phases ont essentiellement pour objectif de construire un cadre de confiance permettant à chacun d'ouvrir la porte de sa classe et d'accueillir le regard de l'autre sur son activité. Julien a plus d'ancienneté et il a l'habitude de ces visites, pour Arthur c'était une habitude en formation initiale – donc à but de formation mais aussi d'évaluation – qu'il n'a plus expérimentée ensuite. Nous voyons donc un écart dans la composante personnelle : Arthur a une moins bonne représentation de soi comme enseignant de mathématiques, il a moins d'expérience et se sent moins compétent que Julien du fait qu'il a une formation initiale en sciences sociales et en SVT et non en mathématiques. Cette composante, si elle intervient au moment de l'auto-confrontation ne semble cependant pas une contrainte à l'activité dans le binôme, elle est évoquée comme une contrainte au travail d'équipe dans son établissement. La composante institutionnelle est évoquée à plusieurs reprises (domaine 5 du socle commun, nécessité de suivre les programmes, regard des inspecteurs sur l'activité...) sans que ces contraintes ne soient remises en question, il s'agit d'éléments factuels qui posent le cadre institutionnel dans lequel les deux acteurs travaillent. La composante sociale est première pour Arthur comme pour Julien mais avec des conditions différentes : Arthur s'appuie sur son expérience dans les éclaireurs de France alors que Julien s'appuie sur la pédagogie coopérative qu'il expérimente au sein du groupe ICEM 44. Chacun développe donc des outils différents, Arthur plutôt à l'extérieur de la classe de mathématiques alors que Julien met en place des dispositifs de la pédagogie institutionnelle dans ses classes (conseil coopératif par exemple). Les attentes au départ du projet sont bien du domaine de cette composante sociale avec la recherche d'une dimension collective, d'un travail des compétences liées au domaine 5 du socle et à l'émancipation des élèves. Ces contraintes sont évoquées au moment de l'auto-confrontation. Elles sont cependant enrichies par les composantes médiative et cognitive qui émergent dès la première visite. Du côté de la composante médiative apparaît la gestion des différents temps, le travail de groupe, la gestion des mises en commun mais en lien direct avec la composante cognitive : choix des contenus, quantité, ordre. La focale se porte sur le didactique, amenant à considérer que les organisations coopératives sont au service de cet approfondissement de la prise en compte du didactique dans la régulation en classe : mieux observer l'activité réelle de l'élève, écouter les théorèmes élèves et les analyser dans le collectif de la classe, intégrer ces éléments dans le processus d'institutionnalisation, prendre en compte la nécessité d'automatismes techniques et du temps pour les acquérir, penser le travail de groupe en lien avec l'activité proposée au service de la construction du sens des apprentissages. La question de la remédiation, de l'évaluation, de la recherche sont travaillées par le binôme mais toujours dans le contexte très spécifique d'un concept ou d'un domaine mathématique. La problématisation s'effectue à partir du moment où chacun se retrouve face à un nouveau possible, une autre manière de faire qui ne peut pas simplement s'expliquer par une divergence au niveau des composantes personnelles, institutionnelles ou sociales. Les solutions trouvées le sont pour répondre à des contraintes didactiques : « *ma petite astuce* » pour amener un débat et une preuve des théorèmes élèves utilisés en arithmétique, l'enquête statistique pour construire le sens des outils de calcul statistiques, le fichier de remédiation pour répondre à la nécessité d'automatiser des traitements algébriques.

	Buts	Prises d'informations	Action	Régulation
Réunion cadrage	A : cherche des idées pour donner une dimension collective aux apprentissages. J : cherche comment construire ensemble du travail réel et effectif pour que chacun grandisse	Valeurs partagées dans le groupe compagnonnage : la confiance, l'honnêteté, la sincérité, la bienveillance, le non-jugement et le respect des besoins.	S'engager dans un binôme de visite avec un collègue de mathématiques.	
Visite 1	Se rencontrer	Contexte et histoire individuels (formation, poste, équipe...)	Passer une journée chez Julien (4 h dans 4 classes de 3 ^e et 4 ^e).	Il faut analyser pour comprendre en quoi et pourquoi ils « ne font pas pareil » Organiser la visite 2, penser des axes d'observation
Visite 2	Objectiver au maximum ce qui se passe dans la classe d'Arthur à partir de ses dispositifs.	Chaque élève se sent bien dans le cours. Des élèves ont des propositions intéressantes qui ne sont pas assez exploitées pour être prises en compte dans le processus d'institutionnalisation	Mise en place du dispositif « ma petite astuce » (EAC 35-38) A : travail de groupe en statistiques J : temps laissé aux élèves pour l'entraînement technique. Fichier de remédiation en algèbre 3 ^e (EAC 41-45).	Réfléchir à la manière de mettre en œuvre le dispositif.
Entretien d'auto-confrontation aux écrits	A : Ça m'autorise à essayer. Savoir que quelqu'un me visite et qu'on va pouvoir en discuter c'est ce dont j'avais besoin. J : enrichissement didactique (statut de l'erreur, sens du travail de groupe, dialectique outil/objet)	Aller voir un élève et lui demander d'explicitier ce qu'il fait. Demander à un élève d'explicitier à l'oral une trouvaille et en discuter collectivement la validité mathématique.	A : ça m'a permis de créer des choses concrètes	A : En parler, analyser à plusieurs. J : Ne pas être sur un jugement arbitraire voire moral. J : Faire évoluer la posture en classe.
Réunion post entretien	Questionner sa pratique, remobiliser des questionnements, se (re)mettre en mouvement.	Pouvoir observer l'activité réelle de l'élève sans <i>a priori</i> .	Création d'outils communs. Création d'un vadémécum du compagnonnage.	Réfléchir au choix de la forme du compte-rendu de visite

Tableau 1 : Eléments constitutifs de la problématisation chez Arthur et Julien

Conclusion

Les compagnons ont le désir de se découvrir professionnellement, de penser collectivement leurs pratiques pour les améliorer et d'éventuellement rompre un isolement professionnel. Nos premiers résultats attestent de transformations, du fait du dispositif de visites et d'écriture, qui traduisent un développement professionnel : renforcement des compétences à analyser et transformation des capacités à agir en classe qui semble traduire l'adaptation de leurs schèmes en vue de répondre aux besoins des situations et aux problèmes rencontrés. Le compagnonnage semble un espace privilégié pour une exploration de possibles. Si l'appartenance à un mouvement de l'éducation nouvelle aurait pu freiner l'ouverture à d'autres manières d'agir, notre recherche montre au contraire que le dispositif permet une focalisation sur les composantes médiatives et cognitives de l'activité enseignante et donc le développement d'un regard didactique. Une condition essentielle à ce développement reste la mise en évidence de pratiques différentes qui par confrontation ouvrent de nouveaux possibles que les acteurs vont explorer. Le dispositif suppose un temps long alternant des observations, des analyses réflexives, notamment par écrit, des temps de création et de co-construction. Dans cette recherche, la

dimension relationnelle semble aussi particulièrement favorable au développement professionnel. La question est de savoir en quoi et comment, des dispositifs de formation peuvent prendre en compte ce facteur. La suite de l'expérimentation devrait nous permettre de mieux comprendre comment ces développements se traduisent durablement dans la pratique des enseignants.

Bibliographie

- Fabre, M. (2006). Analyse des pratiques et problématisation. *Recherche et formation*, 51, 133-145.
- Froger, N. (2005). L'entretien de problématisation : Un outil pour l'analyse de pratiques. *Recherche et formation*, 48, 61-73.
- Grau, S. (2021). *Conditions d'une vigilance didactique chez les professeurs des écoles stagiaires*. COPIRELEM, Grenoble, France.
- Hersant, M. (2020). Pratiques de débutants en mathématiques en maternelle : Matérialité des situations et chronologie. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, 208, 17-30.
- Mayen, P., & Olry, P. (2012). Expérience du travail et développement pour de jeunes adultes en formation professionnelle. *Recherche et formation*, 70, 91-106.
- Mons, N., Chesné, J.-F., & Piedfer-Quênay, L. (2021). *Comment améliorer les politiques de formation continue et de Développement professionnel des personnel d'éducation ? Dossier de synthèse*. CNETCO.
- Numa-Bocage, L. (2020). L'entretien d'analyse de l'activité en didactique professionnelle : L'EA-CDP. *Phronesis*, 9(3), 37-48.
- Pastré, P. (2002). L'analyse du travail en didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 138(1), 9-17.
- Robert, A., & Rogalski, M. (2002). Comment peuvent varier les activités mathématiques des élèves sur des exercices ? Le double travail de l'enseignant sur les énoncés et sur la gestion de classe. *Petit x*, 60, 6-25.
- Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J.-M. Barbier, *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (PUF, p. 275-292). Presses Universitaires de France.
- Vinatier, I. (2009). *Pour une didactique professionnelle de l'enseignement*. Presses universitaires de Rennes.
- Vinatier, I. (2012). Les dispositifs de coexplicitation, une ressource au service de l'analyse des entretiens entre le maître formateur et l'enseignant débutant. In *Réflexivité et développement professionnel : Une orientation pour la formation* (Octarès, p. 61-78).
- Vinatier, I., & Morrissette, J. (2015). Les recherches collaboratives : Enjeux et perspectives. *Carrefours de l'éducation*, 39(1), 137-170.

NOMBRES ET SIGNES DE NOMBRES EN LITTÉRATURE JEUNESSE



SOPHIE GOBERT

GRAPHISME

JEU DE LANGAGE
SCIENTIFIQUE

DIMENSION
SYMBOLIQUE

MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 ANI - 3 JUIN 2022



NAÏS COQ 2022 @
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

Jeux de signes et inventions de nombres en littérature jeunesse

Résumé : Dans cette communication j'explicité le point de vue sémiotique et didactique adopté dans une recherche menée sur le terrain de la littérature jeunesse autour des nombres entiers naturels, restituée dans l'article « Nombres et littérature jeunesse : usages des nombres et formes de narration » paru dans la revue *Strenæ* (Gobert, 2021). Mon travail s'inscrit dans le cadre développé par le didacticien des mathématiques François Conne en appui sur la sémiotique de Peirce pour étudier les phénomènes de diffusion et de transposition de savoirs. La posture sémiotico-didactique adoptée permet d'envisager les nombres comme des maillons de flux sémiotiques et de caractériser les usages de nombres en termes de sémioses qui déroulent des chaînes de signes en relation les uns aux autres et canalisent les interprétations en cohérence avec une narration. A partir d'exemples je montre comment, dans certains ouvrages de littérature jeunesse, les jeux de signes graphiques et langagiers fonctionnent de manière iconique et indicielle, pour aboutir à l'hypothèse qu'ils ouvrent à la dimension symbolique de l'univers des nombres.

Mots-clé : nombres, littérature jeunesse, sémiotique, didactique, imagination

Introduction

Dans une recherche entreprise il y a quelques années, restituée en partie dans Gobert (2021), je m'intéresse aux jeux de signes, graphiques et langagiers, déployés avec les nombres entiers naturels dans la littérature jeunesse des XXe et XXIe siècles en France. Cette étude a pour but de construire une problématisation de l'expérience esthétique dans le développement des connaissances mathématiques, en particulier du rôle de l'imagination dans l'initiation aux nombres des très jeunes enfants. Dans cette communication j'explicité la posture sémiotique et didactique adoptée pour étudier cette transposition de savoirs, hors du champ usuel des enseignements et apprentissages mathématiques de l'école et pouvant cependant nourrir les débats à son propos.

Dans la première partie je rappelle la polymorphie, polyphonie et polysémie des nombres dans le contexte de la littérature jeunesse et en mathématiques, justifiant de la nécessité que j'ai rencontrée d'adopter un point de vue qui lie sémiotique et didactique pour examiner un corpus de livres dans ce contexte littéraire. Dans une seconde partie j'expose alors mon ancrage dans les travaux du didacticien des mathématiques François Conne dont l'usage de la sémiotique peircienne lui permet de construire un schéma critique entre interactions de connaissances, transpositions de savoirs, et triade imagination expérience formalisation (2006, 2008a, 2008b). Ce cadre me permet de considérer les nombres comme des relations et des maillons de flux sémiotiques, m'amenant alors à porter mon attention sur les usages des nombres comme sémioses et non sur les nombres eux-mêmes. La troisième partie propose d'illustrer les intrications de telles chaînes de signes à partir d'une lecture de quelques jeux graphiques et langagiers extraits du livre *Et si on inventait des nombres ?* de Gianni Rodari et Alessandro Sanna édité en 2007 par l'école des loisirs. L'analyse montre comment certains jeux sémiotiques initient aux dimensions iconiques et indicielles de l'univers mathématique et ouvrent sur sa dimension symbolique.

Les multiples racines des nombres et leurs multiples interprétations

Certaines couvertures de livres jeunesse (fig. 1) suggèrent de multiples réseaux sémiotiques avec lesquels jouent les auteurs et illustrateurs pouvant être mis en lien avec divers aspects mathématiques des nombres entiers naturels et de leurs relations. On reconnaît par exemple la référence au calcul signifiée par l'écriture arithmétique sur la couverture de *I numeri* de Luigi Veronesi, la relation cardinale des nombres avec des quantités de choses avec la main et les doigts levés sur cette même couverture ou avec les dessins de traits pour les pattes du mille-patte dans *Le mille-pattes* de Jean Gourounas, les trois points sur la couverture de *Boucle d'or et les trois ours* de Olivier Douzou, ou encore les trois souris de *Chiffres* de Léo Lionni. On reconnaît ou on peut interpréter l'usage des nombres dans $A+1=$ de Bruno Gibert selon leur fonction d'opérateur, on repère également les dimensions graphiques des nombres à partir de diverses relations de ressemblance entre les choses comme ce huit sur la couverture de *La cité des Nombres* de Stephen T. Johnson, ou l'investissement anthropo-zoo-morphique du chiffre un sur la couverture de *L'équipe des chiffres* de Jean Alessandrini. Les nombres apparaissent aussi comme matériaux, matières au sens propre du terme, par exemple cette sculpture accompagnant les souris de Léo Lionni, ou matières à dessiner des lignes dont les assemblages avec d'autres lignes forment des personnages, des objets, des choses de l'histoire. Ainsi ce 3-couché au-dessus des trois points sur la couverture de *Boucle d'or* pour former avec eux une physionomie évoquant celle d'un ours ou la boucle/couronne pour représenter Boucle d'or, ou bien ces volutes de 8 au-dessus du personnage sur la couverture *Super 8* du même auteur, à propos de laquelle, d'ailleurs, on perçoit l'inscription du nombre dans un jeu avec le langage. Jeu de langage par exemple autour de la fonction de nominalisation comme celui suggéré par le titre de l'ouvrage *Les orteils n'ont pas de nom* de Jean Leroy et Mathieu Maudet. Cette multiplicité de renvois des signes entre eux et à d'autres signes, participe au fait que l'ensemble de ces couvertures forment également un signe, que l'on peut relier à la multiplicité des usages des nombres dans les pratiques sociales, culturelles, économiques, industrielles, artistiques et bien sûr mathématiques.



fig. 1 : De gauche à droite et de haut en bas : Johnson, S.-T. (1998). *La cité des nombres*. © Circonflexe - Gourounas, J. (2012). *Le mille-pattes*. © Le Rouergue - Douzou, O. (2011). *Boucle d'or et les trois ours*. © Le Rouergue - Lionni, L. (1985). *Chiffres*. © L'école des loisirs - Gibert, B. (2017). *A+I=*. © Saltimbanque éditions - Alessandrini, J. (1987). *L'équipe des chiffres*. © Hatier - Douzou, O. (2005). *Super 8*. © MeMo - Veronesi, L. (1997). *I numeri*. © Corraini editore mantova - Leroy, J. et Maudet, M. (2010). *Les orteils n'ont pas de nom*. © L'école des loisirs. Couvertures.

La multiplicité existe aussi au sein des mathématiques. Dans un article intitulé « Les multiples racines du nombre et leurs multiples interprétations » paru dans l'ouvrage *Les chemins du nombre* le psychologue Remi Droz rappelle les positions de philosophes et de mathématiciens sur les questions historiquement vives de « racine du nombre naturel » et de « nature du nombre ». Il pointe la diversité des positions, empiristes, sensualistes, idéalistes, conventionnalistes, etc., il évoque également la diversité des axiomatisations et constructions théoriques en mathématiques, en rappelant les travaux de Frege, Peano, Hilbert, Herbart et d'autres, pour conclure ainsi (Droz, 1991, p. 291-292) :

Nous pouvons résumer et schématiser cet état de choses de la manière suivante, afin de bien montrer la coexistence simultanée de plusieurs perspectives qui sont cependant, au moins de droit, incompatibles. Un nombre défini ne saurait être tout à la fois cardinal et ordinal et rapport de grandeur, etc., mais nous pouvons nous servir des nombres pour envisager ainsi des réalités de manière indépendante ou successive ; ou mieux, pour comprendre l'un des aspects de l'idée de nombre : le nombre est multiple. En nous référant encore aux activités cognitives logico-mathématiques enfantines évoquées plus haut, nous obtenons une esquisse schématique qui illustre bien que l'idée de nombre donne un caractère polymorphe et polysémique aux nombres :

Activité du sujet	Le nombre est	Perspective théorique
classer	Cardinal	Cantor, Frege, Russell
comparer, sérier	Ordinal	Peano, v. Neumann, Weyl
noter et composer	Algébrique	Hilbert
noter et compter	Constructif	Lorenzen
transformer	Opérateur/Rapport	Euclide, Euler, Herbart
compter	Produit du Comptage	E. Cassirer

Par ailleurs les représentations au sein d'une même couverture, tout autant qu'entre les couvertures elles-mêmes, suggèrent d'autres images, d'autres signes qui viennent à l'esprit de celui ou celle qui lit, puisqu'elles dynamisent notre pensée de manière différente pour chacun de nous selon nos connaissances, nos habitudes, nos imaginations, nos contextes de lectures. C'est pourquoi, si nous pouvons effectivement mettre en lien certains aspects des signes de nombres de ces couvertures avec certaines des perspectives mathématiques rappelées ci-dessus, les interprétations de ces signes débordent largement et toujours les perspectives mathématiques ou psychogénétiques, comme le rappelle Remi Droz. Ce débordement, cette polysémie, polyphonie, polymorphie des nombres à l'œuvre dans les processus interprétatifs, ceux initiés par l'expérience dispensée par ces lectures d'ouvrages en littérature jeunesse, semble alors suggérer une multiplicité de voies d'accès à la connaissance de l'univers des nombres et aux conceptualisations afférentes.

Signes de nombres et tissu de relations

Pour mener mes investigations et focaliser sur le rôle des signes dans le développement des connaissances mathématiques, mon travail s'inscrit dans le cadre didactique et sémiotique développé par le chercheur François Conne (2006, 2008a, 2008b). Dans son article « Coupes sémiotiques », il rappelle (en commentant leur intérêt pour la didactique) les principales idées de la sémiotique peircienne : « penser la logique comme une logique des relations », « considérer des

relations triadiques pour penser l'ensemble des relations », « considérer les signes comme des relations triadiques », « considérer en conséquence les signes comme les maillons d'un flux sémiotique » et enfin « considérer deux dimensions aux signes, la première étant le flux sémiotique, la seconde se déclinant selon trois modalités phénoménologiques : priméité, secondéité et tiercéité [...] » (Conne, 2008a, p. 107-109 ; voir aussi les travaux de la sémioticienne Nicole Everaert-Desmedt (2006)). Dans cette partie je développe l'idée de signes comme maillons d'un flux sémiotique pour la recherche menée sur les nombres en littérature jeunesse.

Rappelons une définition du signe : « quelque chose tenant lieu de quelque chose pour quelqu'un à un certain égard ou titre » et une précision utile apportée par François Conne (2008a, p. 107) : « [...] un signe confère à son objet quelque chose, étant entendu que ce quelque chose est elle-même une relation sémiotique. Dans cette sémiotique, le mot objet prend une signification toute particulière, c'est une abréviation pour objet-du-signé ; ce n'est pas un référent externe au signe mais une composante de ce dernier. » Concernant mon sujet, il s'agit donc de considérer les nombres comme « objets-de-signés-de-nombres » et non pas comme objet au sens mathématique ou ontogénétique du terme. Poursuivons la citation pour éclairer le positionnement :

Dans cette conception, la pensée est un mouvement de l'esprit qui se prête tout entier à ce qui est en passe de l'occuper, et l'action du signe est tout autant ce qui oriente l'esprit sur des pensées subséquentes que ce qui préserve dans ces dernières le fil des pensées antécédentes. Ce que le signe prête à son objet ne sont donc jamais en tant que telles des propriétés, mais tout ce à quoi ces propriétés sont par ailleurs liées. Dit autrement, un signe n'apporte à son objet qu'un tissu de relations. L'objet du signe se manifeste dans un processus de relais de signes à signes, la représentation n'est jamais figée elle est présentation reportée du même objet dans des chaînes de signes. [...] Les objets des signes s'y font connaître au fil de sémioses. Les signes interviennent dans la connaissance des objets qu'ils représentent par les liens qui s'établissent entre toutes sortes de choses associées à ces objets.

Ainsi les signes-de-nombres interviennent dans la connaissance des nombres qu'ils représentent par les liens qui s'établissent entre toutes sortes de choses associées à ces objets-de-signés-de-nombres, et les auteurs illustrateurs vont justement puiser dans cette diversité pour leur créations. Le fait que les signes soient considérés comme les maillons d'un flux sémiotique implique que ces objets-de-signés-de-nombres sont liés par leurs chaînes sémiotiques, elles forment un monde qui n'est pas le monde mathématique des nombres mais un monde qui le contient et contient largement d'autres champs où existent des signes-de-nombres. Ce à quoi donnent accès ces livres pour enfants ne sont donc pas les nombres eux-mêmes mais *un tissu de relations*, des exemples de manières de penser agir sentir avec les nombres dans certaines circonstances.

C'est avec ce regard sémiotique sur les nombres comme relations que j'ai examiné un corpus de deux-cent-soixante-et-un ouvrages, archivés pour la plupart au Fonds de littérature jeunesse Bermond-Boquié situé à Nantes (corpus NLJ20210407 dans Gobert (2021)) et à qualifier en termes d'usages des nombres les jeux sémiotiques pratiqués avec les entiers naturels par les auteurs et les illustrateurs des ouvrages consultés. Dans ce contexte, *un usage est une sémiose qui déroule une chaîne de signes en relation les uns aux autres et canalise les interprétations en cohérence avec une narration*. J'ai explicité à partir de ce corpus les usages Quantifications, Mesurages, Numérotations, Graphismes et Langages (catégorisation amenée à évoluer en fonction de l'extension du corpus et de nos connaissances), les deux derniers usages Graphismes et Langages constituant l'un des apports de ma recherche au regard des autres usages plus communs. L'usage Langages concerne les jeux avec le langage, avec les sons, les mots, les lettres qui se lient aux nombres au sein de la narration, sans considération des autres usages, c'est-à-dire quand les chaînes sémiotiques sont canalisées dans et par le langage plutôt que dans et par le renvoi à un autre usage. Par exemple dans

le récit de Kenzo Yamamoto et Ise Hideko *Mon ami à trois pattes* (fig. 2), si le mot « trois » renvoie à une quantification, la chaîne sémiotique narrative focalise sur autre chose.



fig. 2 : Yamamoto, K. et Hideko, I. (2010). *Mon ami à trois pattes*. © Seuil. Couverture.

L'histoire raconte la rencontre et l'évolution d'une adoption mutuelle entre deux personnages, un jeune garçon et un chien amputé d'une patte, nommé « Trois-Pattes » par le narrateur. Le nombre « trois » participe ainsi du récit, de ce qui fait (ou aura fait) événement, il n'est pas seulement un qualificatif quantitatif, il est aussi et principalement un qualificatif narratif ; son usage relève alors de l'usage Langages, selon l'approche adoptée. L'usage Graphismes est caractérisé quant à lui par les jeux sémiotiques déployés avec les chiffres (ces dix signes graphiques pour écrire les nombres dans notre système de numération décimale de position) lorsque l'auteur ou l'illustrateur attire l'attention du lecteur d'une manière ou d'une autre sur des relations entre chiffres, nombres ou faits issus de leurs rapports dans une trame narrative. Par exemple l'usage des chiffres sur les couvertures de *Super 8* ou de *Boucle d'or et les trois ours* (op. cit.).

Et si on inventait des nombres ?

Dans cette partie je propose de donner quelques exemples de ces tissus de relations à partir du livre *Et si on inventait des nombres ?* de Gianni Rodari et Alessandro Sanna (fig. 3). Ce livre est paru en 2007 en France, en 1993 en Italie pour la version originale, le texte de Gianni Rodari remonte à 1962, « A inventare i numeri », extrait du recueil de nouvelles *Favole a telefono* traduit en français par *Histoires au téléphone* ou *Tous les soirs au téléphone*. La préface de l'ouvrage raconte que Rodari était souvent en déplacement et qu'il avait par ailleurs l'habitude de raconter à sa fille des histoires le soir. Il avait convenu avec elle et sa mère pour ses périodes de déplacement de respecter le rituel et d'appeler au téléphone sa fille chaque soir avant son coucher pour lui raconter une histoire. Il s'agit donc d'une communication entre un père et sa fille, une affaire de sons et de langage. Concernant les mathématiques l'auteur joue avec la numération parlée, la formation des noms de nombres, avec les suites orales d'entiers naturels et les relations arithmétiques oralisées. Les illustrations d'Alessandro Sanna créées pour l'édition de 1993 articulent aux inventions langagières de Rodari des jeux graphiques avec des signes de chiffres ou signes de nombres, l'ensemble produisant une diversité de chaînes sémiotiques liées aux naturels. Je propose de donner

deux exemples où les usages Langages et Graphismes sont à l'œuvre, l'un à partir de la couverture du livre, l'autre à partir d'un jeu de langage sur des noms de nombres.

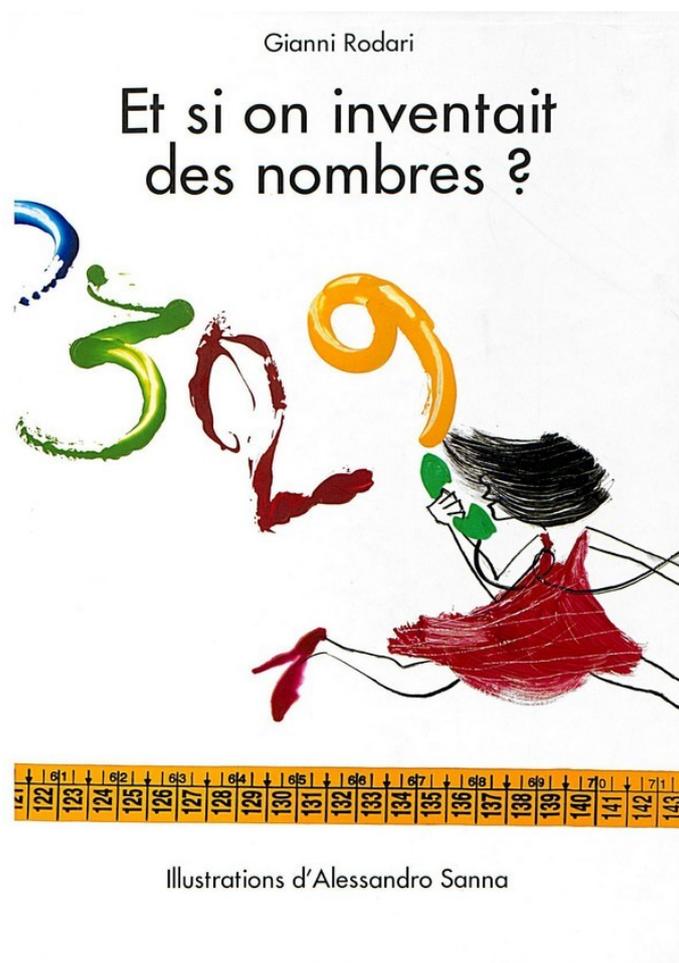


fig. 3 : Rodari, G. et Sanna, A. (2007). *Et si on inventait des nombres ?*. © L'école des loisirs. Couverture.

Observons la couverture. Des signes de nombres apparaissent dans les traces de couleurs qui semblent surgir du combiné du téléphone, dans le soulier du personnage, dans le fragment de ruban de couturier placé en ligne horizontale sur laquelle repose l'ensemble. Le mètre à ruban, objet technique inscrit dans la culture, renvoie à des pratiques sociales relatives aux mesurages où les nombres servent par leurs relations algébriques. Ces signes de nombres sont contrastés avec ceux situés au centre de l'image semblant surgir du téléphone : ce sont des signes de chiffres ou de nombres à un chiffre, peints sur un fond plat vertical où la matière première de la peinture se fait sentir par les nuances d'épaisseurs, le relief indiquant l'appui plus ou moins marqué du pinceau, le geste pour peindre (créer, inventer) se rendant alors visible. Le chiffre 2 en rouge, le 3 en vert, le 9 en jaune, le hors-champ est suggéré par une trace de peinture bleue à gauche de l'image et à gauche de la suite des chiffres, évoquant d'autres signes, d'autres nuances de couleurs pour d'autres chiffres ou nombres possibles. Le hors-champ des suites de nombres est également présent par les extrémités du mètre à ruban. Il est aussi marqué par la course du personnage vers la droite, opposée à la direction de sa tête orientée vers les traces laissées par le surgissement des nombres du combiné téléphonique. Le mouvement d'ensemble se construit dans les deux directions, posant ainsi la dynamique de narration sur un chemin de nombres. Le soulier du personnage assure le lien entre création et usage social : en forme de 1, dessiné à la manière des autres signes de chiffres, équipement pour la marche, la course, sur cet horizon des pratiques situé en aval. Ce contraste entre

l'acte de création et l'usage social de ce qui est déjà créé, ouvre un espace entre deux mondes, l'espace du jeu dans lequel Rodari et Sanna semblent installer leur lecteur : un jeu où les signes de chiffres et de nombres, écrits et parlés, l'inviteront à s'engager dans des processus interprétatifs où les variations porteront la pensée sur les différents fronts de l'imagination, de l'expérience, et de la connaissance.

Pour donner un aperçu de ces inventions de nombres, entrons dans le texte de Rodari. Le dialogue commence ainsi (avec la traduction française d'Elisabeth Duval) : « - Et si on inventait des chiffres ? - D'accord, c'est moi qui commence. Presque un, presque deux, presque trois, presque quatre, presque cinq, presque six. - Ce n'est pas assez ! Ecoute moi ! un trilliard de fourmilliard, un archi-méga-hyperlliard, un multibilliard de quatrillions. » S'il y a matière à discuter sur le début de l'extrait, je focalise ici l'attention sur sa fin, les inventions de gigantesques grands nombres : jeux de sons, de mots, invention de mots-valises, formes langagières exagérément multiplicatives avec l'utilisation de préfixes amplificateurs et de leurs emboîtements langagiers ou avec la construction formelle « nombre de nombre ». Ces inventions fonctionnent sémiotiquement par ressemblance suggestive avec un système possible de désignation orale des nombres. Elles constituent des signes iconiques pour ces objets, leurs relations et les combinaisons de relations dans cet univers.

Rappelons qu'« Un signe iconique prête à son objet son apparence – qualitative, caractéristique ou générique – comme ressemblance suggestive. » (Conne, 2008a, p. 110). De plus, puisque Rodari joue également avec les règles de la numération parlée, ces jeux avec le langage sont aussi des signes indiciels de la manière habituelle de former les noms de nombres. « Un signe indiciel prête à son objet sa présence – ou une de ses occurrences – comme signal – un fait qui attire notre attention ou une pensée fugace qui nous traverse l'esprit. » (Conne, 2008a, p. 111). Ces jeux avec les règles, les mots, les sons d'une numération parlée imaginée par Rodari informe ainsi de l'existence de jeux avec des règles, des mots, des sons d'une numération parlée existant par ailleurs dans un contexte courant ou scientifique, sans pour autant disposer de moyen de repérer les propriétés des indices au regard des propriétés de cet objet, pour un lecteur qui n'aurait aucune idée du système de numération parlée usuel. Cependant, ces inventions de nombres, ces signes iconiques et indiciels d'une manière dont se forment les noms de nombres, ouvrent la pensée et l'imagination à quelque chose dont je fais l'hypothèse qu'il s'agit justement de la dimension symbolique des jeux de langage scientifiques d'inventions de noms de nombres, en référence au « possible » des signes symboliques, puisque « Un signe symbolique prête à son objet sa logique comme conception – possible, informante ou significative. » (Conne, 2008a, p. 111).

L'hypothèse plus générale que certains jeux de signes, iconiques et indiciels, ouvrent à la dimension symbolique de l'univers des nombres rejoint le fait qu'il en va de même pour l'apprentissage des choses du monde, à commencer par le langage pour les très jeunes enfants. Très tôt le langage est en effet perçu comme une sonorité, une pure qualité, une icône sonore, construit ensuite comme indice de quelque chose, d'une intention, d'une attitude, d'un réel de situation dont l'ordre symbolique se construit progressivement (Gratier et al., 2021 ; Erard, 2017). L'enfant qui consent au langage, consent à tester ces icônes et ces indices, à en faire l'expérience, pour saisir de quoi elles/ils peuvent tenir lieu pour eux et pour les autres, et progressivement construit un système de significations qui en retour agit sur ces signes et relance les sémoses.

Conclusion

En écho aux multiples racines des nombres et à leurs multiples interprétations, aux multiples usages présents en littérature jeunesse, et au regard de la posture sémiotique et didactique exposée dans cette communication, j'ai caractérisé des usages de nombres au sein de la littérature jeunesse en termes de sémioses qui déroulent une chaîne de signes en relation les uns aux autres et canalisent les interprétations en cohérence avec une narration. Les quantifications, les numérotations, les mesurages, les graphismes, les langages, sont de tels usages dont la répartition au sein du corpus consulté se présente ainsi (fig. 4) :

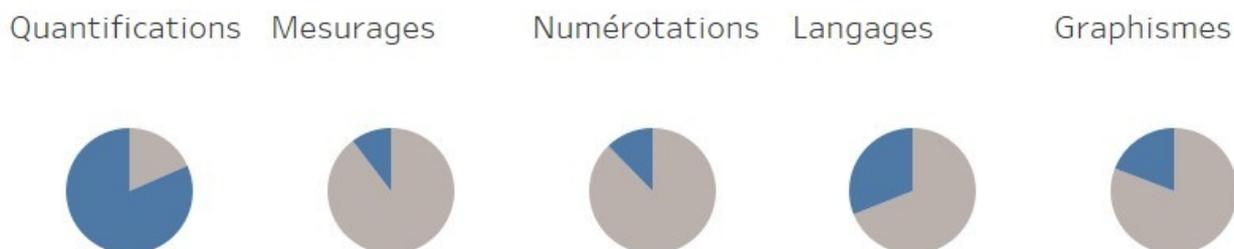


fig. 4 : Répartitions des usages (présence foncée) dans le corpus NLJ 20210407 dans Gobert (2021)

La vue atteste de l'existence d'une doxa de l'usage Quantifications dans la production éditoriale adressée aux enfants, doxa pilotant les pratiques et les choix éditoriaux en écho probablement aux choix effectués dans les programmes institutionnels de l'école depuis de nombreuses dizaines d'années. La focalisation des initiations et premiers apprentissages sur les entiers naturels autour de la dimension cardinale des nombres et de leur dimension ordinale, en lien le plus souvent aux dénombrements par comptage, pourrait en partie expliquer ce phénomène.

Si ma recherche invite à considérer l'hypothèse que certains jeux de signes ouvrent, sous certaines conditions, des voies d'accès à l'univers des nombres (les jeux sémiotiques liés aux usages Graphismes et Langages au même titre que ceux liés aux usages plus usuels de Quantifications, Mesurages ou Numérotations), ces conditions restent à investiguer par un retour au corpus, à de nouveaux corpus et de nouvelles études de cas en littérature jeunesse, en appui sur les connaissances relatives à ce champ de recherche (Nières-Chevrel, 2009 ; Van der Linden, 2007). Elles permettront peut-être de nourrir un débat sur les fondamentaux que l'on se fixe pour l'acculturation et la problématisation des nombres à l'école, en particulier à l'école maternelle, et les expériences à mener, en rappelant que « Tout le problème du recours à l'expérience se trouve dans le fait que son objet n'est jamais atteint pour lui-même, qu'il n'est jamais donné préalablement au travers d'une connaissance arrêtée. Au contraire son but est de faire partir un processus qui fait porter ailleurs la connaissance et par là, la transforme. » (Conne, 2008b, p. 223).

Bibliographie

Conne, F. (2006). *Savoirs à perte de vue*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01114874v3>

Conne, F. (2008a). Coupes sémiotiques. Dans J.-P. Sautot (Dir.), *Le film de classe. Étude sémiotique et enjeux didactiques* (p.200). Lambert-Lucas. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01524598v2>

Conne, F. (2008b). L'expérience comme signe didactique indiciel. *Recherches en didactique des mathématiques*, 28(2), 219-264. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01523909>

Droz, R. (1991). Les multiples racines des nombres naturels et leurs multiples interprétations. Dans J. Bideaud, C. Meljac & J.-P. Fischer (Dir.), *Les chemins du nombre* (p.491). Presses Universitaires de Lille.

Erard, Y. (2017). *Des jeux de langage chez l'enfant, Saussure, Wittgenstein, Cavell et la transmission du langage*. BSN Press.

Everaert-Desmedt, N. (2006). *Interpréter l'art contemporain – La sémiotique peircienne appliquée aux œuvres de Magritte, Klein, Duras, Wenders, Chávez, Parant et Corillon*. De Boeck.

Gobert, S. (2021). Nombres et littérature jeunesse : formes de narration et usages des nombres. *Strenae*, 19. <https://journals.openedition.org/strenae/8959>

Gratier M., Lenoble E., Christophe A., Golse B. et Dayan J. (2021, 23 décembre 2021). Et le langage vient, épisode 4 de l'émission *Le génie des bébés*. LSD la série documentaire. <https://www.franceculture.fr/emissions/lsd-la-serie-documentaire/et-le-langage-vient>

Nières-Chevrel I. (2009). *Introduction à la littérature de jeunesse*. Didier jeunesse.

Van der Linden, S. (2007). *Lire l'album*. L'atelier du poisson soluble.

Bibliographie Littérature jeunesse

Alessandrini, J. (1987). *L'équipe des chiffres*. © Hatier.

Douzou, O. (2005). *Super 8*. © MeMo.

Douzou, O. (2011). *Boucle d'or et les trois ours*. © Le Rouergue.

Gibert, B. (2017). *A+I=*. © Saltimbanque éditions.

Gourounas, J. (2012). *Le mille-pattes*. © Le Rouergue.

Johnson, S.-T. (1998). *La cité des nombres*. © Circonflexe. (Œuvre originale publiée en 1998 aux Etats-Unis)

Yamamoto, K. et Ise Hideko, I. (2010). *Mon ami à trois pattes*. © Seuil. (Œuvre originale publiée en 2009 au Japon).

Leroy, J. et Maudet, M. (2010). *Les orteils n'ont pas de nom*. © L'école des loisirs.

Lionni, L. (1985). *Chiffres*. © L'école des loisirs.

Rodari, G. et Sanna, A. (2007). *Et si on inventait des nombres ?* (E. Duval, Trad.). © L'école des loisirs. (Œuvre originale publiée en 1993 en Italie)

Veronesi, L. (1997). *I numeri*. © Corraini editore mantova. (Œuvre originale publiée en 1945 en Italie)

LA FORMATION À L'INTERDISCIPLINARITÉ EN SCIENCES



NOUS AU QUÉBEC,
ON MÉLANGE LES
DISCIPLINES ...

WOW...

GASP!!

O O O O H!

MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 AMI - 3 JUIN 2022

LES APPROCHES DIDACTIQUES
EN STEM SONT VRAIMENT
DIFFÉRENTES SELON LES
CULTURES

COMPRENDRE L'INTENTION
DES ENSEIGNANTS DANS
LEUR PRATIQUE EN CLASSE



NAÏS COQ 2022 @

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

La formation à l'interdisciplinarité en sciences, technologies et mathématiques dans le cadre d'une recherche participative.

Compte-rendu d'une expérience québécoise

Résumé : La communication présente une expérience d'accompagnement d'enseignants de sciences et technologies et de mathématiques au Québec, dans le cadre d'une recherche participative, pour planifier et enseigner en faisant appel à l'interdisciplinarité. À la suite du rappel du contexte curriculaire québécois, nous présentons le cadre conceptuel mobilisé (celui de l'interdisciplinarité scolaire) et le déroulement de l'accompagnement dans le cadre de la recherche participative. Nous terminons par un retour sur les principaux constats (apports et défis) qui découlent de cette expérience.

Mots-clés : interdisciplinarité scolaire, recherche participative, communauté d'apprentissage, interdisciplinarité curriculaire.

1. Introduction et contexte

Dans le contexte scolaire, l'appel au décloisonnement disciplinaire, en général, et à l'interdisciplinarité, en particulier, s'appuie sur divers fondements psychopédagogique, sociologique et épistémologique, entre autres (Hasni et al., 2012) : sur le plan psychopédagogique, des auteurs soutiennent que l'interdisciplinarité, en faisant appel à des problèmes contextualisés, favorise la motivation et l'intérêt des apprenants pour les disciplines scientifiques et répond à la diversité psychologique des élèves ; pour les fondateurs de la Nouvelle sociologie de l'éducation et d'autres spécialistes du curriculum, les curriculums interdisciplinaire (ou intégrés) constituent un levier pour une éducation démocratique et moins élitiste, contrairement aux curriculums cloisonnés ; sur le plan épistémologique, Fourez (1997), par exemple, en faisant appel au concept d'îlot de rationalité interdisciplinaire, soutient que l'interdisciplinarité permet de construire une compréhension de problématiques complexes en mobilisant des savoirs issus de différentes disciplines.

Au cours des dernières décennies, de nombreux pays ont fait de l'interdisciplinarité une des orientations structurant les curriculums. C'est le cas des États-Unis, du Canada, du Royaume Uni et de l'Australie où le courant *Science, technology, engineering and mathematics* (STEM) vise un enseignement intégré des disciplines scientifiques. Au Québec, cette préoccupation s'exprime de différentes manières dans le curriculum. Il s'agit notamment de l'introduction de composantes non disciplinaires qui doivent être prises en charge de manière concertée par les différentes disciplines et par les différents acteurs scolaires, en faisant appel, entre autres, à des projets interdisciplinaires : les compétences transversales et les *Domaines généraux de formation*. L'autre changement important qui a accompagné le récent curriculum est le remplacement des programmes disciplinaires par les « domaines d'apprentissage », dont le « domaine de la mathématique, de la science et de la technologie » (MS&T). Ce regroupement des disciplines par domaines représente, pour le ministère, un pas vers le décloisonnement en ce sens qu'il incite chaque enseignant à concevoir sa discipline comme une partie intégrante de la formation globale de l'élève véhiculée par le curriculum. Deux disciplines scolaires composent désormais ce domaine : a) la mathématique; b) la science et technologie (S&T). En outre, la discipline S&T regroupe, du primaire à la quatrième année du secondaire, des contenus en provenant de cinq champs scientifiques (astronomie, biologie, chimie, géologie, physique, technologie) et de la technologie. Avec ces changements, les enseignants de sciences qui prenaient en charge des

disciplines particulières doivent enseigner, de manière intégrée, des contenus en provenance de ces cinq champs disciplinaires. Les enseignants de M prennent en charge des contenus de l'arithmétique et algèbre, de la probabilité et statistique et de la géométrie. Les enseignants de S&T et de M sont aussi invités à collaborer pour assurer la cohérence attendue du domaine MS&T. Ces orientations ont de grands impacts sur les pratiques d'enseignement et sur la formation des enseignants. À cet égard, Tytler et al. (2021) soulignent que « despite growing advocacy of interdisciplinary approaches to science, technology, engineering and mathematics (STEM), there are persistent concerns about the practical and principled epistemic bases on which this can be justified as a mainstream curricular practice. A major issue concerns the nature of interrelations between the STEM disciplines in interdisciplinary work » (p. 269). Une enquête réalisée par notre équipe auprès de 245 enseignants de S&T et de M (Hasni et al., 2012) montre que malgré l'adhésion de ces derniers à l'interdisciplinarité, ils ne se sentent pas outillés (conceptuellement et méthodologiquement) à la mettre en œuvre dans leurs classes. En effet, même si le recours à l'interdisciplinarité est fortement souhaité, la nature des liens à établir entre les disciplines n'est pas toujours évidente pour les acteurs scolaires. À ce propos, le développement de pratiques d'accompagnement visant la conceptualisation de l'approche s'avèrent nécessaire (ex. : Yang et al, 2018; You, 2017). C'est dans ce contexte que l'équipe du CREAS a entrepris des recherches participatives dont l'un des objectifs est celui d'accompagner les enseignants de S&T et de M dans la compréhension et la mise en œuvre de pratiques interdisciplinaires basées sur les fondements didactiques et sur les résultats de la recherche. Dans cette communication, nous présentons les fondements et le processus de cet accompagnement, tout en soulignant quelques apports et défis qui se dégagent de cette expérience.

2. Cadre conceptuel mobilisé : l'interdisciplinarité scolaire

Les analyses réalisées dès les années 1980, notamment aux États-Unis et au Québec (ex. : Lenoir et al., 2015), montrent que malgré les bonnes intentions des enseignants, le manque de conceptualisation de l'interdisciplinarité peut conduire à de nombreuses dérives dans la pratique : a) le “potpourri problem”, où plusieurs cours deviennent un simple échantillonnage de savoirs en provenance des plusieurs disciplines, avec un manque de visée commune claire, d'articulation et de contextualisation; b) Le “polarity problem”, où l'interdisciplinarité et la disciplinarité sont vues comme deux approches mutuellement exclusives; Le recours à l'interdisciplinarité est vu comme moyen d'exclure tout enseignement disciplinaire et toute référence aux disciplines scolaires; c) les relations de dominance (“relations hégémoniques”) entre les disciplines scolaires concernées, où l'enseignement s'appuie essentiellement sur la discipline reconnue comme la plus importante; le rôle des autres disciplines se résume à un pur prétexte pour poursuivre les objectifs de celle-ci; d) les pratiques de nature “pseudo-interdisciplinaire”, comme dans l'approche thématique où le thème retenu sert de prétexte et de seul fil conducteur à un enseignement cloisonné des disciplines scolaires retenues.

La conceptualisation que nous avons développée dans les travaux antérieurs (Hasni et al., 2012), en s'appuyant sur les travaux de l'éducation scientifique et mathématique (ex. : Fourez, 1997), et qui a été mobilisée dans le cadre du processus d'accompagnement des enseignants, se base sur des relations complémentaires entre les disciplines concernées (S&T et M) et sur l'identification explicite des contenus de ces disciplines visés par les processus d'enseignement-apprentissages. À cet égard la planification des séquences d'enseignement interdisciplinaire doit prendre en considération les deux questions suivantes.

1) Quels sont les contenus de chacune des disciplines visés par l'apprentissage dans la séquence interdisciplinaire ? Pour l'identification de ces contenus, nous avons adopté la distinction que certains

auteurs font entre les savoirs conceptuels et les savoirs procéduraux (ex. : Haug et Ødegaard, 2014), et qui renvoient, dans certains travaux francophones à la dynamique à établir entre le registre théorique et le registre empirique pour conceptualiser (et modéliser) le monde qui nous entoure (ex. : Martinand, 1996). Au niveau scolaire, les premiers (les savoirs conceptuels) renvoyant au *quoi* (concepts, modèles, théories, etc.), les seconds au *comment*, ce qui couvre dans les différents curricula les habiletés (intellectuelles, techniques, personnelles et sociales) et les démarches d'investigation scientifique et de résolution de problèmes mathématiques (les pratiques scientifiques, dans les récents standards étasuniens). Le but de cette distinction ne vise pas à réduire les disciplines scolaires à ces deux seules composantes. Elle est davantage motivée par des raisons pratiques, parce qu'elle rejoint les composantes des programmes des S&T et de M au Québec et, par conséquent, fait du sens pour les enseignants et peut servir de référence pour opérationnaliser l'interdisciplinarité. Par exemple, les programmes de S&T sont décrits à l'aide de deux composantes, à savoir, les trois compétences disciplinaires (dont celle renvoyant aux démarches d'investigation scientifiques) et les contenus conceptuels et les stratégies (habiletés intellectuelles, personnelles et techniques) ; le programme des mathématiques est structuré autour de deux principales composantes : trois compétences disciplinaires (dont la compétence « résoudre une situation-problème ») et des contenus (concepts et processus) d'arithmétique et algèbre, de probabilité et statistique et de géométrie. Toute tentative d'opérationnalisation de l'interdisciplinarité doit identifier clairement la nature des contenus en jeu en provenance de chacune des disciplines retenues.

2) Quel est le statut des contenus de chaque discipline dans la séquence interdisciplinaire considérée ? S'agit-il d'une nouvelle acquisition (construction) ou de la mobilisation d'un contenu préalablement acquis dans une discipline pour soutenir une nouvelle acquisition dans l'autre discipline ? Même si la mobilisation est une pratique courante, c'est la nouvelle acquisition de contenus de chacune des disciplines considérées qui pose plus de défis. Notons cependant que, dans un cas comme l'autre, ces contenus et les stratégies de leur acquisition doivent être identifiés de manière explicite. En effet, le fait d'apprendre les sciences en français ou de recourir à la modélisation mathématique en physique ne constitue pas nécessairement des pratiques interdisciplinaires.

Les réponses aux deux questions précédentes permettent de décrire différents cas de figure et degrés de l'interdisciplinarité (Hasni et al., 2012). À titre d'exemple, pour prendre des cas illustratifs simples, dans un cours portant sur le concept de fécondation et son rôle dans la transmission des caractères héréditaires, les enseignants peuvent soit mobiliser le concept de probabilité préalablement acquis en M ou viser son appropriation en même temps que le contenu de S&T (s'approprier le concept de probabilité en même temps que le contenu de S&T). Inversement, on peut partir des mathématiques et décider de faire apprendre le concept de probabilité en l'illustrant à l'aide d'un contexte de S&T (la fécondation et la transmission des caractères héréditaires). Si cet exemple, permet d'illustrer les relations possibles entre les S&T et M en considérant des contenus conceptuels, d'autres situations peuvent mettre en relation en même temps les savoirs conceptuels et les savoirs procéduraux (habiletés et compétences en S&T et en M). Par exemple, l'étude des conditions optimales de développement des plantes pourrait amener les élèves à émettre des hypothèses sur les besoins nutritifs de celles-ci et à proposer un protocole expérimental permettant de vérifier chacune des hypothèses (chacune des variables); au terme de cet apprentissage les élèves pourraient conceptualiser le phénomène de photosynthèse (les plantes, en se servant de l'énergie lumineuse, utilisent la matière minérale pour produire – synthétiser – leur propre matière organique). Au cours de la mise en œuvre de cette situation interdisciplinaire, les élèves sont confrontés à divers problèmes mathématiques (mais aussi en chimie) dont, par exemple, la manière de préparer des concentrations variées de sels

minéraux (engrais chimiques). Outre le processus de résolution de problème associé à cette situation, les élèves sont amenés à acquérir diverses habiletés (identification de la nature de la relation fonctionnelle, construction de tableaux, représentations graphiques, etc.) et à s'approprier différents concepts (variables, caractère qualitatif ou quantitatif des données, relations fonctionnelles, etc.) en mathématiques, tout en ouvrant la possibilité à la modélisation mathématique de phénomènes scientifiques et technologiques. Même si le premier exemple (fécondation en S&T et probabilité en M) permet l'établissement de certains liens entre les M et les S&T, ces derniers restent limités. C'est le deuxième exemple (nutrition végétale) qui se rapproche davantage de l'interdisciplinarité au sens strict (Fourez, 1997). Les situations interdisciplinaires sont celles qui permettent de mobiliser des savoirs et des compétences de haut niveau pour explorer des réponses à des problématiques complexes qui ne peuvent être éclairées par une seule discipline ou par des apports disciplinaires cloisonnés (You et al., 2017). Dans cette perspective, chacune des disciplines apporte sa contribution et son éclairage et ne peut servir de simple prétexte. Autrement dit, dans des situations interdisciplinaires, les M ne peuvent servir d'un simple outil pour apprendre les S&T et ces dernières ne peuvent être considérées comme un simple contexte pour apprendre les mathématiques.

3. Processus d'accompagnement des enseignants

Le processus d'accompagnement des enseignants retenu fait appel à la recherche participative (Anadon, 2007) qui vise à rapprocher la recherche, la formation et la pratique, rapprochement devenu nécessaire dans le contexte actuel de la professionnalisation des enseignants qui appelle à fonder les pratiques et les formations sur des savoirs issus de la recherche. De manière spécifique, notre travail s'inspire du *design-based research* (ex. : Brown et Taylor), en ce sens qu'il s'appuie sur les principes suivants :

- Adopter une perspective de la relation entre la recherche et la pratique qui dépasse l'idée de transfert. Plusieurs travaux montrent que la disponibilité des résultats de la recherche (« vulgarisés » ou non) ou de ressources qui en découlent a peu d'impact sur les pratiques (ex. : Hepburn et Beamish, 2019). Ces travaux suggèrent le recours à des dispositifs de recherche et de mobilisation des savoirs qui engagent, côte à côte, les chercheurs et les acteurs scolaires et qui visent à comprendre les phénomènes éducatifs en prenant en considération le sens que leur donnent les acteurs.

- Mettre en place des dispositifs d'accompagnement qui conduisent les enseignants à développer des outils d'enseignement et qui soutiennent le travail réflexif de ces derniers (Shön, 1994), tout en inscrivant la réflexivité individuelle dans une démarche collective de développement professionnel.

Ces orientations nous ont conduits à privilégier d'organiser l'accompagnement dans le cadre de communauté d'apprentissage, regroupant, chaque année, 20 à 30 enseignants de S&T et de M, une dizaine de conseillers pédagogiques et une dizaine de chercheurs (des didacticiens de M et de S&T et des chercheurs des facultés de sciences et de génie). Le processus d'accompagnement et sa relation avec les recueils de données de la recherche sont résumés dans la figure 1. Six journées en moyenne, par année, sont réservées au travail en communauté. Notons que le présent texte ne vise pas à analyser les données de la recherche obtenues par les outils présentés dans la figure 1. Même si quelques données sont rapportées à titre illustratif, il met l'accent plutôt sur le processus d'accompagnement qui accompagne la recherche participative en vue de partager une réflexion sur les pratiques de formation à l'interdisciplinarité entre les S&T et les M au secondaire.

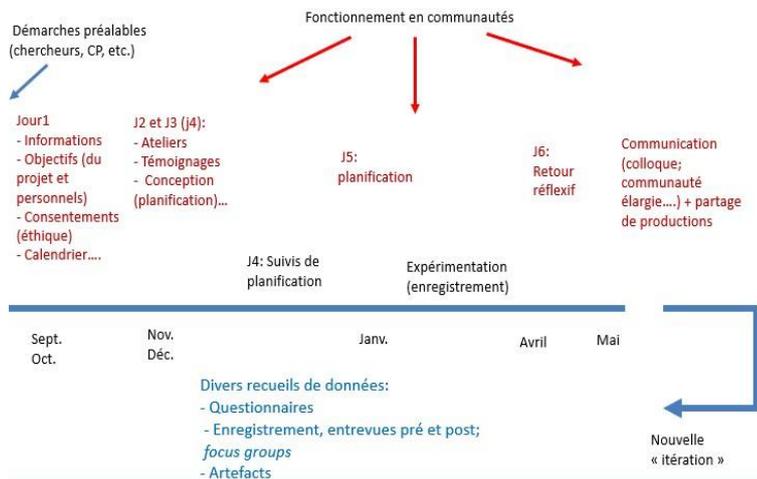


Figure 1. Déroulement-type d'une communauté dans le cadre de nos recherches collaboratives

1) La première rencontre (une journée : J1) est consacrée à la présentation du projet, des objectifs de recherche et d'accompagnement et du déroulement de l'ensemble du processus aux enseignants ayant manifesté leur intérêt de participer à la communauté

d'apprentissage. Les enseignants qui désirent poursuivre confirment leur acceptation et signent le consentement éthique. Soulignons que cette première journée est précédée par des rencontres préparatoires qui regroupent tous les chercheurs et les CP engagés dans le projet (préparation de la programmation annuelle, des outils de recherche et des ateliers, entre autres).

2) Dans le cadre du projet qui nous concerne ici, puisque les enseignants et les CP proviennent de plusieurs commissions scolaires, les trois journées (ou quatre) réservées aux ateliers et au démarrage des planifications des séquences d'enseignement (J2, J3 et J4) se déroulent dans un lieu qui offre les repas et l'hébergement afin de maximiser les échanges (formels et informels) et de minimiser le temps des déplacements. La programmation de ces journées commence par des ateliers préparés et animés conjointement par les didacticiens, les CP et les disciplinaires. L'approche d'accompagnement retenue dans ces ateliers ne repose pas sur la présentation préalable du cadre conceptuel de l'interdisciplinarité (et d'autres concepts didactiques qui lui sont associés), mais sur sa conceptualisation à partir de l'analyse de situations similaires à celles que les enseignants vivent dans leurs classes. Concrètement, des mises en situations simplifiées et scénarisées, émanant de l'analyse de pratiques observées antérieurement en classe (enregistrées), sont présentées aux enseignants en vue de susciter le débat et de les amener à exposer et à discuter de la conception qu'ils ont déjà de l'interdisciplinarité, individuellement et en petites équipes, d'abord, puis en grand groupe, ensuite. La discussion est encadrée par des questions préparées à l'avance par les formateurs (celles qui accompagnent la mise en situation de l'atelier) et enrichie par les questions et remarques émanant des enseignants. Ce n'est qu'à la phase de synthèse des débats que la conceptualisation retenue de l'interdisciplinarité est présentée aux enseignants, en reprenant certaines idées élaborées lors des discussions et en apportant des éclairages et des clarifications aux questions et désaccords exprimés.

3) À la suite des clarifications conceptuelles, un cahier des charges est construit avec les enseignants pour guider la préparation des planifications interdisciplinaires. L'idée n'est pas d'imposer un guide précis de planification, mais de s'entendre sur des éléments qui peuvent servir de repères pour l'analyse des planifications interdisciplinaires qui seront produites. Par exemple, il est question d'identifier de manière explicite les contenus de S&T et de M à faire apprendre aux élèves et le statut de ces contenus (construction ou mobilisation); de décrire clairement les tâches des enseignants et des élèves qui favoriseront les apprentissages visés; d'anticiper les difficultés potentielles des élèves et les modalités de leur faire face; de prévoir les ressources didactiques nécessaires; de décrire éventuellement les modalités de collaboration entre l'enseignant de S&T et l'enseignant des M lors des phases d'enseignement et d'évaluation; etc. Les contenus à retenir pour la planification sont choisis par les enseignants en fonction de la date d'expérimentation prévue en classe (février-avril).

Notre but étant que les enseignants planifient en fonction de leur programme réel et non pas de répondre à une (simple) commande des chercheurs. Les enseignants (de S&T et de M) sont par la suite jumelés en fonction des contenus retenus pour amorcer conjointement la planification interdisciplinaire. Une fois les équipes formées, la planification se poursuit en présence des chercheurs et des CP qui donnent leur appui en fonction des besoins ou pour s'assurer du respect du cahier des charges. Cette phase se termine par une demi-journée où chaque équipe présente l'état d'avancement de sa planification et reçoit une rétroaction de la part de l'ensemble des participants.

4) Après cette phase, les enseignants poursuivent leur planification dans leurs écoles. Une journée de libération (J5, figure1) est prévue pour les enseignants pour leur permettre de finaliser les planifications dans leurs commissions scolaires.

5) Entre le mois de février et avril, c'est la phase d'expérimentation en classe, accompagnée de recueil des données : entrevues pré-enregistrements; enregistrements en classe et recueil d'artefacts; entrevues post-enregistrements. Une copie des enregistrements est par la suite remise à chaque enseignant pour lui permettre de préparer la phase du retour réflexif.

6) Deux journées sont réservées au retour réflexif (une journée par groupe de 10 à 15 enseignants, accompagnés de CP et des chercheurs : J6, figure1). Lors de ces rencontres, les enseignants (individuellement ou en équipe), et en fonction d'un cahier des charges établi conjointement à l'avance, présentent le déroulement de leur expérimentation illustrée par des extraits d'enregistrement en classe. Chaque présentation est discutée par l'ensemble des participants en vue de favoriser la réflexion individuelle et collective sur l'enseignement interdisciplinaire. Les séquences élaborées sont ensuite partagées par les participants.

7) Des enseignants volontaires, accompagnés de CP et de chercheurs, présentent des communications (ateliers) dans le cadre de colloques professionnels (diffusion auprès d'autres acteurs scolaires).

L'annexe 1 présente de brèves descriptions d'exemples de séquences interdisciplinaires préparées par les enseignants de S&T et de M dans le cadre de la communauté d'apprentissage que nous venons de décrire. L'annexe est préparée à partir des entrevues pré et post réalisés avec les enseignants et des artefacts collectés et non pas à partir de l'analyse des enregistrements vidéo (le but et l'espace réservé à cette communication ne le permettent pas).

4. Quelques constats découlant du processus d'accompagnement

Une des retombées du processus que nous venons de décrire est non seulement la production par les enseignants de séquences interdisciplinaires qu'ils ont pu expérimenter en classe, individuellement ou en équipe. Mais, c'est surtout le fait de leur permettre de s'ouvrir à d'autres disciplines que celles qu'ils prennent en charge et à explorer le potentiel de l'enseignement interdisciplinaire. D'ailleurs, la plupart des enseignants ont affirmé lors des entrevues post que, malgré les défis qui l'accompagnent, l'enseignement interdisciplinaire qu'ils ont expérimenté en classe faisait plus de sens pour leurs élèves. Ex. : « Sur le plan mathématique, c'est le *fun* pour les élèves, je trouve, qu'ils voient à quoi ça sert les mathématiques. Tu sais, plutôt que de leur présenter juste la fonction de variation inverse puis de leur donner un problème (à résoudre par la suite)... » (enseignante de M, en parlant d'une situation interdisciplinaire visant l'apprentissage des concepts de concentration et de dilution en S&T et des fonctions, entre autres, en M).

Cette ouverture à l'interdisciplinarité ne va cependant pas de soi. Elle prend du temps et de la volonté à s'ouvrir au langage et à la rationalité de la discipline de l'autre. Le « chauvinisme » disciplinaire

(défendre d'abord l'enseignement de sa discipline) des enseignants et des chercheurs est un vrai défi que l'équipe a pu surmonter progressivement.

Outre l'ouverture aux autres disciplines, il y a aussi la volonté et le désir de travailler avec d'autres collègues qui n'ont pas toujours la même posture ou le même point de vue sur les processus d'enseignement-apprentissage et sur les contenus prioritaires. Et même lorsque les membres affichent cette volonté, il fallait qu'ils acceptent que la planification prenne beaucoup plus de temps que lorsqu'ils planifiaient seuls, parce qu'il fallait tout négocier et argumenter.

Du temps était aussi nécessaire pour les élèves, habitués à un enseignement disciplinaire cloisonné, afin qu'ils s'engagent dans de nouvelles situations ouvertes qui mobilisent plus qu'une discipline : « mais pour eux (les élèves), ils regardent ça et ils se disent : là je fais quoi et pourquoi je fais ça ?... Pour eux, ça c'est la grande difficulté par où je passe pour chercher et trouver un sens ? » (enseignant S&T). « Je dirais que vers la fin je trouvais que les élèves comprenaient bien le lien et où on voulait les amener. Mais, entre chaque étape, leur faire repenser le lien entre ce qu'ils ont fait en mathématiques, ce qu'ils font en sciences, et de mettre tout ça ensemble, parfois ils n'y pensent pas. Donc, ça c'était une difficulté, mais, qui devenait de mieux en mieux (présente) parce qu'on les fait réfléchir en mathématiques et en sciences à la fois. » (enseignant de M).

Un des aspects de l'accompagnement qui a joué le rôle de catalyseur de la pratique réflexive, individuelle et collective, est celui du recours aux enregistrements en classe lors de journée réservée au retour sur les expérimentations. Il faut cependant souligner que ce mode d'analyse des pratiques de classe n'a pas été accepté facilement dès les départs par tous les enseignants. Plusieurs y voyaient une intrusion non désirée dans leur vie professionnelle. Ce n'est que lorsque les enseignants ont senti que l'analyse réflexive ne visait pas l'évaluation de leur pratique et qu'une certaine confiance s'est installée progressivement que ce mode d'accompagnement est devenu un outil puissant. Si au départ, certains enseignants sélectionnaient des extraits qui ne montraient que des images peu significatives d'élèves en action, lorsque la communauté a pris toute sa maturité, les extraits sélectionnés étaient plus riches sur le plan didactique. Le fonctionnement a permis de passer progressivement d'une communauté qu'on pourrait qualifier de secondaire à une communauté qu'on pourrait désigner de primaire (centration sur la discussion des processus d'enseignement-apprentissage significatifs en vue de leur amélioration).

Si certains défis ont été surmontés au cours du processus d'accompagnement mis en place par notre communauté, d'autres dépassent le contexte de cette expérimentation et nécessitent davantage de réflexions à différents niveaux : curriculaire; didactique (dont la formation à l'enseignement) et organisationnel.

Au niveau curriculaire, l'interdisciplinarité nécessite une analyse préalable des programmes de S&T et de M afin de repérer les points de convergence et de complémentarité permettant d'élaborer des situations interdisciplinaires pertinentes. Dans le cadre de notre communauté, dans plusieurs cas, les enseignants ont pu cibler des contenus de S&T et de M qui offrent un grand potentiel d'interdisciplinarité, mais qui sont prescrits dans les programmes à des niveaux scolaires différents. Ce défi renvoie au processus d'élaboration des programmes eux-mêmes. Au Québec, même si la vision véhiculée par la dernière réforme est curriculaire (et non par programmes disciplinaires indépendants), les programmes de M et de S&T ont été élaborés par deux équipes différentes.

Au niveau didactique, notre expérience montre que les enseignants, malgré leur volonté, ne sont pas formés à planifier et à enseigner de manière interdisciplinaire. Les formations des enseignants sont

souvent centrées sur l'enseignement des disciplines de manière cloisonnées. Au Québec, même si certains futurs enseignants peuvent choisir, lors de leur parcours de formation initiale, de prendre des cours sur l'enseignement des S&T et des M, ce choix ne peut suffire à préparer à l'interdisciplinarité, puisque ces cours sont pensés de manière cloisonnée. Certaines universités, comme l'Université de Sherbrooke, ont mis en place quelques activités d'intégration, mais celles-ci ne semblent pas suffisantes pour préparer les futurs enseignants à une didactique de l'interdisciplinarité.

Sur le plan organisationnel, les défis sont nombreux. Par exemple, les enseignants ayant participé à notre projet nous ont fait part du temps supplémentaire que nécessite ce type de planification et de concertation avec les collègues. Ex. : « Évidemment, c'est plus complexe de planifier une situation interdisciplinaire, qu'une situation dans une seule matière. Donc, il y a plusieurs défis organisationnels, surtout au niveau de la planification avec d'autres enseignants, de tisser des apprentissages dans d'autres disciplines à la fois, ça demande de la préparation et du temps » (Enseignante de S&T). D'autres défis ont été rapportés par les enseignants : les espaces sont organisés dans certaines écoles en fonction des disciplines, ce qui ne facilite pas le dialogue ; l'emploi du temps ne prévoit pas des moments de rencontre avec d'autres enseignants; certains groupes d'élèves ne sont pas homogènes dans les cours de S&T et de M; etc.

Bibliographie

Anadon, M. (2007). *La recherche participative : multiples regards*. Québec : PUQ.

Brown, C. et Taylor, C. (2016). Using design-based research to improve the lesson study approach to professional development in Camdon (London). *London review of education*, 14(2), 4-25.

Fourez, G. (1997). Qu'entendre par « îlot de rationalité » et par « îlot interdisciplinaire de rationalité »? *Aster*, 25, 217-225.

Hasni, A., Bousadra, F. et Poulin, J.-E. (2012). Les liens interdisciplinaires vus par des enseignants de sciences et technologies et de mathématiques du secondaire au Québec. *Recherches en didactiques des sciences et technologies*, 5, 131-156.

Haug, B. S. et Ødegaard, M. (2014). From words to concepts: Focusing on word knowledge when teaching for conceptual understanding within an inquiry-based science setting. *Research in Science Education*, 44(5), 777-800.

Hepburn, L., et Beamish, W. (2019). Towards Implementation of Evidence-Based Practices for Classroom Management in Australia: A Review of Research. *Australian Journal of Teacher Education*, 44(2), 82-98.

Lenoir, Y., Hasni, A. et Froelich, A. (2015). Curricular and didactic conceptions of interdisciplinarity in the field of education: A socio-historical perspective. *Issues in Interdisciplinary Studies*, 33, 39-93.

Martinand, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. Dans *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques, Cachan 1994-95* (pp. 1-12), Paris, FR : Liaison interuniversitaire pour la recherche en éducation scientifique et technologique.

Shön, D. A. (1994). *Le praticien réflexif : à la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal : Éditions Logiques.

Tytler, R., Prain, V. et Hobbs, L. (2021). Rethinking disciplinary links in interdisciplinary STEM learning: a temporal model. *Research in science education*, 51, S269-S287.

Yang, Y., Liu, X. et Gardella Jr., A. (2018). Effects of professional development on teacher pedagogical content knowledge, inquiry teaching practices, and student understanding of interdisciplinary science. *Journal of science teacher education*, 29(4), 263-282.

You, H. S. (2017). Why teach science with an interdisciplinary approach: history, trends, and conceptual frameworks. *Journal of education and learning*, 6(4), 66-77.



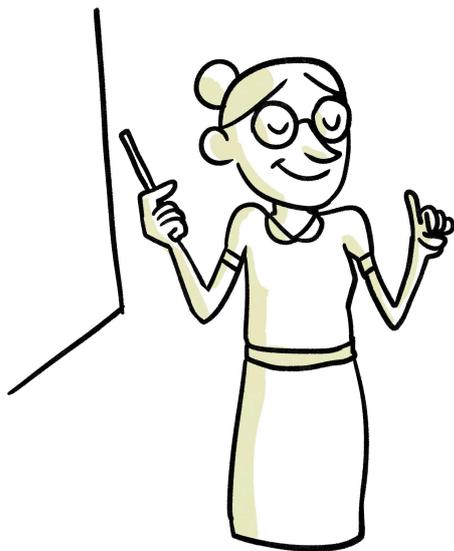
NOUS AVONS ÉTUDIÉ
UN FONDS D'ARCHIVES
PROFESSIONNELLES D'UN
COUPLE D'ENSEIGNANTS
DES ANNÉES 50

EN PARTICULIER,
LE JOURNAL DE CLASSE

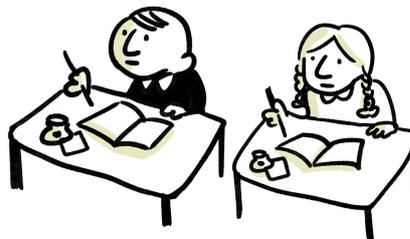
CHANTAL TUFFÉRY-ROCHDI

MAÏS COQ 2022 @
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

INSTITUTRICE DES ANNÉES 1930-1960



C'EST IMPORTANT DE BIEN COMPRENDRE
LE CALCUL : AUCUNE MACHINE
NE LE FERA À VOTRE PLACE...



MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 MAI - 03 JUIN 2022

Approche documentaire et génétique d'archives d'enseignants

Le fonds Roger et Odette Leroy

Résumé : Cette communication présente un travail mené en collaboration autour des archives professionnelles d'un couple d'instituteurs ayant exercé dans les années 1950. À partir de l'analyse d'un petit nombre de pièces de ce fonds et en croisant deux cadres théoriques, issus l'un de la didactique des mathématiques et l'autre des travaux menés autour des pratiques d'écritures des enseignants, nous mettons en évidence le travail de ces enseignants pour concevoir, planifier et garder la trace de leur enseignement.

Mots-clés : archives, enseignement primaire, approche documentaire du didactique, écrits professionnels, journal de classe.

INTRODUCTION

Mener une recherche en didactique à partir d'archives écrites d'enseignants pose des problèmes particuliers. En effet, face à l'impossibilité d'effectuer des entretiens ou des observations de classe et en l'absence de traces des activités des élèves, les pièces conservées peuvent-elles suffire à reconstituer, au moins en partie, le travail de préparation et de mise en œuvre réalisé par l'enseignant ? Les écrits présents dans le fonds Roger et Odette Leroy, couple d'instituteurs ayant exercé en Île-de-France entre les années 1930 et 1970, donnent accès à une partie du travail de ces enseignants pour la préparation, la planification et la conception de leur enseignement. Cette étude part de l'hypothèse qu'un double éclairage, fondé sur l'analyse de ces traces avec les outils développés par les spécialistes de l'écriture, en particulier par les généticiens du texte, et à l'aide des concepts de l'approche documentaire du didactique, permettra de saisir les pratiques d'écriture, le travail documentaire et les connaissances professionnelles de ces enseignants.

DEUX APPROCHES DE L'ACTIVITÉ ENSEIGNANTE PAR SA MATÉRIALITÉ

En tant que discipline, la génétique textuelle aborde le processus d'élaboration des textes écrits à partir de l'analyse d'un *avant-texte*, c'est-à-dire de toute note écrite, de tout brouillon identifié par le généticien comme préparatoire à un *texte*. Dans cette perspective, le *texte* est conçu comme le résultat d'un processus, un produit écrit publié ou, du moins, publiable. Cependant, l'étude des manuscrits s'est progressivement affranchie du *texte* comme aboutissement au profit d'un intérêt pour la spécificité des brouillons (Lebrave, 1992). À partir des manuscrits d'écrivains, le champ de la génétique textuelle s'est ainsi élargi à l'ensemble des manuscrits de travail, notamment ceux des savants, mais aussi ceux des élèves, rejoignant ainsi les travaux en didactique de l'écriture (Doquet et al., 2017). Cet élargissement a aussi mené à interroger la genèse des textes oraux : la notion d'*avant-dire*, proposée par Philippe (2014), a ainsi permis de commencer à cerner les caractéristiques de la préparation écrite des discours oraux.

Si l'on peut donc considérer la préparation de la parole des enseignants en classe, en particulier pour un cours magistral, comme un *avant-dire*, les situations d'enseignement dans lesquelles prend place cette parole présentent des particularités déterminantes pour comprendre leur genèse écrite. Outre la visée formative plutôt que simplement informative de l'oralité magistrale, celle-ci est soumise à ce que l'historienne de l'éducation Bruter (2011) nomme « *les cadres de la parole enseignante* », en particulier

l'ancrage institutionnel, qu'il soit scolaire ou universitaire, et l'inscription dans une discipline. Ainsi, selon le contexte, la place plus ou moins importante accordée dans le cours à la parole enseignante, aux interactions avec les élèves ou les étudiants et l'activité attendue d'eux modifie les pratiques d'écriture des enseignants. À cela s'ajoutent la récurrence périodique de cette parole face à un public identique pendant une durée fixe et la possibilité de la réitérer en cas de reconduction du même enseignement. Dès lors, toute interrogation sur les *notes de cours* des enseignants, définies de manière large comme les écrits produits par les enseignants en vue d'une prise de parole orale dans le cadre d'une situation d'enseignement, nécessite de recourir à une analyse didactique.

En tant qu'écrits professionnels des enseignants (Daunay, 2011), les *notes de cours* relèvent d'une activité de *planification*, comprise au sens de *programmation didactique*, c'est-à-dire de « processus de planification temporelle des contenus d'enseignement d'une discipline » qui, dans une acception restreinte, au niveau de la classe, relève de la *progression* établie par l'enseignant pour ses élèves, généralement en tenant compte du *programme* institutionnellement prescrit (Reuter et al., 2013). Cette écriture professorale, parce qu'elle doit néanmoins tenir compte de l'inévitable écart entre la prévision et la réalisation, n'est pas uniquement préalable au face à face pédagogique : elle lui est aussi postérieure quand il s'agit d'enregistrer le réalisé pour pouvoir adapter et planifier la suite de l'enseignement. L'écriture des *notes de cours* se trouve par conséquent au cœur de la *chronogenèse* décrite par Chevallard dans le cadre de la *transposition didactique* (Chevallard & Johsua, 1991).

L'approche documentaire du didactique (Gueudet et Trouche, 2010) invite à regarder l'activité du professeur dans son unité et sa dynamique et considère que l'activité en classe n'est qu'un moment de celle-ci. Elle propose un ensemble de concepts permettant l'étude didactique du *travail documentaire* des enseignants, c'est-à-dire le travail qu'ils réalisent pour concevoir et mettre en œuvre la matière de leur enseignement. Dans la phase de préparation, le professeur va collecter de façon réfléchie des ressources, les parcourir et en sélectionner certaines. Les ressources sont entendues dans un sens très général, proche de celui d'Adler (2010) comme « *Tout ce qui est susceptible de re-sourcer le travail du professeur.* » (Gueudet et Trouche, 2010, p.57). Cette définition permet de tenir compte de ressources matérielles et non matérielles. Le professeur va alors concevoir une nouvelle ressource (composée à partir d'un ensemble de ressources sélectionnées, modifiées, recombinaisons) et une façon d'utiliser cette ressource. Pour ne pas induire des confusions entre les ressources mobilisées et produites, Hammoud (2012) introduit les concepts de *ressources-mères* et *ressources-filles*. L'enseignant va ensuite mettre en œuvre la ressource fille, la partager avec ses élèves et peut-être avec d'autres enseignants, ce qui va souvent le conduire à réviser la ressource et/ou la façon de l'utiliser. C'est l'ensemble de ce travail que Gueudet et Trouche (2010) nomment le travail documentaire.

L'approche documentaire introduit une distinction fondamentale entre l'ensemble des ressources disponibles et le *document* que le professeur développe au fil du temps à partir de cet ensemble. La notion de document intègre à la fois une nouvelle ressource et un schème d'utilisation de cette ressource. Un schème selon Vergnaud (1996) est une organisation invariante de l'activité pour une classe de situations entendue ici comme des situations d'activités professionnelles ayant des caractéristiques proches. Un schème comporte quatre composantes : un ou plusieurs buts, des règles d'action, des invariants opératoires et des possibilités d'inférences en situation. Reprenant cette définition, Gueudet et Trouche (2010) s'attachent à identifier dans le schème d'utilisation d'une ressource des règles d'action et des invariants opératoires. Les règles d'action sont des régularités observables dans l'activité de l'enseignant à travers différents contextes pour une même finalité que Gueudet et Trouche (2008) appellent *usages*. Les *invariants opératoires* sont les connaissances professionnelles de l'enseignant, définies ici comme l'ensemble des connaissances susceptibles d'intervenir dans l'activité professionnelle des enseignants. Le processus par lequel un document naît d'un ensemble de ressources est nommé *genèse documentaire*. Il combine deux sous-processus : l'*instrumentation* et l'*instrumentalisation*. Les ressources instrumentent le professeur en l'outillant et influencent ainsi son activité l'amenant à constituer de nouveaux schèmes d'utilisation. En retour, le professeur s'approprié ces ressources et les adapte à son objectif d'enseignement ; il peut les prolonger ou les détourner de leur objectif premier, dans un processus d'*instrumentalisation*. Les documents développés par le professeur au fil des genèses ne sont pas isolés ; ils sont au contraire articulés entre eux de façon complexe. Ils

constituent un système structuré nommé *système documentaire* du professeur, composé du système de ressources et des connaissances professionnelles associées. Les genèses documentaires se poursuivent dans le temps et n'ont ni début, ni fin précisément identifiables.

Une méthodologie spécifique nommée *investigation réflexive* (Gueudet et Trouche, 2010) a été développée pour l'étude du travail documentaire des enseignants. Elle s'appuie sur un suivi long, en tout lieu, en classe mais aussi hors classe et sur le recueil des ressources matérielles utilisées et produites. L'enseignant est associé à ce recueil et est amené à adopter une posture réflexive sur sa pratique en particulier lors des entretiens menés. Dans le cadre de cette recherche qui s'appuie sur un fonds d'archives, cette méthodologie ne pourra pas être mise en place.

DESCRIPTION DES ARCHIVES ET CONTEXTE HISTORIQUE

Roger et Odette Leroy étaient instituteur et institutrice en Seine-et-Oise¹. Anciens élèves de l'École normale d'instituteurs de Paris et de celle d'institutrices de Versailles, ils ont exercé dans des écoles communales de l'actuel Val-d'Oise entre la fin des années 1930 et le début des années 1960, avant de s'installer dans le Val-de-Marne à partir de 1964. Ils ont eux-mêmes confié leurs archives professionnelles aux Archives départementales du Val-de-Marne en 1984 avant de compléter le fonds en 2009. Celui-ci est conservé sous les cotes 42J 1-126 et représente 0,8 mètre-linéaire.

Le fonds se compose de documents à valeur institutionnelle (emplois du temps et calendriers scolaires, relevés de notes), de manuels scolaires et de documentation à visée pédagogique (presse, revues professionnelles et syndicales) : on y trouve tant leurs propres manuscrits que des imprimés collectés au cours de leur carrière. Bien qu'il n'ait pas été possible de trouver plus d'informations biographiques sur le couple Leroy, un examen de l'ensemble du fonds donne une idée de leurs convictions personnelles et professionnelles. Ainsi, des extraits d'un « Fichier Scolaire Coopératif » attestent d'une connaissance – si ce n'est d'une pratique – des méthodes préconisées par Freinet (1938) et des outils d'aide à leur mise en œuvre. De plus, des numéros de la revue *Le bulletin, documents et recherches* (1955-1957) témoignent à la fois d'une foi catholique et d'une sensibilité aux idées communistes. Aussi pourrait-on qualifier ce couple d'enseignants de « progressiste ».

Au sein du fonds, le journal de classe rempli durant l'année 1954-1955 (AD Val-de-Marne 42J 3), alors qu'ils travaillaient à l'école mixte du Baillon, à Asnières-sur-Oise, où une classe unique recevait les élèves du CP jusqu'au cours supérieur (CS) préparant au Certificat d'Études Primaires (CEP), est apparu comme une pièce centrale. Il offre en effet une vision globale à la fois de l'organisation de la classe et du travail des enseignants, permettant ainsi une mise en regard des différentes disciplines enseignées². Cet outil créé au milieu du XIXe siècle perdure jusqu'à aujourd'hui sous la forme du cahier-journal. D'autre part, le fonds contient une série de fiches thématiques manuscrites. Sans dates, elles concernent différentes disciplines. Une seule, intitulée « le centimètre » (AD Val de Marne 42J 2), concerne les mathématiques. Elle offre un observatoire sur la manière dont les époux Leroy articulent théorie de l'enseignement des mathématiques et pratiques de classe.

Les extraits du fonds précédemment décrits posent d'abord des problèmes de définition : de quel type de *ressources* s'agit-il ? Peut-on les qualifier de *notes de cours* ? On se demandera ensuite en quoi ces produits d'une activité d'écriture professionnelle, révèlent le travail documentaire du couple Leroy pour concevoir, planifier et mettre en œuvre son enseignement. Enfin, de façon plus générale, on s'interrogera sur la complémentarité des deux approches retenues : dans quelle mesure la dimension scripturale et la dimension documentaire du travail des enseignants s'éclairent-elles réciproquement ?

¹ Cet ancien département français, disparu en 1968, a été subdivisé de manière à former les départements actuels des Yvelines, de l'Essonne, du Val-d'Oise et, en partie, des Hauts-de-Seine, du Val-de-Marne et de la Seine-Saint-Denis.

² Il n'a pas été possible de savoir si le cahier était tenu par Roger ou par Odette Leroy ni comment le travail au sein de la classe se répartissait entre eux.

MÉTHODOLOGIE

L'analyse du fonds Leroy s'est faite dans la double perspective des cadres théoriques précédemment décrits. D'un point de vue génétique, nous avons cherché à identifier ce qui, dans les écrits conservés par cet instituteur et cette institutrice, pouvait relever des *notes de cours*, autrement dit ce qu'ils écrivaient et avaient sous les yeux ou, du moins, sous la main au moment d'enseigner. Dans une perspective génétique, nous avons tenté de reconstituer une chronologie des pratiques d'écriture dans le journal de classe et dans la fiche thématique sur le centimètre. Pour cela, nous nous sommes appuyées sur une analyse des différents outils d'écriture employés (stylo, crayon, encres diverses), des traces des opérations d'écriture (ajout, suppression, remplacement, déplacement) et des opérations matérielles telles que le découpage ainsi que des usages de l'espace graphique que constitue la page.

Dans le cadre de l'approche documentaire du didactique, à partir des ressources transmises et en particulier du journal de classe et de la fiche sur le centimètre, nous nous sommes attachées, dans un premier temps, à identifier les ressources mères utilisées. Par exemple, pour les mathématiques du cours élémentaire, plusieurs manuels issus de différentes collections sont utilisés alternativement. Le premier manuel est *Le Calcul vivant, cours élémentaire* de L. et M. Vassort paru en 1950, que nous noterons *Vassort-CE*. Le deuxième est de la même collection, il s'agit du manuel *Le Calcul vivant, cours élémentaire et cours moyen* des mêmes auteurs paru en 1952. Nous le noterons *Vassort-CE-CM*. Dans la deuxième partie de l'année un autre manuel est régulièrement utilisé. Il est intitulé *Nouvelle arithmétique des écoles primaires, cours élémentaire nouveau* de X. et O. Mortreux qui pourrait être celui paru en 1946 que nous noterons *Mortreux*. Enfin, il est fait référence à une reprise à un manuel uniquement identifié par *Condevaux* dans le journal de classe et que nous noterons ainsi. Nous pensons qu'il s'agit du manuel *Arithmétique, cours élémentaire* de G. Condevaux et L. Blanquet paru en 1932. L'analyse du journal de classe nous a ensuite permis à la fois de percevoir comment l'enseignant sélectionnait, modifiait et recombinaient ces ressources et de dégager des régularités, des usages de ces ressources. L'ensemble de ce travail nous a également permis d'inférer des connaissances professionnelles de l'enseignant.

ANALYSE CROISÉE DES ARCHIVES DU FONDS LEROY

Le Journal de classe pour la préparation des leçons et des devoirs s'adaptant à tous les emplois du temps se présente sous la forme d'un fascicule contenant une succession de tableaux à double entrée, tous identiques, qui occupent chacun une double-page (Figure 1). En haut de chacune, un espace sert à indiquer les dates de début et de fin de la semaine. Le tableau lui-même est composé de cinq lignes correspondant aux jours de classe et de neuf colonnes représentant les disciplines enseignées. Cet outil, qui peut sembler *a priori* très complet, ne répond cependant pas entièrement aux besoins du couple Leroy qui a en charge une classe unique.

Les adaptations qu'ils apportent au journal de classe sont de plusieurs ordres. La première est purement matérielle. Il s'agit du découpage, une double-page sur deux, de l'extrémité de la page de droite. Cette découpe permet aux enseignants de coupler deux double-pages de façon à pouvoir remplir deux tableaux successifs pour les mêmes dates. La première des deux double-pages concerne l'enseignement aux élèves de CP, CE1 et CE2 ; la seconde à ceux de CM1, CM2 et CS. Une autre modification entre dans le champ de l'écriture proprement dite. Pour les double-pages CP-CE, les titres des colonnes sont barrés et, parfois, transformés. Ainsi, « Morale et instruction civique » devient « lecture CP » tandis que « Lecture et récitation » devient « lecture CE » ; le titre « Exercices d'observation ou sciences appliquées » est également supprimé, mais sans être remplacé. Tout ce travail organisationnel, périphérique à l'enseignement lui-même, se situe aussi à la périphérie des pages du journal de classe.

Les couleurs verte (pour les CP-CE) et rouge (pour les CM-CS) représentent une seconde strate d'écriture. Elles indiquent, à l'intérieur des cases, les matières abordées chaque jour, sous forme d'intertitres, toujours alignés à gauche, le plus souvent en haut de la case, mais parfois également au milieu ou vers le bas. Ces intertitres en couleur font partie du travail de préparation de l'outil lui-même,

« écrit ») ; des renvois aux supports d'apprentissage (« cahier d'écriture », « Moulin bleu p. 40 ») ; des instructions au maître lui-même (« visite du matériel », « livre administratif »).

La fiche sur le centimètre présente des pratiques d'écriture un peu différentes (Figure 2). Si le stylo rouge sert aussi pour le titre et les intertitres et si le stylo noir y joue le même rôle que le bleu dans le journal de classe, le crayon est employé dans un second temps, pour ajouter une indication, ce qui montre bien qu'ici le permanent précède l'éphémère : cet écrit n'est pas fait pour être révisé périodiquement. D'ailleurs, les informations que contient la fiche sont de nature différente de celles du journal de classe. Y figure d'abord le matériel pédagogique à utiliser : bandes centimétriques, décimètres, réglettes murales. Vient ensuite une référence à des écrits de Julien Husson, directeur de l'école normale d'instituteurs de Rouen et responsable, dès la fin des années 1940, des fiches de calcul du Fichier Scolaire Coopératif. La fiche résume ses recommandations concernant la progression qui sont dites « conformes au développement enfantin » et signale la plus grande difficulté, pour un enfant, à mesurer les lignes verticales qu'horizontales. Enfin, une liste d'exercices de mesure à faire en classe sans recourir à un manuel est proposée.

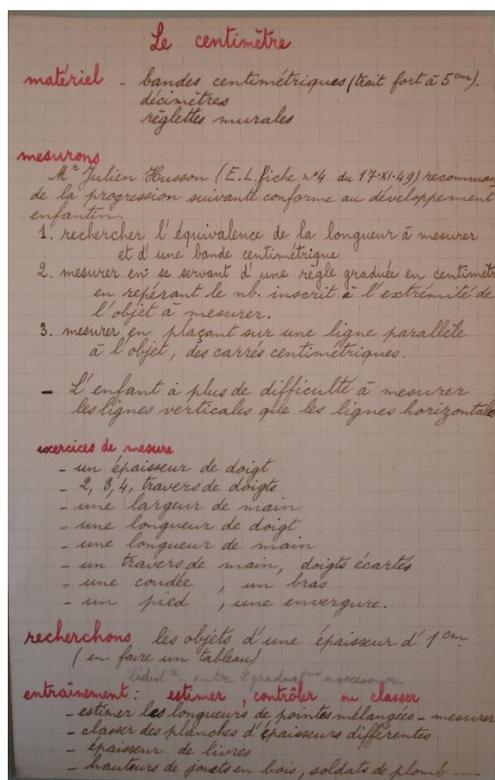


Figure 2 : La fiche sur le centimètre (AD Val de Marne 42J 2)

Pour le cours élémentaire, dans la colonne *CALCUL Arith. Système Métrique et Géométrie, Calcul Mental* du journal de classe, il ne figure pas d'intertitres. L'objet de la séance est toujours écrit. Ainsi sur la première semaine de classe nous lisons pour le mardi « les lignes droites, verticales, horizontales, obliques », pour le jeudi « révisions des opérations » et pour le vendredi « le mètre ». Pour certaines séances, il n'est fait aucune référence à un manuel. Par exemple, pour la séance intitulée « le mètre », il est juste noté entre parenthèses « mesures dans la classe » ce qui semble faire écho à la fiche sur le centimètre décrite ci-dessus. Pour d'autres séances, sur la même ligne que l'objet de la séance figure un numéro de page. Enfin, d'autres séances comportent des numéros d'exercices issus de manuels. Lorsqu'il est fait référence au *Vassort-CE* rien ne le précise dans le journal de classe contrairement aux autres manuels qui sont identifiés soit sous la forme *Vassort CE-CM* soit en abrégé *Vt CE-CM* et de façon équivalente pour le manuel *Mortreux (Mx)*. Ceci nous conduit à considérer le *Vassort-CE* comme manuel principal. Dans ce manuel, à chaque page il y a un titre, une illustration parfois accompagnée de manipulations, une leçon (qui peut se terminer par « Retenons »), des exercices et enfin des problèmes. Notre hypothèse est que le manuel sert à la fois de base d'exercices mais également de

support pour l'introduction de nouvelles connaissances et de trace de ce qu'il faut retenir. Même si le manuel *Vassort-CE* semble être le manuel principal des élèves de cours élémentaire en mathématiques, nous notons que la progression n'est pas totalement respectée par l'enseignant et que certaines pages ne sont pas utilisées sur l'année. Une autre information notée dans le journal de classe réside dans la résolution orale de certains exercices qui n'étaient pas explicitement identifiés comme tels dans le manuel.

Une lecture attentive du journal de classe permet de percevoir une différenciation des exercices à destination des élèves de cours élémentaire première année et des élèves de cours élémentaire deuxième année. Une partie des exercices peut être commune et des exercices sont ajoutés pour les élèves de deuxième année ou bien des exercices différents sont donnés pour chaque niveau. Cette différenciation peut expliquer l'utilisation ponctuelle d'un autre manuel. Par exemple, le jeudi 24 septembre, pour la séance intitulée « révisions des opérations », l'enseignant fait le choix d'utiliser le *Vassort-CE-CM* et de proposer l'exercice 102 (huit additions de deux nombres à deux chiffres sans retenue) aux élèves de première année et l'exercice 107 (six additions de deux nombres à trois chiffres avec un seul cas de retenue) aux élèves de deuxième année. Dans le manuel *Vassort-CE*, un exercice vraiment très similaire à l'exercice 102 est présent mais l'équivalent de l'exercice 107 n'existe pas. Nous faisons ainsi l'hypothèse que le choix de l'enseignant de travailler sur un autre manuel repose sur un souci de différenciation.

Enfin, la référence au manuel *Condevaux* pour la soustraction à retenue a attiré notre attention. La soustraction à retenue est abordée dans la classe le 6 décembre à partir de la page du manuel *Vassort-CE*. Dans ce manuel, l'approche est faite par la manipulation de pièces de monnaie : des pièces de 10 francs et des pièces de 1 franc et donc par « cassage » de pièces de 10 francs. Les élèves sont ensuite amenés à remarquer que « si je transforme une dizaine en 10 unités ou si j'ajoute 10 unités au nombre supérieur et une dizaine au nombre inférieur, je trouve le même résultat ». La méthode de soustraction posée par conservation des écarts avec retenues écrites dans des bulles est ensuite présentée. Des exercices de la même page seront faits sur la même séance et sur la séance du lendemain. La référence au manuel *Condevaux* date ensuite du 20 décembre. Dans ce manuel, l'introduction de la soustraction à retenue est faite à partir de la résolution d'un problème de prix et est introduite comme une addition à trous. On cherche le prix de la main œuvre tel que « $37 \text{ fr.} + \text{la main d'œuvre} = 65 \text{ fr.}$ ». La méthode de soustraction posée donnée ensuite sans transition repose également sur la méthode de conservation des écarts mais la retenue n'est pas notée (elle est retenue de mémoire). Même si nous disposons de trop peu d'informations sur l'usage fait avec les élèves du manuel *Condevaux*, nous notons les approches différentes des deux manuels.

CONCLUSION

Bien que les écrits d'Odette et Roger Leroy dans le journal de classe ne forment à aucun moment un texte, les outils de la génétique textuelle permettent de comprendre à la fois la manière dont ces instituteurs organisaient l'activité des élèves dans une classe unique de six niveaux et le rôle central de l'écriture dans leur travail. Avec plusieurs périodicités, écrire sert non seulement à garder en mémoire les exercices à proposer aux élèves, mais aussi à structurer les savoirs et à les répartir dans le temps, à l'échelle de la séance, de la journée, des semaines, des mois et de l'année. Le journal de classe, outil institutionnel très contraignant, reflète pourtant une grande liberté pédagogique. Le fonds révèle ainsi une synthèse entre des pratiques héritées du XIXe siècle et d'autres très contemporaines, inspirées de l'éducation nouvelle.

Du point de vue de l'approche documentaire du didactique, bien que la méthodologie préconisée ne puisse pas être mise en place ici et bien que nous disposions de peu d'informations, nous sommes parvenues à mettre au jour une partie du travail documentaire de l'enseignant. Nous avons ainsi identifié des ressources-mères utilisées : différents manuels mais également des lectures pédagogiques. L'analyse des ressources-filles qui nous sont parvenues, la fiche intitulée « le centimètre » et le journal de classe, nous a conduites à noter une grande diversité d'utilisation de ces ressources mais également à dégager des régularités et à inférer des usages de ces ressources. Ce travail met en avant

l'appropriation des ressources disponibles par l'enseignant par ses choix de mener des exercices à l'écrit ou à l'oral, de sélectionner des exercices et des leçons, de ne pas suivre la programmation du manuel, d'alterner les manuels. Nous observons ainsi les phases d'instrumentation et d'instrumentalisation des ressources. Cette analyse nous a également permis de percevoir les connaissances professionnelles de l'enseignant sur les attendus des programmes de l'époque, sur les différents niveaux de ses élèves selon leur année dans un cycle, sur différentes approches possibles d'une même notion, sur des préconisations issues de lectures pédagogiques.

Ainsi, le double regard porté sur ce fonds a mis en évidence des complémentarités entre les approches retenues, qui éclairent la gestion de la polyvalence et de l'hétérogénéité des classes par les enseignants du primaire. L'analyse des temporalités de l'écriture et de la topographie de ses traces a permis de retracer la chronologie du travail documentaire des enseignants. Inversement, la reconstitution du système documentaire, dans la mesure où il est repérable à partir d'archives très circonscrites, a contribué à saisir la portée didactique des pratiques d'écriture identifiées. Un prolongement du travail autour du même fonds aux documents qui n'ont pas pu être exploités ici, notamment les autres fiches thématiques, qui portent sur le français, et un élargissement à d'autres disciplines représentées par d'autres types de ressources permettrait d'approfondir les analyses.

BIBLIOGRAPHIE

- Adler, J. (2010). La conceptualisation des ressources. Apports pour la formation des professeurs de mathématiques. In G. Gueudet et L. Trouche (Éds.), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques* (p. 23-39). PUR.
- Bruter, A. (2011). Les cadres de la parole enseignante. *Histoire de l'éducation*, 130, 5-29.
- Chevallard, Y., & Johsua, M.-A. (1991). *La transposition didactique : Du savoir savant au savoir enseigné* (2^e éd.). La Pensée sauvage.
- Daunay, B. (Éd.). (2011). *Les écrits professionnels des enseignants : Approche didactique*. PUR.
- Doquet, C., David, J., & Fleury, S. (Éds.). (2017). *Corpus, 16: "Spécificités et contraintes des grands corpus de textes scolaires : problèmes de transcription, d'annotation et de traitement"*. <http://journals.openedition.org/corpus/2727>
- Freinet, C. (1938). Le fichier scolaire coopératif. *Brochures d'Education Nouvelle Populaire*, 5. <https://www.icem-freinet.fr/archives/benp/benp-5/benp-5.htm>
- Gueudet G. et Trouche, L. (Éds.). (2010). *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques*. PUR.
- Hammoud, R. (2012). *Le travail collectif des professeurs en chimie comme levier pour la mise en œuvre de démarches d'investigation et le développement des connaissances professionnelles. Contribution au développement de l'approche documentaire du didactique* [Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00762964>
- Lebrave, J.-L. (1992). La critique génétique : une discipline nouvelle ou un avatar moderne de la philologie ? *Genesis. Manuscrits, Recherche, Invention*, 1, 33-72.
- Philippe, G. (2014). Écrire pour parler. Quelques problématiques premières. *Genesis. Manuscrits, Recherche, Invention*, 39, 11-28.
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I., & Lahanier-Reuter, D. (2013). Programmation didactique. In *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques* (p. 179-183). De Boeck Supérieur.
- Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation. In R. Noirfalise et M.-J. Perrin (Éds.), *Actes de l'École d'été de didactique des mathématiques* (p. 174-185). IREM, Université de Clermont-Ferrand 2.

L'APPRENTISSAGE DE LA MESURE

NE VOUS ATTARDEZ PAS
SUR LES TERMES : ILS NE
SONT PAS EXACTS

NI CLAIREMENT
DÉFINIS ...

TOUT EST + COMPLEXE
QUE CE QU'ON PENSAIT

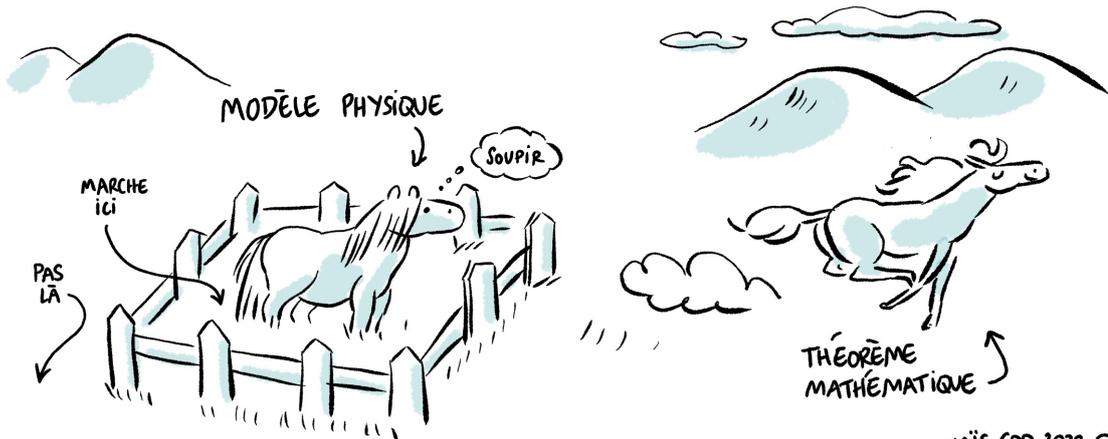
VALÉRIE
MUNIER



OUI C'EST PROBLÉMATIQUE
MAIS ON A PAS TROUVÉ MIEUX
...

C'EST GALÈRE POUR
LES ÉLÈVES...

MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
30 AVRIL - 3 JUIN 2022



MAÏS COQ 2022 @

RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

Une approche inter-didactique de l'enseignement et l'apprentissage de la mesure

Résumé : Dans cette communication nous proposons de montrer comment l'articulation entre les didactiques des mathématiques et de la physique peut éclairer certaines problématiques didactiques propres à l'enseignement de chacune des deux disciplines. Pour cela nous nous appuyons sur des recherches sur l'enseignement et l'apprentissage de la mesure qui croisent les didactiques des mathématiques et de la physique et la psychologie cognitive. Nous présentons dans un premier temps une synthèse de nos travaux antérieurs montrant le caractère heuristique pour les chercheurs d'une distinction explicite entre aspects empiriques et théoriques de la mesure. Nous présentons ensuite des travaux en cours qui, d'une part, questionnent la possibilité de prendre en charge plus explicitement cette distinction en classe, d'autre part qui tentent de comprendre comment les élèves construisent et conceptualisent la mesure, en prenant en compte la dimension cognitive. Pour finir nous discutons de manière plus générale le type d'articulation des didactiques à l'œuvre dans ces recherches, les apports pour chacune des deux didactiques, les questions encore en suspens.

Mots-clé : mesure, incertitudes, modélisation, inter-didactique

Introduction

La question de l'« articulation » entre mathématiques et physique est à la fois légitimée par les disciplines de référence et prescrite dans les instructions officielles depuis de nombreuses années. L'articulation entre les didactiques de ces deux disciplines se justifie dès lors qu'il s'agit d'aborder des problématiques interdisciplinaires, mais dans cette communication nous nous proposons de montrer comment elle peut également éclairer les problématiques didactiques propres à l'enseignement de chacune des deux disciplines. Pour cela nous nous appuyerons sur des recherches que nous développons depuis plusieurs années sur la mesure en croisant didactique des mathématiques et de la physique et plus récemment psychologie cognitive.

Ce travail s'inscrit dans la continuité de travaux menés au LIRDEF depuis plus de 20 ans sur l'enseignement des grandeurs et la mesure. Ces travaux portaient au départ sur la construction des grandeurs et questionnaient la pertinence d'activités de modélisation de situations de physique pour construire des concepts mathématiques. Ils se sont progressivement orientés sur des problématiques liées à la mesure et aux incertitudes, avec toujours en ligne de mire la question de la modélisation. L'arrivée dans l'équipe d'A. Chesnais nous ont amenées à croiser nos regards sur les difficultés rencontrées par les élèves et les enseignants identifiées dans nos travaux respectifs. Nous avons montré que certaines d'entre elles pouvaient être interprétées en termes de difficultés à appréhender la distinction et les relations entre les valeurs obtenues en utilisant des instruments et celles qui peuvent être déterminées en utilisant des lois, théorèmes ou définitions (Munier et al., 2017). Le croisement des didactiques des mathématiques et de la physique nous a ainsi conduites à interroger les différents aspects du concept de mesure, à re-questionner les savoirs en jeu dans les deux disciplines et à proposer de distinguer explicitement les aspects empiriques et théoriques de la mesure.

Nous présentons tout d'abord quelques éléments théoriques sur la mesure, puis la distinction que nous proposons entre mesure théorique et mesure empirique. Nous synthétisons ensuite les travaux que nous avons menés ces dernières années mobilisant cette distinction, qui montrent en quoi elle est heuristique pour les chercheurs. Nous présentons ensuite nos questions de recherches actuelles concernant d'une part la possibilité de prendre en charge plus explicitement cette distinction en classe, d'autre part pour tenter de comprendre comment les élèves construisent et conceptualisent la mesure, en prenant en compte la dimension cognitive. Pour finir nous discutons de manière plus générale le type d'articulation des didactiques à l'œuvre dans ces recherches, les apports pour chacune des deux didactiques, les questions qui sont encore en suspens et des pistes de recherche qui se dégagent de ces travaux.

L'enseignement et l'apprentissage de la mesure

La notion de mesure

La notion de mesure est incontournable, aussi bien en mathématiques qu'en sciences expérimentales (Smith et al., 2011). Elle fait donc tout naturellement partie des sujets classiquement pris en charge par les curricula, en mathématiques et en sciences, dans la plupart des pays (rapport PISA, ODCE, 2009). Les didacticiens des mathématiques l'incluent dans la liste des *powerful mathematical ideas* qui « transcendent les domaines » (Langrall et al., 2008) et elle se trouve ainsi non seulement à l'articulation des mathématiques et de la physique mais aussi, au sein même des mathématiques, à l'articulation des domaines « numération », « géométrie » et « grandeurs et mesures » (Smith et al., 2011; Chambris & Dougherty, 2013).

Si la notion de mesure est centrale dans ces deux disciplines, les définitions qu'elles en donnent diffèrent. En physique la définition de la mesure renvoie à l'opération matérielle de mesurage : « processus consistant à obtenir expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur » (BIPM, 2008), ce processus conduisant à un résultat donné sous la forme d'une valeur et d'un intervalle de confiance (Perdijon, 2012). En mathématiques la mesure est définie comme une fonction d'un ensemble d'« objets » (qui restent néanmoins à définir) dans \mathbb{R}^+ (Perrin, 2011), le « résultat » d'une mesure étant donc, par définition même, un réel unique. On est donc amenés à manipuler une notion qui porte le même nom dans les deux disciplines mais qui renvoie dans chacune d'elles à la fois à des éléments partagés et à des différences sur lesquelles nous reviendrons plus loin. Cela a nécessairement des implications lorsqu'il s'agit de construire un enseignement cohérent de la mesure au sein et à l'interface de chacune de ces disciplines et cela légitime, voire rend nécessaire, l'articulation de leurs didactiques.

Mesure théorique / mesure empirique

Des analyses épistémologiques croisées nous ont conduites à proposer une distinction entre « mesure théorique » et « mesure empirique » que nous décrivons brièvement ci-dessous (pour plus de détails voir (Chesnais et Munier, 2016) et (Munier et Chesnais, 2020)). Nous appelons mesure théorique une mesure obtenue à partir de calculs, sur la base d'informations données (par exemple la détermination d'une intensité en utilisant la loi d'Ohm ou d'une longueur à l'aide du théorème de Pythagore), ou fournie comme donnée d'un problème. Le terme mesure empirique désigne une valeur résultant d'une action matérielle avec un instrument, par exemple lorsque l'on mesure une tension à l'aide d'un voltmètre ou une longueur à l'aide d'une règle. Par nature les mesures empiriques sont des nombres décimaux, assortis d'un intervalle de confiance, tandis que les mesures théoriques sont des nombres réels et sont considérées comme des valeurs exactes. Dans

certains cas où les deux « existent », valeurs empiriques et théoriques sont égales, mais, la plupart du temps, elles ne coïncident pas et les mesures empiriques sont des valeurs approchées des mesures théoriques. Cela entraîne une incompatibilité apparente entre la définition de la mesure en mathématiques comme une fonction réelle positive et celle de la mesure en physique qui résulte de l'utilisation d'un instrument. Bien sûr, cela ne constitue pas une contradiction pour l'expert qui sait comment gérer les relations entre ces deux objets (tout en utilisant le même terme pour les deux), et qui différencie les mesures, quand cela est nécessaire, en ajoutant « exacte » ou « approchée ». Cependant cela peut entraîner des difficultés pour les élèves qui doivent à la fois construire les différentes dimensions de la mesure et les articuler, alors même que l'enseignement de la mesure théorique s'appuie sur la pratique du mesurage. Certaines difficultés des élèves peuvent ainsi s'expliquer par des conflits, des difficultés d'identification, de hiérarchisation et d'articulation entre les dimensions empiriques et théoriques de la mesure.

Nous nous sommes intéressées à la prise en charge de ces difficultés et plus largement des aspects empiriques et théoriques de la mesure par les didactiques des mathématiques et de la physique (Chesnais et Munier, 2016). En didactique de la physique, la plupart des études sur la mesure se sont focalisées sur les raisonnements des élèves et étudiants sur les incertitudes (Lubben et Millar, 1996, Maisch et al., 2008), donc sur des questions liées à la mesure empirique. Ces travaux ont montré que les élèves ne disposent que de très peu des outils conceptuels permettant de raisonner sur la dispersion des résultats de mesure (Séré et al., 2001) et que nombre d'entre eux considèrent qu'avec suffisamment de soin il est possible d'obtenir la « bonne » valeur d'une grandeur. Les rares études qui se sont intéressées à la prise en compte de la mesure dans l'enseignement de la physique ont montré que les questions de variabilité et d'incertitudes sont peu prises en charge dans l'enseignement. Séré pointe notamment chez les enseignants « une résistance certaine à aborder avec leurs élèves le problème des incertitudes » (Séré et al., 1998), notamment par crainte que les élèves deviennent sceptiques vis-à-vis de l'expérience. En didactique des mathématiques, les travaux de recherche portent essentiellement sur la construction du sens de la mesure théorique (notion d'unité et itération de l'unité, échelle, graduation etc.). La mesure empirique n'apparaît donc pas comme un objet d'apprentissage en soi (elle n'a, de fait, pas de « légitimité » en mathématiques). L'incertitude des mesures empiriques n'apparaît que comme objet dans les études sur l'enseignement des statistiques, comme « exemple paradigmatique de variabilité » (Chevallard et Wozniak, 2003). Toutefois, la question du rapport entre aspects empiriques et théoriques de la mesure se pose nécessairement dans les travaux portant sur l'enseignement de la géométrie, en particulier sur la question de l'articulation entre paradigmes géométriques. Mais lorsque des difficultés apparaissent¹, elles sont interprétées comme une problématique liée non pas à la conceptualisation de la mesure, mais aux connaissances numériques des élèves (qui ne considèrent comme mesures possibles que des nombres décimaux).

Cette étude de la littérature montre des difficultés des élèves et des enseignants à gérer la dispersion des mesures empiriques (en physique) et le rapport entre les aspects empiriques et les aspects théoriques de la mesure, et que cette question est très peu prise en charge en tant que telle par la recherche en didactique, en France comme ailleurs (Smith et al. 2011; Chambris & Dougherty, 2013 ; Séré et al., 2001).

¹ Par exemple les difficultés qui se posent aux élèves (et aux enseignants) en lien avec la distinction et le rapport entre valeurs approchées et valeurs exactes ou lorsque les élèves utilisent un instrument pour valider une propriété au lieu d'une démonstration (Kuzniak, 2009) ou même lorsqu'ils arrondissent les valeurs non décimales trouvées pour des mesures de longueurs en appliquant le théorème de Pythagore (Jacquier 1995).

Résultats des études antérieures (Chesnais et Munier (2016) et Munier et Chesnais (2020))

Nous avons montré l'intérêt, pour le chercheur, de distinguer mesure empirique et mesure théorique pour préciser les savoirs en jeu et les enjeux d'apprentissage liés à la mesure. Sur le plan épistémologique cette distinction permet de montrer, d'une part, que le rôle des mesures empiriques n'est pas le même dans les deux disciplines : si la mesure empirique permet d'établir une loi en physique², elle ne permet en mathématiques que de faire des conjectures, les propriétés / théorèmes devant ensuite être démontrés ; d'autre part, que le statut des connaissances construites à partir de ces mesures diffère : les lois ainsi obtenues ont un statut de modèle en physique, avec en particulier des limites de validité, alors qu'en mathématiques les théorèmes ont un statut de « vérité »³. La distinction entre mesure empirique et mesure théorique permet également d'explicitier les enjeux épistémologiques et didactiques liés à la mesure et aux incertitudes en mathématiques et en physique. On peut en effet considérer que dans l'enseignement obligatoire français, certains enjeux d'apprentissage relèvent de la mesure théorique (notion d'unité, sens de la mesure), d'autres de la mesure empirique (usage des instruments, unités conventionnelles, dispersion et d'incertitudes), d'autres du rapport entre les deux. Certains enjeux cruciaux nous semblent être tout d'abord la construction de l'idée même de mesure théorique, dont on peut penser qu'elle « n'existe pas » pour les élèves au début de la scolarité où la mesure est introduite comme étant « ce que donne l'instrument » ; concernant la distinction et l'articulation entre mesure théorique et empirique, il s'agit de résoudre la contradiction apparente entre le fait que, lorsqu'on fixe une unité, il y a unicité de la mesure théorique, tandis que les mesures empiriques sont sujettes à dispersion. Il s'agit également, pour les élèves, d'apprendre à distinguer les situations dans lesquelles chacune est pertinente et les liens qu'elles entretiennent, ce qui est souvent loin d'être explicite et renvoie à des enjeux d'ordre épistémologique plus larges, notamment la compréhension de la notion de modèle et de la distinction entre modèle et réalité.

Nous avons également montré que cette distinction permet d'interpréter certaines difficultés des élèves et des enseignants. Par ailleurs, les analyses de manuels scolaires de collège que nous avons réalisées (Chesnais et Munier, 2016 ; Munier et Chesnais, 2020) montrent que les enjeux liés à la mesure empirique sont très peu pris en charge comme objets d'enseignement. Ces travaux antérieurs montrent ainsi que la distinction et l'articulation entre les aspects empiriques et théoriques de la mesure constituent des savoirs « transparents » (au sens de Margolinas et Laparra 2011) dans l'enseignement (Chesnais 2018).

Questions de recherche actuelles

Au-delà de son intérêt pour le chercheur, nous faisons l'hypothèse que distinguer explicitement mesure empirique et mesure théorique en classe peut constituer un outil didactique pour permettre une prise en charge plus cohérente et plus efficace des enjeux didactiques et épistémologiques liés à la mesure. Des expérimentations ont été menées pour tester la pertinence de l'explicitation de cette distinction dans les classes dans le cadre d'un travail collaboratif entre chercheurs et enseignants. Ce travail a montré qu'une explicitation de la distinction entre mesure empirique et mesure théorique auprès des enseignants permet de lever au moins en partie la « transparence » de la distinction et du rapport entre les deux aspects de la mesure, et d'en faire des objets d'apprentissage et de discours dans les classes, amenant notamment à dépasser le recours au contrat (« on n'a pas le

² Nous limitons dans cette étude au cas des lois établies empiriquement à partir de mesures.

³ Dans une théorie bâtie sur un système d'axiomes donné et vérifiant le principe de non-contradiction..

droit de mesurer ») pour justifier le recours à la démonstration en faisant référence à la nature des mesures sur lesquelles doivent porter les propriétés des figures. Toutefois, les moyens en termes de tâches et de moyens langagiers pour une prise en charge efficace restent à affiner (Chesnais, 2021).

Dans le cadre de ces expérimentations en classe, des questionnaires ont été élaborés pour tenter de caractériser les conceptions des élèves sur la mesure et notamment comprendre la manière dont ils articulent ses aspects empiriques et théoriques. Ils ont permis de mettre en évidence une dépendance des réponses des élèves au contexte de scolarisation (éducation prioritaire ou milieu « ordinaire »), mais également certaines limites. D'une part certaines réponses d'élèves sont difficiles à interpréter, d'autre part des tâches qui paraissaient similaires selon certains critères didactiques ne sont pas réussies de la même manière par les élèves. Les variables didactiques identifiées lors de l'élaboration et de l'analyse a priori des tâches proposées aux élèves (grandeur en jeu, nature des nombres, etc.) ne sont donc pas suffisantes pour expliquer la variabilité des réponses des élèves. Ces premières analyses ont ainsi montré la nécessité, pour comprendre la manière dont les élèves construisent et conceptualisent la mesure, de prendre en charge les dimensions cognitives. Cela nous a amenés à initier une collaboration avec des chercheurs en psychologie cognitive (L. Brunel, P. Charras et A. Tricot) pour étudier la conceptualisation de la notion de mesure. Il s'agit de tenter de comprendre comment les différents aspects de la mesure se construisent et s'articulent d'un point de vue cognitif et notamment comment se construit l'idée de mesure théorique sur la base de la mesure empirique, enfin comment l'idée de mesure empirique évolue de par cette construction.

Des premiers tests ont été élaborés en 2021 pour étudier les performances des élèves dans des tâches mettant en jeu explicitement soit des mesures empiriques soit des mesures théoriques. Nous avons en outre développé des questions visant à étudier la construction par les élèves de l'idée même de mesure théorique (réelle, exacte). Nous avons étudié les performances d'environ 500 élèves de cycle 3 (10 classes de CM et 10 classes de 6^{ème}) en faisant varier l'accessibilité des connaissances et/ou des techniques nécessaires pour réaliser la tâche, la difficulté de la tâche et le type de mesure en jeu. L'objectif de cette première étape est d'identifier et de comprendre la variabilité des réponses des élèves en étudiant leurs performances sur les tâches développées dans les différentes conditions lorsqu'on impose (via les consignes et/ou le matériel à disposition des élèves) le type de procédure à mobiliser. Les résultats sont en cours de dépouillement et pourront être présentés lors du colloque. Dans un second temps il s'agira de développer un questionnaire permettant de caractériser la manière dont les élèves hiérarchisent et articulent mesures empirique et théorique.

Discussion

Si l'introduction d'une distinction explicite entre mesure théorique et mesure empirique a d'ores et déjà montré un certain pouvoir heuristique en permettant d'éclairer certaines problématiques didactiques, elle pose aussi un certain nombre de questions.

Tout d'abord, la question de la nature même de cette distinction conceptuelle n'est pas tranchée. Elle semble transparente à la fois dans les classes et dans les recherches en didactiques, probablement du fait de sa naturalisation dans les savoirs savants, à la fois en mathématiques et en physique. Ces notions n'ont pas lieu d'être dans la sphère savante car elles ne sont pas nécessaires (tout au moins sous une forme explicite) à l'expert pour faire de la physique ou des mathématiques, en revanche nous considérons qu'elles sont nécessaires pour les chercheurs pour comprendre les phénomènes d'enseignement apprentissage, et pour les enseignants, pour interpréter les erreurs des

élèves et choisir des tâches potentiellement plus riches en termes d'apprentissage, voire pour les élèves pour favoriser leur conceptualisation de la mesure. Peut-on considérer qu'il s'agit de savoirs du second ordre au sens de Chambris (2010) ? De savoirs que l'on pourrait qualifier de « didactiques » ? Il nous semble que cette question se doit d'être approfondie.

La question de la prise en charge langagière de cette distinction est également encore ouverte, sur le plan de la recherche comme dans la classe. Le terme mesure théorique peut paraître problématique, notamment du fait de l'amalgame qu'il peut occasionner entre modèle et théorie en physique. De plus, pour certains élèves, « théorique » renvoie à inatteignable alors qu'en mathématiques la valeur théorique est « connaissable » (au sens de calculable). En mathématiques on pourrait penser que les termes de valeur approchée/valeur exacte serait un bon candidat mais cette terminologie s'appuie sur les relations entre deux objets dont l'un n'est pas nécessairement construit par les élèves : comment parler de valeurs approchées « qui ne sont approchées de rien »⁴ (si l'idée qu'il existe une mesure théorique n'est pas construite) ? Nos travaux ont d'ailleurs mis en évidence que pour certains élèves c'est parfois la mesure théorique, obtenue avec la calculatrice, qui est une valeur approchée de la « vraie valeur », obtenue avec l'instrument. De plus, le terme « exacte » renvoie à une valeur réelle qui peut poser problème en physique. L'emploi du terme « valeur vraie » n'est pas non plus envisageable pour plusieurs raisons, au-delà de la charge métaphysique qu'il porte et que nous ne discutons pas ici. D'abord parce que la notion de mesure théorique ne se superpose pas avec la notion de valeur vraie en physique, qui est caractérisée par la non unicité et son caractère inconnaisable (Grégis, 2016). De plus, ce terme est susceptible de générer des malentendus dans les classes parfois la valeur vraie pour l'élève est la mesure empirique alors que pour les enseignants cette « vraie valeur » est la mesure théorique. La recherche d'une terminologie qui permette de mettre en cohérence mathématiques et physique est donc une question complexe qui doit encore être explorée.

La compréhension des processus cognitifs engagés par les élèves lorsqu'ils réalisent des tâches mettant en jeu des mesures et la manière dont ces processus évoluent est également une question fondamentale pour pouvoir repenser la place de la mesure dans les curricula de façon plus cohérente sur le plan épistémologique en mathématiques, en physique et entre ces disciplines, en lien avec l'apprentissage d'autres notions. Elle nécessite, nous l'avons initié, un second croisement des champs de recherche entre les didactiques et la psychologie cognitive.

Concernant les modalités d'articulation entre les deux disciplines, nous avons montré que les travaux développés en croisant les regards des deux didactiques permettent de préciser les savoirs en jeu et les enjeux d'apprentissage, ainsi que d'analyser les ressources à destination des enseignants dans chacune des deux disciplines. Ils nous ont également amenés à revisiter certains travaux de didactique de ces deux disciplines, notamment les travaux portant sur l'enseignement de la géométrie, et à porter un autre regard sur les productions des élèves et les pratiques des enseignants. Pour ne donner que quelques exemples, en physique, le fait que les élèves donnent souvent une unique valeur comme résultat d'un mesurage empirique, qu'ils considèrent comme des erreurs l'écart entre les valeurs mesurées et les valeurs de référence, qu'ils cherchent « la bonne valeur », la demandent à l'enseignant, peut être interprété comme une mauvaise compréhension de la variabilité de la mesure empirique et/ou une « confusion » entre mesure théorique et mesure empirique, en tout cas comme une difficulté à articuler les aspects empiriques et théoriques. En

⁴ Pour paraphraser Lebesgue évoquant l'approximation des réels par les décimaux lorsque les réels n'ont pas encore été construits (Lebesgue, p. 18).

mathématiques, cette distinction permet d'interpréter le fait que certains élèves mesurent sur des figures par le fait qu'ils n'ont pas construit l'idée même de mesure théorique (ce qui « prolonge » d'une certaine manière le fait que certains élèves ne font pas la distinction entre dessin et figure au sens de Laborde et Capponi (1994)). Elle permet enfin de proposer une autre interprétation du fait que les élèves n'acceptent que des nombres décimaux comme mesures, interprétée dans la littérature par le fait qu'ils ne reconnaissent pas les i-décimaux (Bronner 1997) comme des nombres : on peut aussi considérer qu'ils ne les reconnaissent pas comme des mesures parce qu'ils ne peuvent pas correspondre à des résultats de mesurage empirique (notamment si l'idée de mesure théorique n'est pas construite et si, pour eux, la mesure est ce que donne un instrument), le fait de ne pas les reconnaître comme nombre en constituant alors plutôt une conséquence.

Ces travaux nous ont permis de mettre en évidence la « transparence » du rapport entre les aspects empiriques et théoriques de la mesure. Ils permettent également d'envisager les potentialités de cette distinction pour l'enseignement des mathématiques et de la physique même si comme nous venons de le discuter la question des modalités pratiques de cette distinction reste encore largement à explorer. Il nous semble qu'il y a là un enjeu important pour les deux didactiques.

Bibliographie

Bureau International des Poids et Mesures. (2008). Evaluation des données de mesure – guide pour l'expression de l'incertitude de mesure. BIPM, consulté le 28 janvier 2022 sur <http://www.bipm.org/en/publications/guides>.

Bronner, A. (1997). *La question du numérique : le numérique en question*. [Habilitation à diriger des recherches, Université Montpellier 2].

Chambris, C. (2010). Relations entre grandeurs, nombres et opérations dans les mathématiques de l'école primaire au 20^e siècle : théories et écologie. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 30, 317-366.

Chambris, C. & Dougherty, B., (2016). Call for paper Topic Study Group 9, ICME 13, Hambourg, July, 24-31. http://www.icme13.org/files/tsg/TSG_9.pdf.

Chesnais, A. (2018). *Un point de vue de didactique des mathématiques sur les inégalités scolaires et le rôle du langage dans l'apprentissage et l'enseignement*. [Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Montpellier]. tel-02046178

Chesnais, A. (2021). Enhancing classroom discourse about measure to foster a conceptual understanding of geometrical practices. *ZDM Mathematics Education*, 53, 337–357 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01255-0>.

Chesnais, A. et Munier, V. (2016). *Mesure, mesurage et incertitudes : une problématique interdidactique mathématiques / physique*. Actes du Séminaire national de didactique des mathématiques 2014-2015. La Pensée Sauvage : Grenoble.

Chevallard, Y. & Wozniak, F. (2003) Enseigner la statistique au secondaire. Entre genre prochain et différence spécifique. Cours donné à la XIIe école d'été de didactique des mathématiques (Corps, 20-29 août 2003). In Mercier, A. & Margolinas, C. (Eds), *Balises pour la didactique des mathématiques*, La Pensée sauvage, Grenoble, 195-218.

Grégis, F. (2016). La valeur de l'incertitude : l'évaluation de la précision des mesures physiques et les limites de la connaissance expérimentale. [Thèse de doctorat, Université Sorbonne Paris Cité, Université Paris Diderot]

Jacquier, I. (1995). Quelles conceptions des nombres chez des élèves de 3^{ème} ? *Petit x* 41 27-50.

Kuzniak, A. (2009). Nouvelles perspectives en didactique des mathématiques. Sur la nature du travail géométrique dans le cadre de la scolarité obligatoire. dans I. Bloch et F. Connes (dir.) Nouvelles perspectives en didactique des mathématiques. La géométrie, les documents pour l'enseignement, le métier de chercheur en didactique. Cours de la XI^{ve} école d'été de didactique des mathématiques. La pensée Sauvage : Grenoble, 23-42.

Laborde, C., Capponi B. (1994) Cabri-géomètre constituant d'un milieu pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 14/1-2 165-209.

Langrall, C. W., Mooney, E. S., Nisbet, S., & Jones, G. A. (2008). Elementary students' access to powerful mathematical ideas. In L. English (Ed.), *Handbook of international research in mathematics education*, 2nd edition. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Lebesgue, H. (1966). *Measure and the Integral*. Translated and edited with a bibliographical essay by Kenneth O. May; Holden-Day, Inc.

Lubben, F. et Millar, R (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18(8), 955-968.

Maisch, C., Ney, M. et Balacheff, N. (2008) Quelle est l'influence du contexte sur les raisonnements d'étudiants sur la mesure en physique ? *Aster* 47, 43-70.

Margolinas, C. et Laparra, M. (2011). Des savoirs transparents dans le travail des professeurs à l'école primaire. In J.Y. Rochex et J. Crinon (Eds.), *La construction des inégalités scolaires*. Rennes : PUR.

Munier, V., Chesnais, A. et Molvinger, K. (2017). La mesure en mathématiques et en physique : enjeux épistémologiques et didactiques. Dans M. Bächtold, V. Durand-Guerrier et V. Munier (dir), *Epistémologie et didactique : synthèses et études de cas en mathématiques et en sciences expérimentales* (p.95-111). Besançon : Presses Universitaires de Franche-Comté.

Munier, V. & Chesnais, A. (2020). Différencier aspects empiriques et théoriques de la mesure : un levier pour l'enseignement et l'apprentissage en physique et en mathématiques ? à paraître dans les actes des 11^è rencontres scientifiques de l'ARDIST.

OECD. (2009). *Learning Mathematics for Life. A perspective from PISA*. ISSN: 19963777 (on line) <https://doi.org/10.1787/19963777>.

Perdijon, J. (2012). *La mesure, histoire, sciences et technique*. Vuibert.

Perrin, D. (2011) *Mathématiques d'école. Nombres, mesures et géométrie*. Cassini 402p.

Séré, M. G., Winther, J., Le Maréchal J.F. & Tiberghien, A. (2001). Le projet européen "Labwork in Science Education" Bilan et perspectives. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 839, 1727-1740.

Smith, J.P., van den Heuvel-Panhuizen, M., & Teppo, A. (2011). Learning, teaching, and using measurement: introduction to the issue. *ZDM, The International Journal on Mathematics Education*, 43, 667–820.

À LA CRÈCHE ILS DISENT
QU'IL MANQUE D'AUTONOMIE



BL BL



OH TU SAIS,
ÇA VEUX RIEN DIRE
"AUTONOMIE" ...



IL LI ONT
FAIT PASSER
QUELLE GRILLE
D'ANALYSE ??

MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 ANI - 3 JUIN 2022



L'AISSÉ-MOI
LA !!! JE VAIS
VOUS RALENTIR
!!!

ENCORE UN PROF
TOMBÉ SOUS LE POIDS
DES RESSOURCES...



JE SAIS!
ON VA FAIRE
UNE MÉTA-RESSOURCE!

NAÏS COQ 2022 @
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

e-FRAN IDÉE

Articuler numérique et autonomie des élèves : les apports d'une mise en regard de trois disciplines

Résumé : Dans cette communication, nous nous posons la question de ce que signifie l'autonomie des élèves, et de la manière dont le numérique peut la soutenir dans trois disciplines : les mathématiques, la physique-chimie et l'anglais. Dans le cadre du projet de recherche e-FRAN IDEE, nous avons conçu dans chaque discipline et de manière coordonnée une grille d'analyse de ressources. Dans cette communication nous menons une analyse comparative de deux catégories de ces grilles : la richesse didactique du contenu, et la pertinence de l'emploi du numérique. Cette analyse met en évidence un lien important dans chaque discipline entre autonomie et situation a-didactique, se déclinant de manière différente selon la discipline. Le numérique permet de soutenir le processus d'autonomisation en proposant, entre autres, des rétroactions utiles lors de l'exposition des élèves des situations expertes semblables à celles rencontrées hors la classe.

Mots-clé : Autonomie, Collège, Numérique, Ressources, Didactique

Introduction

Notre communication porte sur les usages du numérique susceptibles de soutenir le développement de l'autonomie des élèves. Il s'inscrit au sein du projet de recherche eFRAN IDEE (Interactions Digitales pour l'Éducation et l'Enseignement)¹, plus précisément le volet CERAD (Collectifs Enseignants et Ressources pour l'Autonomie des élèves). Ici nous utilisons le terme « numérique » dans un sens large qui peut désigner des logiciels, conçus ou non à des fins d'enseignement ; du matériel, ou encore des fichiers disponibles sur Internet. Nous abordons ces usages en nous centrant sur la question des ressources des enseignants.

Le nombre croissant de ressources pédagogiques numériques disponibles complexifie la sélection de ces dernières par les enseignants. De plus, le concept d'autonomie est associé, selon les représentations sociales des enseignants, à une idée de liberté, initiative et indépendance (Maia et al., 2012). Ces représentations orientent le choix des ressources des enseignants. C'est pourquoi au sein du projet eFRAN IDEE, nous avons conçu un outil pour accompagner les enseignants dans une première lecture de ressources de type scénario pédagogique, proposant un usage du numérique et soutenant les processus d'autonomisation des élèves. Par ailleurs un tel outil de choix d'une ressource existante peut aisément être transformé en outil de conception d'un scénario de classe ayant les mêmes caractéristiques (numérique, autonomie). Nous avons alors construit une méta-ressource (Prieur, 2016) prenant la forme d'une grille d'évaluation du potentiel d'une ressource. Cette méta-ressource est déclinée en quatre versions : une version générale pouvant être adaptée à n'importe quelle discipline ; une en mathématiques, une en physique-chimie et une en anglais. Le processus de conception de cette grille et son contenu ont fait l'objet de travaux antérieurs (Gueudet et al. 2021). Dans cette communication, notre objectif est d'interroger les éléments communs et les spécificités disciplinaires des grilles afin de les mettre en regard pour approfondir notre

1 Pour plus de précisions que le projet e-FRAN IDEE consulter la page suivante : <https://www.interactik.fr/portail/web/la-recherche/efran-idee>

compréhension de ce qui peut être désigné par le terme « autonomie » dans chacune des disciplines, et d'identifier les articulations possibles entre numérique et autonomie.

Dans ce qui suit, après la présentation de notre cadre théorique nous décrivons la grille conçue dans trois disciplines : mathématiques, physique-chimie et anglais. La mise en regard des trois grilles met au jour des points communs et des différences concernant l'articulation entre usage du numérique et autonomisation des élèves dans les trois disciplines.

Cadre théorique et question de recherche

Autonomie, processus d'autonomisation et numérique

Le concept d'autonomie n'est défini dans aucune des trois didactiques disciplinaires dont nous relevons, quelle que soit l'approche théorique considérée. En didactique des mathématiques, les situations a-didactiques (Brousseau 1998) sont propices au développement d'une certaine forme d'autonomie des élèves – par confrontation avec le milieu. Robert (1998), pour sa part, bien qu'elle ne parle pas explicitement d'autonomie, distingue plusieurs niveaux de mise en fonctionnement des connaissances (niveau technique, niveau mobilisable et niveau disponible) que nous pouvons considérer comme des dimensions de l'autonomie. Ben Zvi et Sfard (2007) distinguent, quant à eux, deux types d'autonomies pour l'apprentissage d'un savoir nouveau en mathématiques : (1) Niveau objet, extension de discours connus, l'élève peut explorer par lui-même (2) Niveau méta, accéder à un discours nouveau, nécessité d'un collectif d'appui adapté. En didactique de la physique-chimie, les recherches sont plutôt centrées sur l'aide à l'autonomie en classe. Ainsi, Furtak et Kunter (2012) proposent deux catégories : un soutien à l'autonomie procédurale, dans lequel les élèves peuvent par exemple, choisir et gérer leur propre matériel expérimental ; le soutien à l'autonomie cognitive, où les élèves peuvent trouver de multiples solutions aux problèmes par eux-mêmes, recevoir des informations en retour et bénéficier d'une aide du professeur dans la réévaluation de leurs erreurs. De leur côté, Monod-Ansaldi *et al.* (2010) mettent l'accent sur la relation contrat-milieu pour repérer différentes manières de développer l'autonomie chez les élèves. En didactique des langues et des cultures, Macaro (2008) décompose l'autonomie selon trois aspects : (1) la compétence langagière par sa capacité à communiquer une fois le fonctionnement de la langue acquis, (2) la compétence d'utilisation de la langue par sa capacité à reproduire ces compétences langagières dans des situations semblables à celles travaillées et (3) le choix des actions par sa capacité à développer des stratégies d'apprentissage personnelles ou sa capacité de réflexion à un niveau supérieur.

Au sein du projet IDEE, nous avons donc été confrontés à la nécessité de définir l'autonomie, ce que nous avons réalisé en appui sur une revue de la littérature pluridisciplinaire. Ceci nous a amenés à définir l'autonomie en tant que « processus qui permet à l'élève, dans un contexte donné et au sein d'un système d'interactions, d'organiser son travail et de mobiliser des ressources (internes ou externes) pour accomplir une tâche donnée en développant éventuellement des moyens nouveaux ». Cette définition invite à voir l'autonomie non comme une caractéristique de l'élève, mais comme un processus contextualisé (processus d'autonomisation). Nous distinguons deux formes d'autonomie, l'autonomie pédagogique et l'autonomie didactique (Gueudet & Lebaud, 2019). La première est transversale et peut concerner toutes les disciplines : il s'agit par exemple de la gestion du travail personnel, ou de la capacité à travailler dans un collectif. La seconde dépend des savoirs en jeu : nous affirmons ainsi que ce n'est pas la même chose pour un élève d'être autonome en anglais, en mathématiques ou en physique-chimie. De plus, nous introduisons une autre distinction concernant

l'autonomie didactique, entre l'autonomie de *mobilisation* de savoirs déjà rencontrés et une autonomie *d'acquisition* lorsque l'élève fait face à un nouveau savoir.

Question de recherche

La question de recherche que nous étudions ici peut être ainsi formulée :

Dans quelles mesures la mise en perspective de trois disciplines scolaires permet-elle de mieux appréhender les articulations entre ces dernières sur les liens entre processus d'autonomisation et usages du numérique ?

Pour étudier cette question et dans le cadre de notre projet, nous adoptons une démarche spécifique qui consiste à comparer les critères retenus par les trois disciplines pour évaluer le potentiel d'une ressource de type scénario de classe en termes d'articulation entre autonomie et numérique.

Présentation générale de la grille

Quatre grilles ont été conçues : une grille se voulant plus générale, et pouvant être adaptée à toutes les disciplines, et trois grilles orientées par les disciplines impliquées dans ce travail.

Une source essentielle pour la conception de ces grilles a été le questionnaire de qualité développé dans le cadre du projet Intergeo, à propos de scénarios de classe utilisant la géométrie dynamique (Trgalová & Jahn 2013). Nous avons suivi la structure générale du questionnaire Intergeo : quelques catégories générales, chacune d'entre elles correspondant à une liste de critères plus détaillés. Le choix des catégories s'est appuyé sur les distinctions théoriques présentées ci-dessus. Les cinq catégories retenues sont les suivantes (seules les catégories notées en gras diffèrent d'une discipline à l'autre) :

- 1 La ressource propose une description claire et riche pour le professeur
- 2 La ressource est facile à prendre en main et adaptable
- 3 **Le contenu disciplinaire de la ressource est riche du point de vue didactique**
- 4 **L'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité prévue**
- 5 L'activité proposée peut favoriser l'autonomie transversale des élèves

Pour chaque catégorie, nous avons rédigé une première liste de critères (de 4 à 8 critères), en nous appuyant à nouveau sur la théorie et les travaux antérieurs. Ensuite les grilles obtenues ont été appliquées à des ressources par plusieurs membres de notre groupe, ce qui a conduit à préciser les critères. Les grilles ont ensuite été soumises à des professeurs, dont les remarques ont mené à de nouvelles évolutions.

Spécificités des grilles dans chacune des trois disciplines

Le lecteur trouvera en annexe les critères des catégories 3 et 4 de la grille. Pour les mathématiques apparaissent l'ensemble des critères (en bleu les critères communs à toutes les grilles, en jaune les critères bonus et en vert ceux spécifiques d'une discipline) puis seuls les critères spécifiques pour les autres disciplines sont présentés. Ajoutons que les éléments concernant l'autonomie didactique figure dans la catégorie 3 alors que ceux concernant l'autonomie pédagogique sont développés dans la catégorie 5.

Le cas des mathématiques

En mathématiques au collège, les élèves rencontrent des « activités d'introduction » d'un savoir nouveau, que nous interprétons ici (catégorie 3) comme des occasions de développer l'autonomie d'acquisition. Ils doivent par ailleurs pouvoir résoudre des exercices mettant en jeu des savoirs et des techniques connues, visant un entraînement à ces dernières : ceux-ci peuvent contribuer à l'autonomie de mobilisation. La grille distingue donc deux catégories : 3.1 "Situation de recherche" et 3.2 "Entraînement". Certains critères s'appliquent aux deux aspects comme le travail de compétences spécifiques aux mathématiques et la possibilité d'utiliser différents registres de représentation. A l'inverse, les possibilités d'expérimenter et d'utiliser différentes stratégies de résolution sont importantes pour une activité de recherche, mais peuvent ne pas l'être dans une activité d'entraînement.

La catégorie 4 relative à la pertinence de l'utilisation du numérique est également divisée en deux sous-catégories : 4.1 lorsque l'activité pourrait être faite sans le numérique et 4.2 si ce n'est pas le cas. Ceci est lié au programme officiel en mathématiques en France qui intègre l'algorithmique et la programmation (avec Scratch au collège, et Python au lycée). Lorsque l'objectif d'apprentissage est, par exemple, la programmation de boucles sur Scratch, la leçon ne peut être organisée sans le numérique, et la pertinence de son usage ne peut être discutée en termes de valeur ajoutée. Dans les deux cas, la maîtrise d'un logiciel spécifique peut être un prérequis nécessaire qu'il faut avoir anticipé.

Certains critères concernent la valeur ajoutée du numérique mais sont également liés à l'autonomie didactique comme la possibilité d'un travail mathématique collectif, ou la possibilité pour l'élève d'avoir accès à des représentations spécifiques, comme une figure dynamique par exemple.

Le cas de physique-chimie

Les modèles occupent une place centrale en sciences. C'est par le processus de modélisation reliant le monde observable aux concepts que se fait la construction des modèles nécessitant la mobilisation de différentes représentations de registres sémiotiques. Dans le contexte scolaire, l'enseignement et l'apprentissage des modèles et de la modélisation est toujours au cœur de travaux de recherche en didactique des sciences (Tiberghien, 1994). De plus, les modèles font partie des composantes fondamentales des programmes de physique-chimie au collège comme au lycée.

Ainsi la catégorie 3 a été enrichie d'une rubrique concernant l'utilisation de modèles scientifiques ou les processus de modélisation. D'autres critères sont en lien direct avec les programmes comme le travail de compétences (expérimentales et méthodologiques) spécifiques à la physique-chimie ou l'investigation scientifique. Le recours à des démarches d'investigations est en effet fortement conseillé par les prescriptions en physique-chimie dans laquelle la notion d'autonomie (pédagogique et didactique) est au cœur de l'activité de l'élève (Boilevin, 2017). Enfin, un dernier critère spécifique concernant la possibilité d'utiliser différentes stratégies de résolution permet de développer l'autonomie didactique.

La catégorie 4, quant à elle, ne propose qu'un seul critère spécifique concernant les activités de simulation ou de modélisation qui ne seraient pas possibles sans le recours au numérique.

Le cas de l'anglais

Quatre critères spécifiques sont retenus dans la catégorie 3 pour l'anglais. Il s'agit du travail sur des activités langagières, de la confrontation à des ressources authentiques, de l'intégration d'un aspect culturel et de la description d'une tâche finale concrète et communicable. Tous ces critères sont des éléments essentiels dans l'enseignement-apprentissage de l'anglais, et plus largement d'une langue vivante. Tout d'abord, les activités langagières regroupent tous les systèmes de communication d'une langue. Ensuite, afin de former des personnes capables de communiquer en langue vivante en société, les élèves doivent se familiariser avec des ressources qu'ils trouveront dans la vie réelle. Cela permet non seulement de donner du sens à une activité mais également de les accompagner à être plus autonomes en dehors d'un cadre scolaire. C'est en les confrontant à des ressources authentiques que les élèves vont s'acculturer au monde anglophone (puisque nous avons travaillé uniquement avec cette discipline), la culture étant également partie intégrante dans l'apprentissage d'une langue. Enfin, ce qui est proposé aux élèves doit leur permettre de saisir concrètement ce qui est attendu d'eux.

Aucun critère spécifique n'a été envisagé en anglais dans la catégorie 4 axée sur le numérique mais avec le développement des outils numériques de communication, une révision spécifique aux langues vivantes pourrait être envisagée. En effet, très souvent, l'aspect numérique des activités proposées aux élèves les fait accéder à une autonomie didactique puisqu'elle leur permet de valider par eux-mêmes leur compréhension. Les élèves se voient ainsi confier des responsabilités dans la planification de leur apprentissage (Little, 2007).

Discussion – Conclusion

Dans la catégorie 3 concernant la richesse didactique (et directement liée à l'autonomie didactique telle que nous l'avons définie), la mise en regard des trois disciplines met en évidence des points communs et des différences de diverses natures.

Notons tout d'abord certains aspects fondamentaux du savoir enseigné pour lesquels existent des similarités entre mathématiques et physique-chimie : en effet les deux disciplines ont choisi de faire référence aux six compétences du socle², qui sont formulées de la même manière. Il y a toutefois une différence concernant l'importance attribuée à la modélisation par la physique-chimie. Pour l'anglais, la différence est nettement plus radicale, puisque ce qui est mis en avant relève de connaissances langagières et culturelles. Il s'agit de différences entre les disciplines elles-mêmes – être autonome dans une discipline signifie aussi maîtriser les fondamentaux de cette discipline.

Nous trouvons également dans les trois disciplines des aspects concernant les modes de représentations spécifiques de la discipline, la capacité à en articuler plusieurs ou à passer de l'un à l'autre. En outre, nous observons, en mathématiques, la mention d'une « situation de recherche » (qui constitue une sous-catégorie) comme forme particulière d'autonomie didactique. En physique-chimie, la démarche d'investigation joue un rôle encore plus essentiel, puisque contrairement aux mathématiques, elle n'a pas donné lieu à l'introduction de deux sous-catégories : l'autonomie semble toujours liée à la possibilité d'investiguer. Nous mettons sur le même plan, en anglais, la confrontation à des ressources authentiques. Il nous semble en effet que dans les trois cas, il s'agit d'éléments caractérisant une situation avec une dimension a-didactique: la recherche de la solution

2 Les six compétences du socle commun de connaissances, de compétences et de culture correspondent aux savoirs à maîtriser en fin de cycle. Elles sont décrites à l'adresse suivante : <https://www.education.gouv.fr/le-socle-commun-de-connaissances-de-competences-et-de-culture-12512>

d'un problème en mathématiques, l'investigation scientifique en physique-chimie, la confrontation avec des ressources authentiques en anglais sont des pratiques expertes qui vivent en dehors du cadre scolaire. Nous retrouvons ici le lien entre autonomie et a-didacticité.

En ce qui concerne la catégorie 4, la plupart des éléments sont communs aux trois disciplines. On retient le fait que les élèves puissent faire des essais et tester leur validité : par exemple, en mathématiques, tester la robustesse de figures avec la géométrie dynamique, en anglais, s'enregistrer à l'oral et se comparer à un natif et en physique-chimie obtenir, ou pas, des feedbacks numériques, par exemple, lors des branchements à effectuer. Un autre critère important concerne des usages du numérique permettant au professeur de proposer des parcours personnalisés aux élèves : ce peut être le cas avec certaines plateformes proposant des exercices interactifs dans chacune des disciplines. De même, les logiciels de type « mur collaboratif virtuel » permettant une mise en commun peuvent contribuer au développement de l'autonomie dans les trois disciplines.

En ce qui concerne les éléments de spécificité disciplinaire dans la catégorie 4, les mathématiques introduisent deux sous-catégories : activités qui peuvent être faites, ou non, sans le numérique. En anglais, lors d'apprentissage de savoirs conceptuels, culturels, voire techniques le numérique est au service des apprentissages alors qu'en mathématiques, il s'agit d'apprendre en même temps à se servir de l'outil numérique et à réaliser l'exercice proposé. Quant à la physique-chimie, il y a un critère complémentaire à la grille générale pour prendre en compte les spécificités didactiques des sciences physiques et chimiques. Ces critères concernent notamment les activités de simulation ou de modélisation recourant au numérique mais également les possibilités offertes par le numérique d'échanger ou de travailler dans des lieux différents. En anglais, l'utilisation du numérique est décrite à travers les critères communs aux deux autres disciplines. Une révision de la grille serait à mener de manière à faire ressortir des spécificités liées à la mobilisation de nouveaux outils.

Pour conclure, la perspective didactique adoptée dans cette recherche nous a amené à cibler notre analyse sur 2 des 5 catégories de la grille conçue pour évaluer, entre autres, le potentiel d'une ressource de type scénario de classe en termes d'articulation entre processus d'autonomisation et numérique dans le cas des trois disciplines mathématiques, physique-chimie et anglais. La comparaison réalisée montre que cette articulation est très hétérogène selon les disciplines. Malgré des différences disciplinaires, dans les trois disciplines étudiées les élèves sont mis face à des situations a-didactiques pour aller vers un processus d'autonomisation. Cependant, le numérique, bien que mobilisé dans chacune des trois disciplines, semble ne pas être convoqué avec des objectifs similaires. Ces premiers éléments soulignent l'importance de la poursuite de cette recherche qui permettrait d'approfondir les hypothèses explicatives évoquées ci-dessus.

Bibliographie

- Ben Zvi, D., & Sfard, A. (2007). Ariadne's thread, Daedalus' wings and the learners' autonomy. *Education & Didactique*, 1, 117-134.
- Boilevin, J.-M. (2017). La démarche d'investigation : simple effet de mode ou bien nouveau mode d'enseignement des sciences ? In M. Bächtold, V. Durand-Guerrier & V. Munier (Ed.), *Epistémologie et didactique* (pp. 195-220). Besançon : PUFC.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Furtak, E.-M., & Kunter, M. (2012). Effects of Autonomy-Supportive Teaching on Student Learning and Motivation, *The journal of experimental education*, 80(3), 284–316.
- Gueudet, G. et Trouche, L. (2010). Ressources vives : le travail documentaire des professeurs en mathématiques. Rennes : PUR.
- Gueudet, G., & Lebaud, M.-P. (2019). Développer l'autonomie des élèves en mathématiques grâce au numérique. 2. Analyser le potentiel de ressources pour les professeurs. *Petit x 110*, 85-102.
- Gueudet, G., Pepin, B. & Lebaud, M.-P. (2021). Designing meta-resources for mathematics teachers in the context of curriculum reforms: the case of digital technology use and student autonomy in France. *ZDM Mathematics Education* 53, 1359–1372 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01299-2>
- Little, D. (2007). Language Learner Autonomy: Some Fundamental Considerations Revisited. *Innovation in Language Learning and Teaching*, 1(1), 14-29. Repéré à <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2167/illt040.0>
- Macaro, E. (2008). The shifting dimensions of language learner autonomy. In T. Lamb & H. Reinders (Eds.), *Learner and teacher autonomy: Concepts, realities, and responses*, (pp. 47-62). Amsterdam; Philadelphia: John Benjamins.
- Maia L., Vandebrouck F., Bona V. (2012) Représentations sociales du concept d'autonomie chez des enseignants. In Dorier J.-L., Coutat S. (Eds.) Enseignement des mathématiques et contrat social : enjeux et défis pour le 21e siècle – Actes du colloque EMF2012 (GT9, pp. 1227–1234). <http://www.emf2012.unige.ch/index.php/actes-emf-2012>
- Monod-Ansaldi, R., Digard, I., Florimond, A., Fontanieu, V., Péres, C., Rossetto, A.-M., & Morel-Deville, F. (2010). L'investigation en MI-SVT : un chemin vers l'autonomie des élèves ? Actes des journées scientifiques DIES 2010, 24-25 novembre 2010, Lyon © INRP 2010 www.inrp.fr/editions/dies
- Prieur, M. (2016). *La conception co-disciplinaire de méta-ressources comme appui à l'évolution des connaissances des professeurs de sciences*. Thèse de doctorat de l'Université Lyon 1.
- 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.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.
- Trgalová, J., & Jahn, A. P. (2013). Quality issue in the design and use of resources by mathematics teachers. *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 45(7), 973–986.

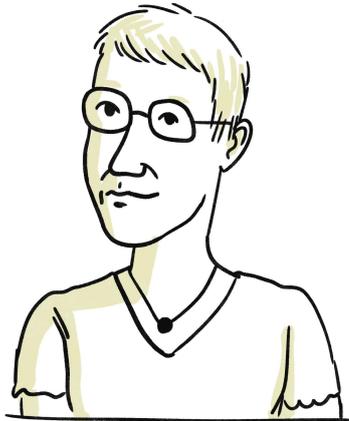
Annexe : Catégories 3 et 4 des grilles disciplinaires

3. Richesse didactique du contenu	4. Pertinence de l'utilisation du numérique																																
<p>Mathématiques</p> <table border="1" data-bbox="268 757 624 1043"> <tr> <th colspan="2">3. Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique</th> </tr> <tr> <th>Cas 1 : situation de recherche</th> <th>Cas 2 : entraînement.</th> </tr> <tr> <td colspan="2">La/ les situation(s) proposée(s) permet(tent) de travailler certaines des compétences : chercher / modéliser / représenter / raisonner / calculer / communiquer</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Les situations proposées utilisent divers registres de représentation et des conversions de registres</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Des productions demandées aux élèves permettent au professeur d'accéder à leur cheminement</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Des éléments d'évaluation formative sont proposés</td> </tr> <tr> <td>L'activité proposée permet aux élèves une prise d'initiative BONUS</td> <td>L'activité proposée permet de travailler des automatismes BONUS</td> </tr> <tr> <td>L'activité proposée permet à l'élève d'expérimenter et/ou conjecturer</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">L'activité proposée permet à l'élève d'utiliser différentes stratégies, il y a plusieurs solutions possibles.</td> </tr> </table>	3. Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique		Cas 1 : situation de recherche	Cas 2 : entraînement.	La/ les situation(s) proposée(s) permet(tent) de travailler certaines des compétences : chercher / modéliser / représenter / raisonner / calculer / communiquer		Les situations proposées utilisent divers registres de représentation et des conversions de registres		Des productions demandées aux élèves permettent au professeur d'accéder à leur cheminement		Des éléments d'évaluation formative sont proposés		L'activité proposée permet aux élèves une prise d'initiative BONUS	L'activité proposée permet de travailler des automatismes BONUS	L'activité proposée permet à l'élève d'expérimenter et/ou conjecturer		L'activité proposée permet à l'élève d'utiliser différentes stratégies, il y a plusieurs solutions possibles.		<table border="1" data-bbox="703 757 1193 1032"> <tr> <th colspan="2">4. L'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité mathématique prévue</th> </tr> <tr> <th>Cas 1 : activité qui peut être faite sans le numérique</th> <th>Cas 2 : activité qui ne peut pas être faite sans le numérique</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Le numérique permet au professeur de prendre en compte la diversité des élèves : par exemple personnaliser son parcours.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Dans le cas où un travail avec le numérique est prévu à la maison, celui-ci peut se faire sur un smartphone</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Le numérique permet aux élèves d'échanger ou de travailler collectivement BONUS</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Le numérique permet aux élèves de travailler dans différents lieux (avec possibilité d'emploi d'un smartphone si il y a un travail à la maison) BONUS</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="1214 880 1469 981"> <tr> <td>Le numérique permet au professeur de proposer des représentations, des informations qui ne seraient pas disponibles sinon</td> </tr> <tr> <td>Le numérique permet aux élèves d'accéder à des représentations, des informations qui ne seraient pas disponibles sinon</td> </tr> </table>	4. L'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité mathématique prévue		Cas 1 : activité qui peut être faite sans le numérique	Cas 2 : activité qui ne peut pas être faite sans le numérique	Le numérique permet au professeur de prendre en compte la diversité des élèves : par exemple personnaliser son parcours.		Dans le cas où un travail avec le numérique est prévu à la maison, celui-ci peut se faire sur un smartphone		Le numérique permet aux élèves d'échanger ou de travailler collectivement BONUS		Le numérique permet aux élèves de travailler dans différents lieux (avec possibilité d'emploi d'un smartphone si il y a un travail à la maison) BONUS		Le numérique permet au professeur de proposer des représentations, des informations qui ne seraient pas disponibles sinon	Le numérique permet aux élèves d'accéder à des représentations, des informations qui ne seraient pas disponibles sinon
3. Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique																																	
Cas 1 : situation de recherche	Cas 2 : entraînement.																																
La/ les situation(s) proposée(s) permet(tent) de travailler certaines des compétences : chercher / modéliser / représenter / raisonner / calculer / communiquer																																	
Les situations proposées utilisent divers registres de représentation et des conversions de registres																																	
Des productions demandées aux élèves permettent au professeur d'accéder à leur cheminement																																	
Des éléments d'évaluation formative sont proposés																																	
L'activité proposée permet aux élèves une prise d'initiative BONUS	L'activité proposée permet de travailler des automatismes BONUS																																
L'activité proposée permet à l'élève d'expérimenter et/ou conjecturer																																	
L'activité proposée permet à l'élève d'utiliser différentes stratégies, il y a plusieurs solutions possibles.																																	
4. L'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité mathématique prévue																																	
Cas 1 : activité qui peut être faite sans le numérique	Cas 2 : activité qui ne peut pas être faite sans le numérique																																
Le numérique permet au professeur de prendre en compte la diversité des élèves : par exemple personnaliser son parcours.																																	
Dans le cas où un travail avec le numérique est prévu à la maison, celui-ci peut se faire sur un smartphone																																	
Le numérique permet aux élèves d'échanger ou de travailler collectivement BONUS																																	
Le numérique permet aux élèves de travailler dans différents lieux (avec possibilité d'emploi d'un smartphone si il y a un travail à la maison) BONUS																																	
Le numérique permet au professeur de proposer des représentations, des informations qui ne seraient pas disponibles sinon																																	
Le numérique permet aux élèves d'accéder à des représentations, des informations qui ne seraient pas disponibles sinon																																	
<p>Sciences physiques</p> <table border="1" data-bbox="137 1126 628 1288"> <tr> <th>3. Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique</th> </tr> <tr> <td>L'activité proposée permet de travailler certaines des compétences : s'organiser/ chercher / modéliser / représenter / raisonner / calculer / communiquer</td> </tr> <tr> <td>L'activité proposée permet à l'élève de mener des investigations</td> </tr> <tr> <td>L'activité proposée utilise un modèle avec différentes représentations</td> </tr> <tr> <td>L'activité proposée permet aux élèves d'utiliser différentes stratégies, il y a plusieurs solutions possibles</td> </tr> </table>	3. Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique	L'activité proposée permet de travailler certaines des compétences : s'organiser/ chercher / modéliser / représenter / raisonner / calculer / communiquer	L'activité proposée permet à l'élève de mener des investigations	L'activité proposée utilise un modèle avec différentes représentations	L'activité proposée permet aux élèves d'utiliser différentes stratégies, il y a plusieurs solutions possibles	<table border="1" data-bbox="759 1144 1283 1234"> <tr> <th>4. L'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité prévue</th> </tr> <tr> <td>Le numérique permet au professeur de proposer des modèles, des représentations, des informations qui ne seraient pas disponibles sinon</td> </tr> </table>	4. L'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité prévue	Le numérique permet au professeur de proposer des modèles, des représentations, des informations qui ne seraient pas disponibles sinon																									
3. Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique																																	
L'activité proposée permet de travailler certaines des compétences : s'organiser/ chercher / modéliser / représenter / raisonner / calculer / communiquer																																	
L'activité proposée permet à l'élève de mener des investigations																																	
L'activité proposée utilise un modèle avec différentes représentations																																	
L'activité proposée permet aux élèves d'utiliser différentes stratégies, il y a plusieurs solutions possibles																																	
4. L'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité prévue																																	
Le numérique permet au professeur de proposer des modèles, des représentations, des informations qui ne seraient pas disponibles sinon																																	
<p>Anglais</p> <table border="1" data-bbox="213 1339 632 1480"> <tr> <th>3. Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique</th> </tr> <tr> <td>L'activité proposée permet de travailler certaines activités langagières: lire-écrire-écouter-parler en continu/en interaction</td> </tr> <tr> <td>L'activité proposée permet de confronter l'élève à des ressources authentiques</td> </tr> <tr> <td>L'activité proposée intègre une dimension culturelle</td> </tr> <tr> <td>Une tâche finale concrète et communicable est décrite</td> </tr> </table>	3. Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique	L'activité proposée permet de travailler certaines activités langagières: lire-écrire-écouter-parler en continu/en interaction	L'activité proposée permet de confronter l'élève à des ressources authentiques	L'activité proposée intègre une dimension culturelle	Une tâche finale concrète et communicable est décrite	<p>Pas de modification en catégorie 4</p>																											
3. Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique																																	
L'activité proposée permet de travailler certaines activités langagières: lire-écrire-écouter-parler en continu/en interaction																																	
L'activité proposée permet de confronter l'élève à des ressources authentiques																																	
L'activité proposée intègre une dimension culturelle																																	
Une tâche finale concrète et communicable est décrite																																	

DE LA GÉOGRAPHIE À L'HISTOIRE EXPÉRIMENTELLE



CAROLINE LEININGER-FRÉZAL



CATHERINE SOUPLET

MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE
00 ANI - 3 JUIN 2022



MAÏS COG 2022 @
RENDEZ-VOUS
EN DIDACTIQUE

De la géographie à l'histoire expérientielle

D'une didactique à une autre

Résumé : Le groupe de recherche Pensée Spatiale (Irem de Paris) a formalisé une proposition d'apprentissage expérientiel en géographie, modélisée par la démarche des « 4I », en s'appuyant sur les travaux de Kolb (1984) et une approche épistémologique centrée sur les pratiques spatiales. Après avoir présenté cette démarche en didactique de la géographie, nous en questionnerons les conditions de transférabilité en didactique de l'histoire, au regard notamment des spécificités des savoirs disciplinaires et leurs ancrages épistémologiques.

Mots-clé : didactique de la géographie, didactique de l'histoire, apprentissage expérientiel, épistémologie

Introduction

Si l'histoire-géographie est envisagée comme une discipline scolaire en soi, la didactique de l'histoire et la didactique de la géographie, tout en restant dans un rapport de voisinage teinté d'intérêt réciproque, développent leurs propres environnements théoriques. Des références épistémologiques peuvent être communes dès lors que celles-ci relèvent du champ des didactiques, mais elles restent spécifiques dès qu'elles renvoient à la discipline scientifique éponyme.

Par cette communication, nous souhaitons renforcer le dialogue entre ces deux didactiques par une approche commune pour penser des situations d'enseignement et d'apprentissage. Cette approche s'appuie sur une démarche expérientielle, développée par un groupe de recherche au sein du LDAR, en didactique de la géographie. L'enjeu consiste à étudier les conditions de transférabilité de cette approche en didactique de l'histoire, en questionnant notamment les spécificités des savoirs disciplinaires et leurs ancrages épistémologiques.

L'apprentissage expérientiel : approche théorique

Le rôle de l'expérience dans l'apprentissage de la géographie s'appuie sur le modèle formalisé par David A. Kolb (1984) (figure 1) qui s'appuie sur les travaux de Dewey (1938), Lewin (1951) et Piaget (1971) principalement.

Le modèle de Kolb reprend les quatre étapes de la démarche expérientielle telles qu'elles ont été définies par Lewin (1951) : l'expérience concrète, l'observation réflexive, la conceptualisation et l'expérimentation active. Il incorpore dans chacune de ces étapes d'autres concepts empruntés à certains précurseurs de l'apprentissage expérientiel mais aussi à d'autres auteurs.

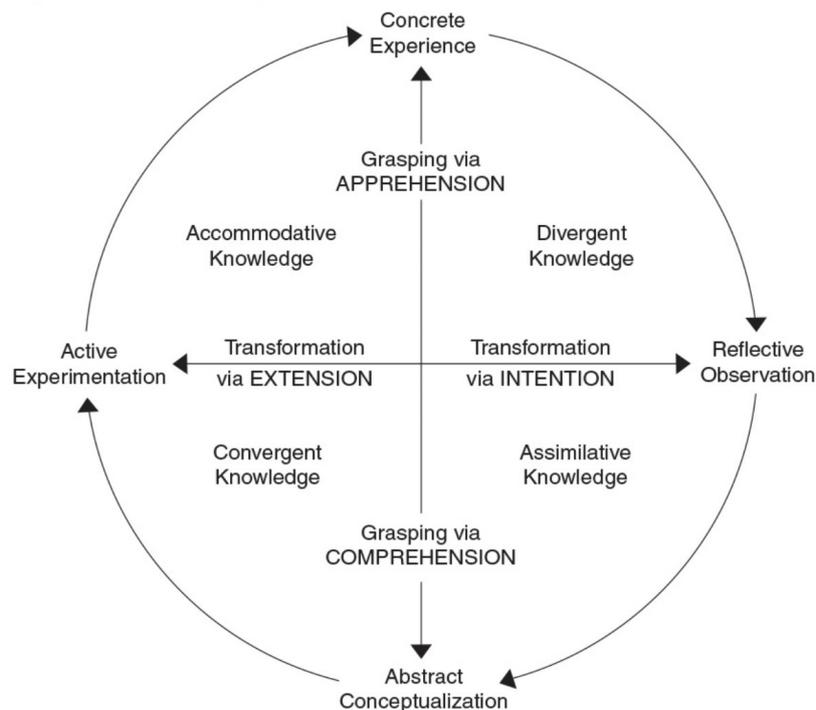


Figure 1: Modèle d'apprentissage expérientiel (Kolb, 1984, p.42)

Kolb associe les démarches de l'apprentissage expérientiel à un processus d'apprentissage qu'il conçoit à partir des concepts d'assimilation et d'accommodation et celui de « savoirs divergents » et de « connaissances convergentes¹ » empruntés à Piaget (1967). Kolb (1984) part du postulat qu'une expérience concrète met le sujet face à des « savoirs divergents ». La mise à distance de ces savoirs par une observation réflexive permet ensuite au sujet de rentrer dans un processus d'assimilation de ces nouvelles connaissances qui le conduit à les conceptualiser. La conceptualisation met en cohérence les connaissances qui deviennent « convergentes ». Le sujet peut alors en éprouver la validité par de nouvelles expérimentations ce qui l'amène à accommoder ces nouvelles connaissances, c'est-à-dire à modifier ses structures mentales. Kolb ne parle pas d'assimilation ou d'accommodation mais de « connaissances assimilées » et de « savoirs accommodés ».

Les géographes, notamment anglo-saxons, ont adopté la théorie de l'apprentissage expérientiel pour développer la géographie expérientielle. Il s'agit d'un enseignement de la géographie basé sur les expériences des élèves et permettant à ces derniers de questionner leurs représentations et leurs pratiques spatiales et de les repenser en tenant compte des connaissances et des compétences acquises en classe (Krakowka, 2012 ; Elwood, 2007 ; Halocha, 2005 ; Healey & Jenkins, 2000 ; Ives-Dewey, 2009). Cependant, les différentes étapes de l'approche conçue par Kolb n'ont pas été adaptées aux spécificités de l'enseignement de la géographie. Dans la littérature anglo-saxonne, il est difficile de distinguer une pédagogie expérientielle mobilisée dans un cours de géographie, d'une géographie expérientielle. Dans le premier cas, la pédagogie expérientielle n'a pas de lien avec l'épistémologie disciplinaire contrairement à la géographie expérientielle.

¹ La distinction faite ici entre savoir et connaissance n'existe pas en anglais. Les savoirs désignent des informations, concepts, notions extérieures au sujet alors que la connaissance est appropriée et organisée par ce dernier.

La géographie expérientielle : une approche épistémologiquement située

La différence entre les géographie et pédagogie expérientielle réside dans la nature de l'expérience en jeu. Faire une expérience dans l'espace n'est pas suffisant pour parler d'expérience spatiale. Sinon, toute expérience quelle qu'elle soit, seraient spatiales. Une expérience est spatiale si elle est centrée sur une pratique spatiale. Une pratique spatiale est « l'ensemble des relations matérielles et idéelles des individus à l'espace géographique » (Cailly, 2004, p.10). Les pratiques spatiales correspondent à des pratiques dans l'espace et à des pratiques langagières (par exemple, « je suis attachée à mon quartier »). Des pratiques langagières peuvent être spatiales. Les pratiques spatiales sont donc diverses et par conséquent les expériences spatiales aussi. Ce foisonnement nous a conduit à formaliser une typologie des différentes expériences spatiales en jeu dans une géographie expérientielle. Cette typologie (voir ci-dessous) a été proposée par Sophie Gaujal puis validée et complétée dans le groupe au fil de l'avancée de nos travaux.

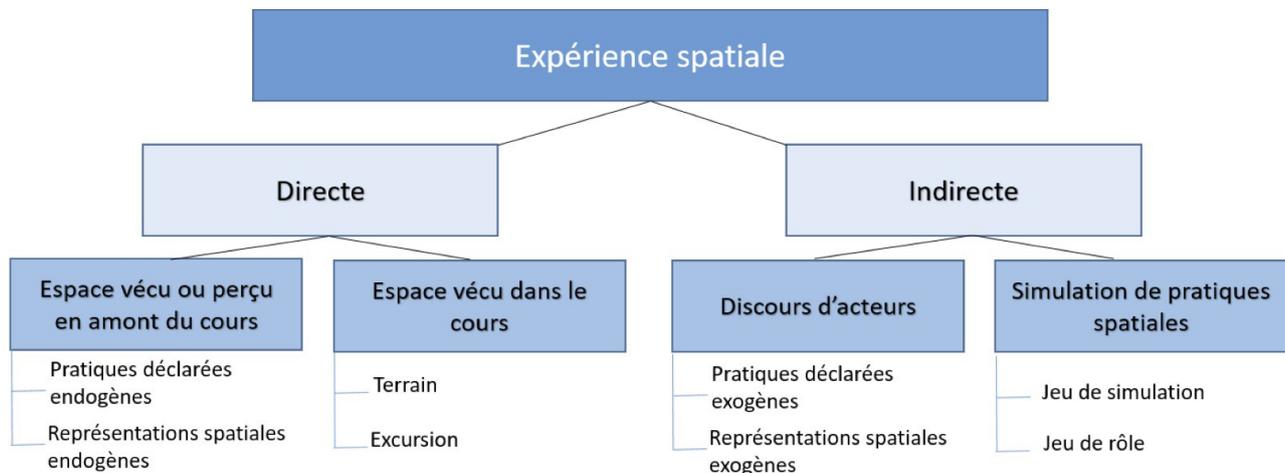


Figure 2: Les différents types d'expérience spatiale

Le groupe Pensée Spatiale (Irem de Paris) a élaboré une démarche géographique expérientielle dans laquelle l'expérience en jeu est spatiale. L'expérience spatiale peut être directe. Elle met alors en jeu soit les pratiques spatiales personnelles des élèves ou des étudiants dans un cadre privé, soit des pratiques spatiales provoquées par l'enseignant dans le cadre du cours de géographie. Dans le premier cas, leurs pratiques peuvent être récurrentes et fréquentes (mobilité domicile/école par exemple) ou bien ponctuelles et occasionnelles (départ en vacances par exemple). Dans ce cas, l'expérience repose sur ce que les apprenants disent faire dans l'espace (pratiques déclarées endogènes) ou bien sur leurs représentations spatiales. Les pratiques spatiales et l'expérience qui en découlent sont individuelles. Dans le second cas, les pratiques spatiales sont ponctuelles, créées par l'enseignant et elles sont collectives. Ce sont alors des sorties de terrain ou bien des excursions.

L'expérience peut aussi être indirecte. Il ne s'agit plus du vécu des apprenants mais celui d'autres acteurs qui rapportent leurs pratiques ou leurs représentations spatiales dans leur discours. Ces pratiques peuvent aussi être simulées dans des jeux de rôles ou de simulation.

Ainsi, la géographie expérientielle met en jeu des pratiques spatiales, cela impacte l'ensemble des étapes de la démarche expérientielle. Nous avons ainsi renommé et redéfini les quatre étapes de la démarche en 4i comme le montre la figure 3.

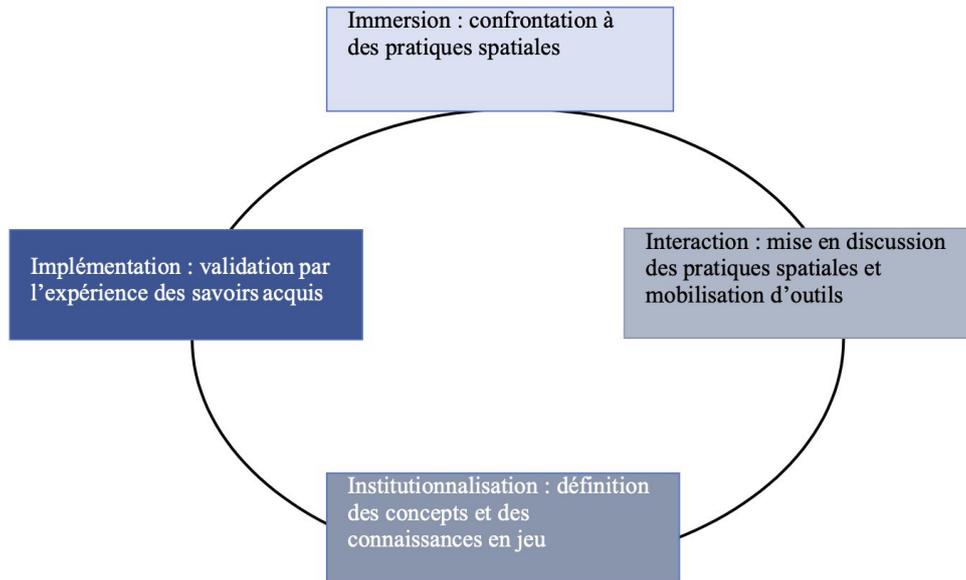


Figure 3: La démarche des 4i

1ère phrase : L'immersion est la phase où l'élève est confronté à des pratiques spatiales. Confronté signifie que les apprenants vont formaliser une pratique spatiale à l'écrit que ce soit par des cartes mentales, des cartes sensibles ou bien par des mots. Ces pratiques peuvent être antérieures au cours ou bien créées dans la classe par l'enseignant (terrain, excursion, simulation, jeu de rôle etc.), peu importe. Dans les deux cas, l'immersion implique de passer du registre actionnel au registre sémiotique. Une fois formalisée, ces pratiques sont mises en discussion. C'est la seconde phase de la démarche.

2ème phase : Par la comparaison des pratiques spatiales, les apprenants sont amenés à mettre à distance les pratiques spatiales formulées et formalisées dans un premier temps. Ces discussions leur permettent de les approfondir et d'élargir leurs conceptions initiales. Les échanges et la mobilisation d'outils géographique sont les leviers d'un raisonnement géographique qui commence à mettre à distance les conceptions initiales des apprenants. Cette étape introduit la phase suivante qui est la conceptualisation.

3ème phase : L'institutionnalisation est le temps de conceptualisation qui correspond à la formalisation des concepts et des savoirs de la géographie raisonnée. Cela implique la production d'un écrit quelle que soit sa forme. Cette formalisation peut se faire de manière plus ou moins guidée par l'enseignant. Cette étape se construit en s'appuyant sur le questionnement porté par les apprenants dans la phase précédente. L'institutionnalisation est indispensable pour l'apprentissage : elle fixe le texte de savoir.

4ème phase : L'implémentation est le moment où l'apprenant éprouve la véracité et le caractère opératoire des savoirs appris en classe. Cette étape se réalise souvent selon une temporalité différente. Les trois premières étapes de la démarche, l'expérience concrète, la réflexion et la conceptualisation, peuvent prendre place dans le cadre d'une séquence ou d'un ensemble de séances. En revanche, l'expérimentation active qui est la quatrième étape peut avoir lieu à différents moments :

- À court terme dans la même séquence
- Ou bien moyen terme, dans le cadre d'une autre séquence plus tard dans l'année
- Ou à long terme encore dans un cadre non scolaire.

Pour poursuivre la réflexion, nous proposons de questionner cette approche expérientielle d'apprentissages disciplinaires, formalisée en géographie par le groupe Pensée Spatiale (Irem de Paris), en nous tournant vers l'histoire scolaire. Didactique de la géographie et didactique de l'histoire se développent de façon plutôt autonome, sur un rapport de bon voisinage la plupart du temps, alors qu'elles renvoient dans l'espace scolaire à deux disciplines étroitement articulées l'une à l'autre puisqu'il est question d'histoire-géographie. Se retrouver sur un terrain de recherche commun ne peut que nourrir le dialogue entre nos deux disciplines (d'ailleurs réunies dans un parcours de master).

En outre, investir cette proposition pour l'histoire contribuer à nourrir un renouvellement des pratiques pour une discipline qui reste souvent associée à une image un peu poussiéreuse, résistante aux changements (Tutiaux-Guillon, 2008).

Si pour la géographie cette approche expérientielle a déjà fait l'objet d'expérimentations dans des classes (cf. les travaux du groupe Pensée spatiale), ce n'est aucunement le cas pour l'histoire. La réflexion proposée relève donc d'un registre exploratoire et spéculatif, en adoptant comme postulat initial le cadre posé par la géographie expérientielle et la démarche des 4I présentée ci-dessus. L'intention est d'étudier comment cette approche serait mobilisable pour l'histoire scolaire, et comment cela résonne, fait lien avec des travaux déjà existants en didactique de l'histoire.

Vers une histoire expérientielle

A la recherche d'un ancrage épistémologique disciplinaire : du temps historique à la pensée historique

Pour la géographie, le soubassement épistémologique mobilisé renvoie principalement aux questions spatiales, l'espace étant un concept abondamment utilisé par les géographes, voire identitaire de la discipline. Dès lors, il est question d'expérience spatiale, de pratiques spatiales.

Spontanément, pour l'histoire, une analogie se dessine et invite à penser la question du temps pour envisager un soubassement épistémologique, qui serait quasi-identitaire de la discipline. Sauf que cela est difficilement opérant dans l'espace scolaire lorsque l'on envisage une entrée par l'expérience et le vécu d'une expérience. Que serait une expérience, une pratique temporelle ? Bref, penser de façon homothétique, un passage d'un questionnement sur l'expérience spatiale et/ou les pratiques spatiales à un questionnement sur les expériences temporelles et/ou les pratiques temporelles ne fonctionnent pas si facilement.

Soulignons que ces questions d'expérience temporelle ne sont nullement étrangères aux réflexions épistémologiques d'historiens. Ainsi, François Hartog (2003) a proposé le néologisme d'historicité pour inviter à mieux penser le temps. Il désigne par l'expression régime d'historicité un « questionnement historien sur nos rapports au temps » (p. 27), invitant à réfléchir les modes d'articulation entre présent, passé et futur pour mieux définir notre expérience du temps. Il inscrit ses travaux dans la continuité de ceux de Reinhart Koselleck (1990, 1997) qui distingue « champ d'expérience » et « horizon d'attente », la première expression renvoyant au passé, à la sédimentation des événements, des actions humaines passés et qui peuvent être remémorés, la seconde désignant nos perceptions relatives au futur que ce soit par formes d'anticipations, de souhaits, d'espoirs. Ces travaux ont déjà été mobilisés par des didacticiens (notamment Doussot, 2011 ; Cariou, 2012 ; Souplet, 2012 ; entre autres), et en cela ils font partie du capital intellectuel

spécifique (Thémines, 2016) de la didactique de l'histoire. Penser des apprentissages scolaires avec le concept d'historicité implique d'inscrire l'objet d'étude dans le passé et dans une temporalité, et par rapport à soi ; faire en quelque sorte l'expérience de la temporalité du passé d'un événement historique et de sa distance par rapport au présent, tout en envisageant les futurs possibles qui en découlent.

Néanmoins traduire des questions d'expérience temporelle en situation scolaire, des façons dont des élèves peuvent accéder à une expérience du temps, n'a rien de simple. Une autre piste développée en didactique de l'histoire peut alors être saisie de manière féconde, ce sont les travaux autour de la pensée historique. La pensée historique désigne des modes de raisonnements spécifiques mobilisés lors d'apprentissages en histoire, pour penser à la manière de l'historien. Robert Martineau (1999) définit la pensée historique comme « une attitude qui, à propos d'un objet (le passé) et à partir de données spécifiques (les traces de ce passé) enclenche et oriente le raisonnement sur un certain mode, jusqu'à la production d'une représentation de ce passé (une interprétation) en utilisant un langage approprié » (p. 154).

Pour développer cette piste, je propose de prendre appui sur les propositions de Sabrina Moisan (2017) qui met en évidence deux pôles constitutifs du développement de la pensée historique à l'école, l'identification d'une part et la décentration d'autre part.

Le pôle de l'identification, selon Sabrina Moisan, « relève en bonne partie d'une expérience empirique » et réfère aux « expressions publiques du passé » (2017, p. 10). Se trouvent associés à ce pôle différents aspects ne relevant pas spécifiquement de l'espace scolaire, tels que les visites de musées, les lectures, les conversations familiales, les discours qui circulent dans l'espace social. Il y a là des éléments qui participent d'un « rapport informel » au passé.

Le pôle de la décentration renvoie à « une éducation historique formelle », par une mise à distance de ce qui compose le pôle de l'identification, notamment en envisageant d'autres points de vue.

Il y a donc passage d'une phase autocentrée en quelque sorte à une phase de décentration, ou passage d'une phase spontanée à une phase raisonnée.

S'esquissent alors, dans les propositions de Sabrina Moisan, des ouvertures heuristiques pour penser une approche expérientielle de l'histoire. Assez intuitivement, le pôle de l'identification peut être associé à la phase d'immersion dans la démarche des 4I, et le pôle de la décentration à la phase de l'interaction.

Penser l'expérience dans un processus d'apprentissage de l'histoire : des pistes à explorer et à formaliser

Que serait alors l'expérience dans une démarche d'apprentissages en histoire ? Quelles expériences pourraient enclencher la mobilisation de ressorts de la pensée historique, afin de construire un rapport au temps en vue d'apprentissages disciplinaires ?

La proposition de Sabrina Moisan sollicite la question de l'identification, qui laisse penser que l'enjeu serait notamment que l'élève s'identifie à des acteurs de l'histoire. Peut-être faut-il élargir les perspectives, et ne pas uniquement envisager un processus d'identification. Il s'agit bien (dans la proposition de la démarche des 4I) d'une immersion, immersion dans une situation, pour vivre une expérience qui confronte au passé de façon directe ou indirecte (cf. la figure 2), sans pour autant mobiliser la perspective tronquée de « revivre le passé ». Si ce pôle de l'identification renvoie, chez

Sabrina Moisan, à des manifestations informelles, personnelles, extrascolaires, relevant plutôt d'un registre spontané, alors importer cette proposition dans une approche expérientielle nécessite d'en mobiliser volontairement et explicitement des composantes dans un cadre scolaire disciplinaire. De nombreux scénarios pédagogiques, déjà esquissés, mis en place par des enseignants, pourraient participer de cette approche. Rencontrer des témoins d'événements ou périodes historiques, aller au musée dans le cadre scolaire, mettre en place un jeu de rôle, mobiliser son histoire familiale personnelle, travailler avec des fictions historiques, toutes ces pistes peuvent entrer dans cette perspective d'une confrontation au passé. L'enjeu est de ne pas refermer trop rapidement ces activités, mais plutôt de les penser dans une démarche globale favorisant un apprentissage expérientiel de l'immersion à l'interaction, jusqu'à l'implémentation.

Dans cette perspective, la réflexion de Sabrina Moisan (2017) évoque « le passage de l'identification à la décentration », et elle associe cela à « la méthode historique, habituellement présentée comme un processus de réflexion basé sur le modèle hypothético-déductif (Martineau, 2002), invitant l'élève à parcourir différentes étapes d'une démarche d'analyse ». Là aussi, se saisir de ces propositions pour la démarche des 4I nécessite d'élargir la perspective, et les possibilités d'outils didactiques permettant de favoriser un passage d'une phase d'immersion à une phase d'interaction : le contrôle des analogies, la périodisation, la contextualisation, l'identification explicite des entités historiques, la construction d'une posture prenant en charge le discours produit sur l'objet d'étude...

Indubitablement, cela appelle des expérimentations dans les classes.

Conclusion

Penser le transfert de la théorie des 4I de la géographie vers l'histoire soulève la question du rapport des didactiques à l'épistémologie disciplinaire. En géographie, l'ouverture vers une approche sensible des apprentissages s'appuie sur un renouvellement épistémologique qui soutient et favorise ce changement. En histoire, les pistes proposées pour l'approche expérientielle des apprentissages induisent inévitablement de faire avec l'émotion lorsque l'on confronte (par l'immersion) à des événements difficiles, à des mémoires douloureuses, mais aussi de faire avec l'anachronisme lorsque l'on propose comme des va et vient entre présent et passé. Ce sont là deux dimensions épistémologiques qui peuvent faire objet de débat chez les historiens, mais qui participent également de formes de renouvellement de la discipline. Néanmoins, cela s'exerce dans une relation plus frileuse avec la didactique.

Bibliographie

- Calbérac, Y. (2010). Terrains de géographes, géographes de terrain : Communauté et imaginaire disciplinaires au miroir des pratiques de terrain des géographes français du XXe siècle. Lyon 2. <http://www.theses.fr/2010LYO20110>
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Collier.
- Doussot, S. (2011). *Didactique de l'histoire. Outils et pratiques de l'enquête historique en Classe*. Rennes : PUR.
- Hartog, F. (2003). *Régimes d'historicité. Présentisme et expériences du temps*. Paris : Seuil.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning*. Prentice-Hall.
- Koselleck, R. (1990). *Le Futur passé, contribution à la sémantique des temps historiques*. Paris : Editions de l'EHESS.
- Koselleck, R. (1997). *L'expérience de l'histoire*. Paris : Gallimard. Lewin, K. (1951). *Field theory in social sciences*. Harper and Row.
- Martineau, R. (1999). *L'histoire à l'école, matière à penser...* Montréal/Paris : L'Harmattan.
- Moisan, S. (2017). La pensée historique à l'école : visées et modèles. *Bulletin du CREAS*, 3, 8-14
- Nairn, K. (2005). The Problems of Utilizing 'Direct Experience' in Geography Education. *Journal of Geography in Higher Education*, 29(2), 293-309. <https://doi.org/10.1080/03098260500130635>
- Piaget, J. (1967a). *Biologie et connaissance*. Gallimard.
- Piaget, J. (1967b). *Logique et connaissance scientifique* (Gallimard). <http://www.gallimard.fr/Catalogue/GALLIMARD/Encyclopedie-de-la-Pleiade/Logique-et-connaissance-scientifique>
- Piaget, J. (1968). *La naissance de l'Intelligence chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé.
- Piaget, J. (1971). *Psychology and epistemology*. Penguin books.
- Piaget, J. (1973). *Introduction à l'épistémologie génétique : Vol. I: La pensée physique*. (4ème édition). PUF.
- Piaget, J. (1974). *Adaptation vitale et psychologie de l'intelligence* (Herman).
- Thémines, J.-F. (2016). La didactique de la géographie. *Revue française de pédagogie*, 197, 99-136.
- Tutiaux-Guillon, N. (2008). Interpréter la stabilité d'une discipline scolaire : l'histoire-géographie dans le secondaire français. Dans Audigier F. & Tutiaux-Guillon N. (dir.), *Compétences et contenus. Les curriculums en question*. Bruxelles : De Boeck, p. 117-146.
- Volvey, A., Calbérac, Y., & Houssay-Holzschuch, M. (2012). Terrains de je. (Du) sujet (au) géographique. *Annales de géographie*, 687-688, 441-461.
- Vygotski, L., Piaget, J., Sève, L., Clot, Y., & Sève, F. (2013). *Pensée et langage* (4e édition). La Dispute.



CHALLENGE PÉDAGOGIQUE!



MORGANE PARISI
RENDEZ-VOUS EN DIDACTIQUE
00 MAI - 03 JUIN 2022

La programmation informatique dans la formation initiale des enseignants de mathématiques au Québec.

Prendre en compte les enjeux algorithmiques.

Résumé : Nous présentons une réflexion sur le rôle à donner à l'algorithmique dans la formation initiale des enseignants de mathématiques au secondaire au Québec, dans un contexte où l'algorithmique n'est pas inscrite dans les programmes officiels du secondaire. Ancré à la fois en didactique des mathématiques et en didactique de l'informatique, notre travail cherche à prendre en compte les enjeux didactiques algorithmiques et mathématiques dans l'utilisation d'activités de programmation informatique pour des futurs enseignants en formation initiale à la fois en didactique et en mathématiques. Il s'agit de préserver la richesse intrinsèque de l'activité algorithmique, au carrefour des sciences informatiques et mathématiques, tout en répondant à la volonté institutionnelle québécoise d'intégrer la programmation informatique à l'école dans une vision très instrumentale et transversale. Le cadre théorique de l'approche instrumentale nous permet d'aborder les liens possibles entre activité algorithmique et activité mathématique dans la conception de ressources algorithmiques pour l'enseignement des mathématiques.

Mots-clés : algorithmique, programmation informatique, formation initiale, enseignement des mathématiques au secondaire, genèse instrumentale.

La programmation informatique au Québec

Au Québec, suivant une dynamique internationale, l'apprentissage de la programmation informatique à l'école prend de l'expansion. Le plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur (MEES, 2020) prévoit le développement de l'usage pédagogique de la programmation dans les écoles. Barma et al. (2018), dans un rapport visant à proposer des actions optimales à poser pour favoriser l'usage pédagogique de la programmation informatique dans les écoles du Québec, recommandent que la programmation informatique soit ajoutée au curriculum québécois comme une nouvelle compétence transversale en lien avec la pensée informatique. L'algorithmique n'est donc pas considérée comme un domaine d'étude à part entière. De fait, elle n'est envisagée que de façon implicite pour sous-tendre une compétence prenant ancrage dans plusieurs compétences disciplinaires, en mathématiques, en science et technologie, en arts... Il s'agit là d'une vision purement instrumentale (Fluckiger & Bart, 2012) de l'informatique en général, et de la programmation en particulier, qui s'inscrit en rupture assez nette avec les arguments précurseurs sur l'enseignement de l'informatique à l'école, et l'irréductibilité de l'informatique aux autres sciences :

L'informatique a sa place à l'école au milieu des autres disciplines scientifiques [...] en raison de sa spécificité, de l'originalité de ses méthodes, et de l'extraordinaire enrichissement de la pensée scientifique qui en est résulté. (Arsac, 1980, p.1)

Dans cette communication, nous nous intéressons à la relation particulière qui lie l'informatique, plus précisément l'algorithmique, et les mathématiques scolaires. Nous abordons cette question dans le cadre de la formation initiale des enseignants de mathématiques au secondaire. Cette formation commence dès la première année d'université. Les étudiants n'ont donc pas reçu de formation universitaire en mathématiques préalablement à leur formation didactique, et doivent développer simultanément des connaissances mathématiques, des connaissances didactiques et des connaissances pédagogiques. En deuxième année, ils doivent suivre un cours d'initiation à la programmation informatique. Nous cherchons à savoir si l'activité algorithmique qu'ils développent dans ce cours peut favoriser également la mobilisation de connaissances ou de raisonnements mathématiques. Notre réflexion relève donc à la fois de la didactique de l'informatique et de la didactique des mathématiques. Du côté mathématique, nous nous inscrivons dans le cadre théorique de la genèse instrumentale (Rabardel, 1995) appliquée à l'enseignement des mathématiques (Trouche, 2005). La didactique de l'informatique nourrit notre réflexion sur l'algorithme en tant qu'objet à apprendre ou à enseigner (Caron et al., 2020), et des liens qu'il entretient avec l'activité mathématique (Modeste, 2012).

Enseigner l'algorithmique

La dualité objet ou outil d'enseignement

L'informatique, en tant qu'objet à enseigner ou à apprendre, ne se laisse pas facilement appréhender (Caron et al., 2020). Elle comporte par nature une pluralité interne (Bruillard, 2016 ; Lang, 2009 ; Mirabail, 1990). Il n'est donc pas facile d'identifier dans les pratiques d'enseignement des activités et des objets propres à l'informatique (Fluckiger, 2019), ni, dès lors, d'identifier les frontières entre informatique et disciplines scolaires. Les images mentales que se forgent les élèves à propos des programmes et de leur exécution lors de leurs premiers contacts avec la programmation sont difficiles à appréhender (Grandbastien, 1988). Le regard que porte la didactique de l'informatique sur son objet de recherche révèle plusieurs tensions, entre science et technique d'une part, entre ensemble de connaissances spécialisées et pratiques instrumentées de l'autre. Baron (2018) propose une structuration des enseignements scolaires relatifs au numérique qui rend compte de ces tensions. Les enseignements informatiques relèvent de trois ensembles ayant une intersection commune non vide : la science du traitement de l'information proprement dite (incluant tout ce qui relève du développement d'une « pensée informatique », le codage et l'acquisition de concepts informatiques), la culture technique (incluant l'appropriation d'outils comme les traitements textes ou le tableur), la culture citoyenne (incluant les enjeux éthiques et les réseaux sociaux). L'enseignement de l'algorithmique, surtout quand il est mis en œuvre à travers des activités de programmation informatique, peut relever des trois composantes à la fois. Il importe donc, dans la conception de ressources pédagogiques, d'être conscient de cette multiplicité. Modeste (2012), dans le même ordre d'idée, souligne la dualité de l'algorithme dans son rapport aux mathématiques :

Cette dualité nous semble particulièrement utile en ce qui concerne l'algorithmique : la particularité des algorithmes d'être des méthodes de résolution de problème (aspect problème) faciles à transférer (aspect effectif) implique un risque de ne considérer l'algorithmique uniquement sur ce point de vue outil (notamment dans un contexte d'enseignement). Or l'analyse ci-dessus laisse percevoir un objet riche avec un potentiel fort d'enrichissement de l'activité mathématique. (p.37)

Dans la lignée de Modeste (2012), Briant (2013) et Laval (2018), nous souhaitons prendre en compte cette dialectique objet/outil, au sens de Douady (1986), ce qui suppose de prendre en compte le fait

qu'« un algorithme n'est pas uniquement un outil pour la résolution de problèmes mais c'est aussi un objet mathématique à part entière » (Modeste, Gravier et Ouvrier-Bufferet, 2010, p. 52)

Des instruments algorithmiques pour travailler les mathématiques ?

On constate, aussi bien en France (Laval, 2018), qu'au Québec (Barma, 2020), une volonté institutionnelle de nier l'importance de la dualité objet/outil de l'algorithmique et de réduire son enseignement à un outil pour la résolution de problèmes ou la construction de connaissances mathématiques. Or les enjeux didactiques dans l'enseignement de l'algorithmique sont multiples et rendent impossible la réduction d'un algorithme à un artefact favorisant la médiation entre les élèves et les concepts mathématiques. Il nous paraît plus riche de promouvoir un enrichissement mutuel entre activité algorithmique et mathématique. Cela nous amène, dans la lignée de Lagrange et Rogalski (2017), à interroger les concepts et les compétences relevant de chacune de ces activités, et leurs possibles corrélations. C'est à travers l'approche instrumentale de la didactique que nous abordons ces liens. Initialement développée par Rabardel (1995) dans une perspective d'ergonomie cognitive, cette théorie repose sur la distinction fondamentale entre un artefact, initialement conçu pour répondre à des objectifs précis, et l'instrument qui est construit par un sujet à partir de cet artefact au cours de son usage dans une activité située. Un artefact n'est donc qu'une proposition, qui peut être développée ou non, par un sujet lors d'une activité (Trouche, 2005). La genèse instrumentale désigne le processus par lequel un instrument est construit par un sujet engagé dans une action mettant en jeu un artefact. Cette construction passe par la mise en place et le développement de schèmes d'utilisation par le sujet engagé dans une action, et par l'enrichissement des propriétés de l'artefact. Dans la lignée de Gueudet et al. (2014), nous cherchons à répondre à la question suivante : « Dans quelle mesure l'écriture de programmes informatiques peut-elle se constituer en instrument de travail permettant d'approfondir la compréhension des notions mathématiques ? »

Une étude préliminaire

Méthodologie

Nous avons mené une étude préliminaire, dans le contexte du cours d'initiation à la programmation informatique inclus dans la formation des enseignants de mathématiques au secondaire à l'UQAM. Pour cela nous avons observé des étudiants en train de résoudre, par équipes de deux, des tâches de programmation informatique. L'organisation de la salle est flexible, ce qui permet aux équipes de collaborer. Nous avons enregistré les conversations des étudiants, et recueilli les fichiers informatiques qu'ils ont produits (fichiers Scratch et Python). Les tâches que nous avons sélectionnées ont en commun de chercher à établir des liens entre mathématiques et informatique, soit en proposant la mise en œuvre de concepts centraux en algorithmique dans un contexte mathématique, soit en permettant l'exploration d'une question mathématique classique via la construction d'un algorithme. La première s'intéresse à l'algorithme comme objet d'enseignement, l'objectif étant la compréhension de la boucle *jusqu'à ce que*. La deuxième vise la construction d'un instrument pour comprendre une propriété mathématique, à travers l'écriture d'un algorithme informatique. Les grilles d'analyse ont été conçues pour mettre au jour les traces des schèmes instrumentaux mis en place et les concepts mathématiques et algorithmiques convoqués. L'analyse des programmes informatiques produits par les étudiants permet également d'observer la mobilisation des variables informatiques et son adéquation avec les structures de contrôle utilisées.

Nous présentons ici deux de ces tâches et quelques éléments d'analyse du travail réalisé par les étudiants lors de leur mise en œuvre dans le cadre de la formation initiale des enseignants de mathématiques au secondaire à l'UQAM.

Tâche 1 : la division euclidienne

La première tâche que nous présentons a été construite autour d'un enjeu algorithmique : la mise en œuvre de la structure de contrôle *jusqu'à ce que* (nous travaillons dans Scratch). Pour cela, nous avons demandé aux étudiants d'écrire un programme permettant de tester la divisibilité d'un nombre entier par un autre, sans avoir recours aux opérateurs *arrondi*, *modulo* ou *partie entière*. D'un point de vue mathématique, la contrainte de ne pas utiliser d'opérateur prédéfini force le passage vers une conception de la division entière par multiplication ou soustraction répétée. Du point de vue algorithmique, cette même contrainte amène à structurer l'algorithme avec une boucle *jusqu'à ce que*. On cherche ici à exploiter la dualité objet/outil de cette structure de contrôle : elle constitue l'objet du travail algorithmique tout en jouant un rôle d'outil permettant de revenir à la définition de la division euclidienne et de clarifier son statut opératoire. L'algorithme peut ainsi se constituer en un instrument permettant de rendre explicite le processus itératif sous-jacent à toute division.

Toutes les équipes ont spontanément opté pour une conception de la division comme soustraction répétée, plutôt que multiplication répétée. Ce choix semble avoir été conditionné par une tâche vue préalablement dans le même cours lors du travail sur l'instruction conditionnelle. Les étudiants avaient écrit un programme permettant de tester la parité d'un nombre. En réalisant cette activité, les étudiants ont activé le schème d'utilisation de l'opérateur *modulo* pour tester la divisibilité entre deux nombres. Ce schème est encore très présent au moment où ils se lancent dans la présente tâche. Ils cherchent donc spontanément à calculer le reste de la division entière de a par b , puis en viennent à devoir expliciter le travail de l'opérateur *modulo* qui leur est interdit. En revanche, l'écriture de la boucle *jusqu'à ce que*, dont la genèse a été activée plus anciennement, est plus difficile pour eux. Les schèmes algorithmiques visés par l'activité sont « choix d'un test de fin » et « gestion de l'incréméntation des variables ». Le premier schème émerge naturellement dans la plupart des équipes, mais son installation est encore fragile chez d'autres. La figure 1 montre un extrait du programme écrit par l'équipe 1. Le recours à une boucle infinie non nécessaire traduit chez ces étudiants une incertitude quant à l'efficacité de leur test d'arrêt. Cette incertitude traduit une instrumentation encore fragile de l'artefact « boucle *jusqu'à ce que* ».



Figure 1. Recours à une boucle infinie par l'équipe 1

Ces étudiants ont utilisé la boucle pour calculer le reste, puis sont revenus à la définition de la division pour calculer le quotient. Bien que faisant l'objet d'un apprentissage, la boucle *jusqu'à ce que* se constitue en outil pour expliciter le processus de division.

L'équipe 3 a choisi de calculer le quotient à même la boucle, en incrémentant un compteur. Paradoxalement, cette même équipe, qui semble plutôt à l'aise avec l'incrément, n'a pas acquis le schème permettant d'affecter à une variable sa valeur initiale incrémentée (par exemple, $\text{reste} \leftarrow \text{reste} - b$). Les étudiants ont donc recours à une variable intermédiaire « NouveauReste » inutile (figure 2). La genèse instrumentale algorithmique relative à l'affectation, et qui se traduit par une utilisation adéquate de l'instruction « mettre ... à ... » est encore fragile. L'existence dans Scratch de deux instructions différentes pour l'affectation (« ajouter ... à ... » et « mettre ... à ... ») pourrait favoriser cette conceptualisation séparée de l'affectation et de l'incrément. On voit ici l'influence de l'artefact sur la conceptualisation algorithmique. Par ailleurs, cette même équipe a produit un algorithme à la structure complexe, envisageant plusieurs cas de figure non nécessaires (cas où le quotient est nul, cas où la division aboutit en une seule étape). L'instrument d'explicitation mathématique que nous avons anticipé est construit, mais il reflète une conception de la division qui n'a pas encore le statut d'un processus général s'appliquant de la même façon à toute paire de nombres entiers.

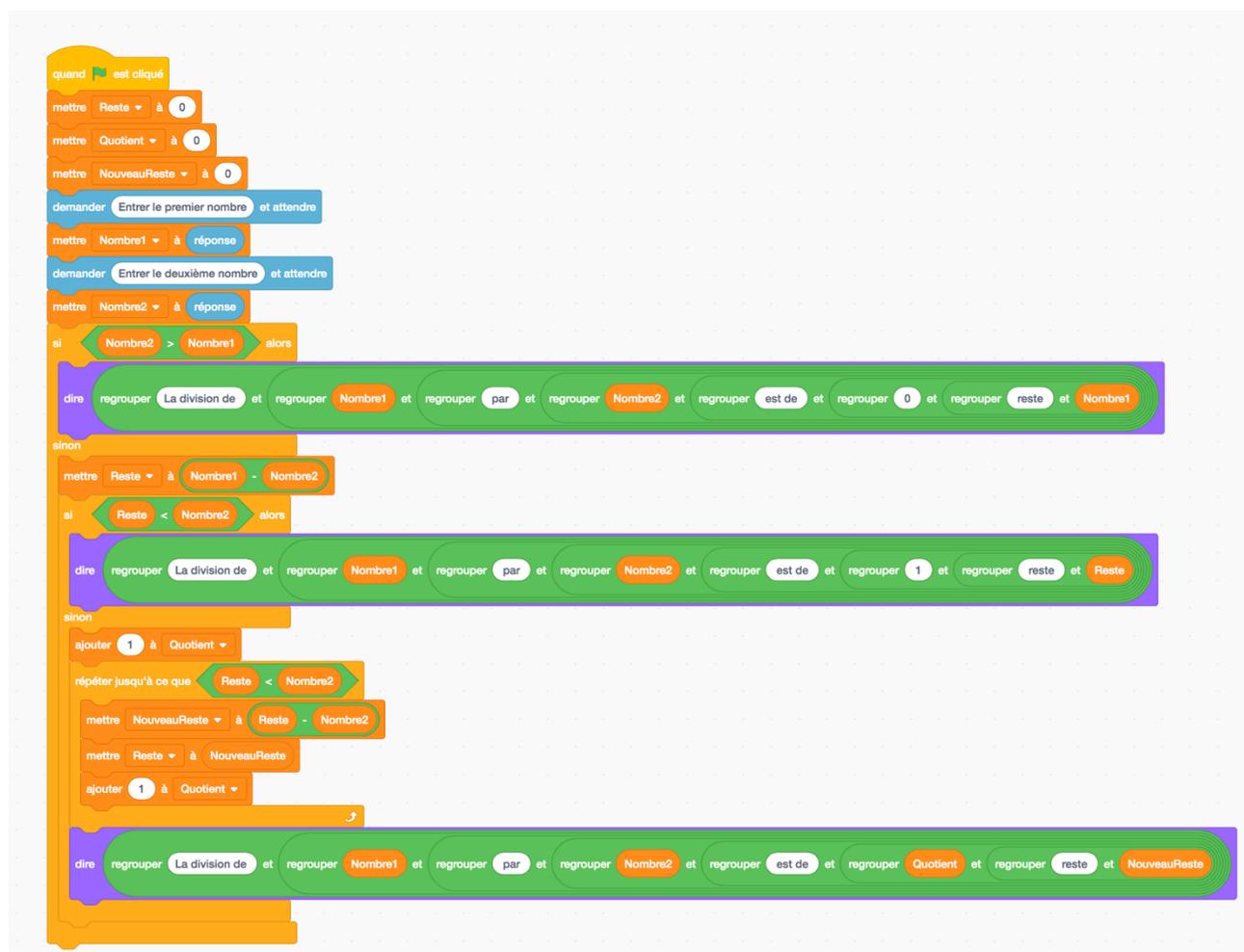


Figure 2. Incrément et structuration par cas particuliers pour l'équipe 3

Tâche 2 : simplification de la racine carrée.

Notre démarche d'exploration des liens entre mathématique et algorithmique nous a également amenés à partir de propriétés classiques en mathématiques et à explorer les effets de leur transposition dans une démarche algorithmique. Nous avons retenu ici l'exemple de la simplification de la racine carrée proposé par Briant et Bronner (2015). Nous demandons aux étudiants d'écrire un programme

permettant de simplifier la racine carrée de n'importe quel entier naturel n , c'est-à-dire d'afficher une écriture sous la forme $a\sqrt{b}$ avec b le plus petit possible. Notons qu'au Québec, les étudiants n'ont pas été habitués, dans leurs études secondaires, à simplifier systématiquement les racines carrées. Ce n'est donc pas une pratique habituelle pour eux. Certains d'entre eux ne connaissent pas cette propriété des nombres entiers. Notre idée est donc de les amener à construire un instrument de travail mathématique leur permettant de l'explorer, de la comprendre et de se l'approprier.

Nous présentons ci-dessous l'exploration réalisée par deux étudiantes, Nathalie et Geneviève. Elles passent les dix premières minutes de l'activité à essayer de comprendre la propriété mathématique en travaillant sur des exemples. Elles ne sont pas très à l'aise avec la notion de racine carrée, ce qui semble leur faire perdre momentanément l'accès au sens mathématique de la divisibilité : « *On a n est égal à 20, je vais commencer par tester si la racine de 19 divise 20. (Inaudible). Mais c'est quoi la division ? Comment je fais ma division avec une racine ?* » À ce stade, leur réflexion est essentiellement algorithmique. Elles activent alors deux schèmes d'utilisation algorithmiques bien ancrés, celui consistant à recourir à l'opérateur *modulo* pour tester la divisibilité, et celui associant à tout algorithme une structure de boucle. Elles cherchent donc à raisonner en termes d'itérations d'une opération, mais elles peinent à trouver cette opération. Elles sont handicapées par une conception fragile des liens entre la racine carrée d'un nombre et son carré et finissent par se perdre : « racine de 16, racine de 4 fois racine de 4 mais là tu peux toujours avoir racine de 20 donc... je comprends pas ce que je fais... ». Elles abandonnent ce premier algorithme et entrent dans une réflexion plus mathématique : « *20 pourquoi ça marchait ? C'est parce que j'avais 2 et 2 donc là je prenais ça. Racine de 4 fois 5 [...]. Ok, mais je peux pas faire racine de trois fois 15. ...Donc là si je fais $b=15$. Y en a pas un que je peux réduire, mais [...] mettons que j'ai 3, 3 et 5, ça fait 9 fois 5, donc je peux le faire avec 45.* ». La recherche d'un algorithme se constitue alors en un instrument d'exploration mathématique. Elles décident de quitter le papier-crayon et de commencer à programmer. Elles reprennent un programme déjà travaillé dans le cours et permettant d'obtenir la liste des diviseurs premiers d'un entier n . Ce faisant, elles poursuivent leur exploration mathématique : « *on prend les deux premiers éléments et on multiplie tous les autres. Mais le truc c'est que c'est pas nécessairement les premiers. Mon problème, c'est que si, mettons, j'avais 75, il faudrait prendre les deux derniers.* ». Elles réalisent alors que l'algorithme vers lequel elles s'orientent est valide mathématiquement, mais difficile à programmer. C'est ici qu'entre en jeu la dialectique objet/outil de l'algorithme. Une meilleure connaissance des algorithmes de gestion des listes (objet d'un apprentissage algorithmique) leur aurait permis d'aboutir dans leur démarche et d'écrire elles-mêmes un programme (outil de mobilisation de connaissances mathématiques) leur permettant d'explorer la propriété mathématique en jeu. Au lieu de ça, un peu découragées, elles demandent de l'aide à leur collègue Arturo. Arturo va alors leur imposer l'algorithme qu'il a construit et qui consiste à trouver le plus grand nombre a tel que a^2 divise n . Elles écrivent sous sa dictée, mais ne comprennent pas vraiment ce qu'elles font. Ce n'est que quand il les aura laissées et qu'elles débogueront le programme qu'elles comprendront à la fois l'algorithme et son résultat : « *parce que, dans le fond, 5 racine de 3 c'est égal à racine de 5 au carré fois 3, c'est racine de 25 fois 3, donc racine de 75. C'est-tu pas merveilleux ?* ». Ce faisant, elles n'accèdent qu'à l'aspect outil de l'algorithme.

Conclusion

Les résultats obtenus montrent à quel point la dialectique objet/outil intervient dans toute tentative de construire un instrument de travail mathématique à partir d'un algorithme. Une genèse instrumentale

algorithmique trop peu solide ne permet pas en effet la construction d'un instrument de travail mathématique intéressant. L'algorithme ne peut pas, alors, jouer le rôle d'un outil pour la mobilisation de connaissances mathématiques. Par exemple, dans la tâche 1, le travail algorithmique montre, pour l'équipe 3, que le processus de généralisation de l'opération division entière est encore en cours, mais que les connaissances encore fragiles sur la boucle *jusqu'à ce que* ne favorisent pas sa finalisation. Réciproquement, si les connaissances mathématiques ne sont pas assez solides pour que l'apprenant s'engage dans la recherche d'un algorithme, les schèmes algorithmiques visés par la tâche ne peuvent pas être activés ou mis en place. La tâche échoue alors dans son objectif de construction de connaissances sur l'algorithme en tant qu'objet d'enseignement. Cependant, le travail réalisé par Nathalie et Geneviève montre que même les étudiants peu avancés peuvent bénéficier des allers-retours entre pensée mathématique et algorithmique. L'exploration algorithmique leur a permis de réactiver des connaissances mathématiques relatives à la manipulation du radical, et à la relation inverse entre la racine et le carré. L'algorithme mathématique qu'elles ont partiellement mis en place, en passant par la décomposition en facteurs premiers, est très proche de la démonstration mathématique de la propriété. Il correspond à ce que Briant et Bronner (2015) appellent la résolution mathématique, qui doit, selon eux, subir une double transposition pour devenir un algorithme informatique. Dans notre cas, les étudiants possédaient les connaissances et les outils pour implémenter la décomposition en facteurs premiers, le programme ayant été écrit dans un exercice précédent. Cependant, elles étaient trop peu familières avec la recherche d'éléments dans une liste pour poursuivre dans cette voie qui aurait provoqué une avancée considérable dans leur genèse instrumentale algorithmique. Elles ont alors adopté la résolution algorithmique proposée par Arturo, qui reprenait la piste qu'elles avaient suivie initialement, puis abandonnée, faute de la comprendre mathématiquement. La complémentarité de ces approches se révèle particulièrement intéressante dans le travail de débogage réalisé par Nathalie et Geneviève. C'est en effet au cours de cette ultime étape qu'elles en viennent à comprendre simultanément la structure itérative de l'algorithme proposé par Arturo et les enjeux mathématiques de la propriété étudiée. Ici c'est donc davantage la compréhension de l'algorithme que sa construction qui se constitue en instrument de travail mathématique.

Les deux tâches proposées ici diffèrent dans leurs intentions didactiques. Cependant, elles ont en commun de reposer sur une exploration mathématique préalable, nécessaire pour déterminer les opérations mathématiques à itérer. Dans les deux cas, la construction de l'algorithme permet de revisiter des connaissances mathématiques. La dualité objet/outil de l'algorithme est incontournable et exploitable au profit d'une exploration mathématique. Exploiter un contexte mathématique simple peut permettre de mettre en place des schèmes algorithmiques avancés. La complexité mathématique peut cependant faire obstacle à la genèse instrumentale algorithmique. En effet, certains algorithmes peuvent être plus pertinents d'un point de vue mathématique, mais plus difficiles à traduire en langage informatique. Réciproquement, une genèse algorithmique avancée peut bloquer l'accès à des algorithmes mathématiques plus efficaces, notamment en contexte de preuve. Enfin, la confrontation d'algorithmes différents résolvant une même question, et le débogage sont des activités à favoriser explicitement. Ces considérations sont à prendre en compte dans la formation continue et initiale des enseignants de mathématiques.

Bibliographie

Arsac, J. (1980). *Premières leçons de programmation*. Cedic.

- Barma, S. (2018). *Rapport final : Réaliser une étude de cas multiple qui vise à affiner les connaissances sur l'usage pédagogique ou didactique de la programmation dans les écoles du Québec* (Rapport no 118982). Québec, Québec : Université Laval. <https://lel.crires.ulaval.ca/oeuvre/rapport-final-realiser-une-etude-de-cas-multiple-qui-vise-affiner-les-connaissances-sur>
- Baron, G.-L. (2018). Informatique et numérique comme objets d'enseignement scolaire en France : entre concepts, techniques, outils et culture. Dans G. Parriaux (resp.), *De 0 à 1 ou l'heure de l'informatique à l'école*. Colloque Didapro 7–DidaSTIC. Lausanne, Suisse, Peter Lang.
- Briant, N., & Bronner, A. (2015). Étude d'une transposition didactique de l'algorithmique au lycée : une pensée algorithmique comme un versant de la pensée mathématique. Dans L. Theis (resp.), *Pluralités culturelles et universalités des mathématiques : enjeux et perspectives pour leur enseignement et leur apprentissage*. Colloque EMF2015–GT3 (pp. 231-246). Alger, Algérie.
- Bruillard, É. (2016). Quelle informatique à repenser et à construire pour les élèves de l'école primaire. Dans F. Villemonteix, G.-L. Baron et J. Béziat (dir.), *L'école primaire et les technologies informatisées. Des enseignants face aux TICE* (p. 29-37). Presses Universitaires du Septentrion.
- Caron, P.-A., Fluckiger, C., Marquet, P., Peter, Y., & Secq, Y. (2020). *L'informatique, objets d'enseignements enjeux épistémologiques, didactiques et de formation*. Université de Lille. Colloque DIDAPRO 8 -DIDASTIC, Lille, France.
- Douady, R. (1986). Jeux de cadre et dialectique 'outil-objet'. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7 (2), 5-32.
- Fluckiger, C. (2019). *Une approche didactique de l'informatique scolaire*. Presses universitaires de Rennes.
- Fluckiger, C., & Bart, D. (2012). L'introduction du B2i à l'école primaire : évaluer des compétences hors d'une discipline d'enseignement ? *Questions vives. Recherches en éducation*, 7(17), 71-87.
- Gueudet, G., Buteau, C., Mesa, V., & Misfeldt, M. (2014). Instrumental and documentational approaches : from technology use to documentation systems in university mathematics education. *Research in Mathematics Education*, 16(2), 139-155.
- Lang, B. (2009). *L'informatique : Science, techniques et outils*. LexiPraxi 98, journée de réflexion sur le thème «Former des citoyens pour maîtriser la société de l'information», Paris.
- Lagrange, J. B., & Rogalski, J. (2017). Savoirs, concepts et situations dans les premiers apprentissages en programmation et en algorithmique. *Annales de Didactiques et de Sciences Cognitives*. 22, 119-158.
- Laval, D. (2018). *L'algorithmique au lycée entre développement de savoirs spécifiques et usage dans différents domaines mathématiques*. [Thèse de doctorat, université Sorbonne Paris Cité].
- Mirabail, M. (1990). *La culture informatique*. Aster.
- Modeste, S. (2012). *Enseigner l'algorithme pour quoi ? Quelles nouvelles questions pour les mathématiques ? Quels apports pour l'apprentissage de la preuve ?* [Thèse de doctorat. Université de Grenoble].
- Modeste, S., Gravier, S., & Ouvrier-Bufferet, C. (2010). Algorithmique et apprentissage de la preuve. *Repères Irem*, 79, 51-72.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Trouche, L. (2005). *Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques*. Le calcul sous toutes ses formes. Saint-Flour, France.



RÉSUMÉ TA RECHERCHE EN 2 MIN, PRÉSENTATION DE POSTERS



Chapitre 4

Posters

Des ressources pour développer l'esprit critique au collège

Quels choix d'usages par les enseignant·e·s de physique-chimie et de sciences de la vie et de la terre ?

Résumé : Dans cette communication nous étudions les choix d'usages et non-usages de ressources par des enseignants de sciences de collège lorsqu'ils cherchent à développer l'esprit critique de leurs élèves. Nous nous basons sur une analyse qualitative d'entretiens semi-directifs menés avec 4 enseignants de physique-chimie et 4 enseignants de sciences de la vie et de la terre. De leur discours ressort un non-usage des manuels, un usage important de ressources en ligne pour l'auto-formation et des initiatives de conception de ressources. Les usages semblent peu marqués par des différences disciplinaires.

Mots-clé : esprit critique, ressources, enseignement secondaire, sciences

Enseignement et esprit critique : un domaine peu étudié

Dans de nombreux pays le développement de l'esprit critique (désigné ensuite par EC) des élèves est envisagé comme l'une des finalités de l'éducation. En France, cet objectif est particulièrement mis en avant dans les discours institutionnels depuis les attentats de 2015 (Éduscol, 2016 ; Mahmoudi, 2020).

Il existe une littérature scientifique anglophone conséquente au sujet du « critical thinking » en éducation (Lai, 2011). Deux approches y sont principalement représentées : celles issues de la psychologie cherchant à mesurer la pensée critique ou étudier les processus cognitifs qui lui seraient liés (Lamont, 2020) et les approches en philosophie de l'éducation, qui ont notamment donné lieu à une diversité de définitions de la pensée critique (Johnson et Hamby, 2015). Une partie d'entre-elles conçoivent la pensée critique comme une pensée tournée vers la prise de décision sur ce qu'il faut croire ou faire et nécessitant un ensemble de compétences et de dispositions (Ennis, 1996). D'autres estiment qu'il s'agit d'une pratique devant viser la transformation sociale (Burbules & Berk, 1999). Cette notion renvoie ainsi à des conceptions diverses au sein même des travaux de recherches.

Les recherches en didactiques et sciences de l'éducation portant spécifiquement sur les questions d'enseignement-apprentissage de l'EC commencent à se développer (Éthier, Lefrançois et Audigier, 2018 ; Viennot et Décamp, 2019 ; Pallares, 2020, De Checchi, 2021) mais restent peu nombreuses. Nous disposons de très peu d'informations sur les manières dont les enseignants français s'emparent de cet enjeu éducatif. Dans le cadre de notre thèse nous étudions les conceptions de l'EC d'enseignants de collège et leurs pratiques pédagogiques déclarées sur ce thème. Dans cette communication nous étudions plus spécifiquement les choix de ressources des enseignants de sciences en nous demandant : « Quelles ressources déclarent-ils utiliser lorsqu'ils cherchent à développer l'EC de leurs élèves ? Quels usages ont-ils de ces ressources ? ».

Méthodologie

Pour apporter des éléments de réponses à nos questions, nous avons mené une enquête par entretiens semi-directifs. Durant entre 1h et 2h, ils ont été réalisés par visioconférence en raison notamment de la pandémie de covid-19 puis ils ont été retranscrits et analysés de façon qualitative.

Nous faisons l'hypothèse que deux visions de l'EC coexistent en collège, celles des sciences naturelles et celles des sciences humaines. C'est pourquoi nous avons interrogé 6 enseignants de physique-chimie (PC), 6 de sciences de la vie et de la terre (SVT), 6 d'histoire-géographie (HG) et 6 professeurs-documentalistes, l'éducation aux médias et à l'information (ÉMI) étant souvent associé à l'esprit critique dans les textes institutionnels¹. La moitié des enseignants ont été recrutés en raison de leur intérêt pour le thème de l'EC, manifesté sur le web (ex. : diffusion d'une ressource), les autres ont été contactés via notre réseau personnel et sont moins investis sur ce thème.

Les entretiens étaient structurés de façon thématique, commençant par des questions sur leur compréhension de la notion d'EC, leur vision de l'EC en collège et dans leur discipline d'enseignement, puis sur leurs pratiques pédagogiques. Concernant les ressources nous avons posé les questions suivantes : Y-a-t-il des personnes que vous associez à l'EC ? (Lesquelles et pour quelles raisons ?) Utilisez-vous des outils/instruments particuliers afin de développer l'EC de vos élèves ? Utilisez-vous des manuels pour travailler l'EC ? (Si oui, lesquels et comment ?) Y-a-t-il des ressources que vous évitez quand il s'agit de favoriser l'EC des élèves ? Avez-vous déjà consulté du matériel pédagogique dédié au développement ou enseignement de l'EC ? (Quel matériel ? Qu'en avez-vous pensé ?)

Quelques résultats

Les non-usages des manuels de collège

Seule une enseignante de science, en PC, déclare s'appuyer sur le manuel pour construire des séances visant le développement de l'EC. 2 enseignants, ayant plus de 10 d'expérience, n'utilisent pas le manuel de façon générale car leur contenu ne correspond pas à leur manière d'enseigner. Pour ceux qui les utilisent habituellement en classe, le non-usage semble lié à un manque de contenus identifiés comme relevant de l'EC dans ces derniers.

Enfin, 3 enseignants ont mentionné les manuels de manière négative car ils véhiculent des représentations contraires à celles qu'ils souhaitent faire passer dans leur enseignement concernant l'EC. Ainsi pour Élodie (SVT) l'une des dimensions importantes de l'EC est de remettre en question nos représentations et normes sociales. Elle fustige alors les manuels de SVT qui diffusent à ses yeux des représentations stéréotypées.

En comparaison, tous les enseignants d'HG utilisent des manuels, notamment pour leur fonction documentaire (Choppin, 2015). Les professeurs-documentalistes ne sont pas concernés par les manuels puisqu'il n'existe pas vraiment de manuels pour l'ÉMI.

¹ Voir par exemple le Vademecum publié en janvier 2022 <https://eduscol.education.fr/document/33370/download?attachment>

Des ressources en ligne pour s'autoformer et/ou trouver des activités

Sur les 12 enseignants de science interrogés, 5 déclarent regarder des vidéos de vulgarisation scientifique sur le thème de l'EC publiées sur YouTube, notamment issues du mouvement de la zététique (un courant de pensée issu du rationalisme). Ces vidéastes très populaires s'adressent à un large public de non-spécialistes. C'est la découverte de ces vidéos qui a suscité chez ces enseignants un intérêt pour l'EC et non l'inverse. Elles leur servent pour se renseigner et s'auto-former sur la question de l'EC. Ainsi Nathanaël il estime que ces vidéos lui servent à « *formaliser* » ce qu'est l'EC et structurer ses connaissances sur ce thème. 2 autres enseignants, ayant plus de 50 ans, ont découvert la zététique en formation et s'y intéressent depuis mais ne regardent pas ces vidéos, préférant les ouvrages papier et les ressources créées pour le cadre scolaire.

Pour trouver des idées d'activités visant à développer l'EC, certains enquêtés utilisent des ressources créées par d'autres enseignants et partagées en ligne sur des blogs personnels ou des sites académiques. Nous avons également rencontré un enseignant de PC qui se renseigne sur les recherches liées au thème de l'EC en visionnant des conférences ou interviews de chercheurs disponibles en ligne et suit des comptes tenus par des chercheurs sur Twitter.

L'intérêt pour la zététique et l'utilisation de ressources produites par d'autres enseignants est également présent chez certains professeurs-documentalistes de notre enquête (mais pas chez les enseignants d'HG).

Concevoir et partager ses propres ressources

5 des enseignants interrogés ont pris l'initiative de concevoir des ressources sur l'EC et les partager ensuite sur le web, dont 2 dans le cadre d'un collectif. Il s'agit d'enseignants ayant un très fort intérêt pour l'EC et exprimant une insatisfaction envers la qualité ou la faible quantité des ressources existantes à destination des enseignants. Pour la plupart, l'investissement sur cette thématique est aussi un moyen d'apporter de la nouveauté dans leur activité professionnelle.

L'élaboration de ressources par certains enseignants intéressés par la zététique nous permet de constater des appropriations différentes de ces contenus. Ainsi Benjamin et Antoine s'inspirent tous deux de la chaîne YouTube Hygiène Mentale pour leur cours de PC. Antoine a conçu un outil pour pousser les élèves à expliciter leur niveau de croyance en la véracité d'une hypothèse avant de la tester expérimentalement, inspiré par des vidéos sur « *la pensée bayésienne* ». Benjamin et son collègue de SVT ont surtout été marqués par les vidéos sur les arguments fallacieux et ont créé une simulation de débat où les élèves doivent repérer ces arguments. Les professeurs-documentalistes consultant ses vidéos en retiennent encore d'autres aspects liés à l'éducation à l'information.

Par contraste, aucun des enseignants d'HG de notre enquête (même ceux très intéressés par l'EC) ne crée de ressources spécifiques pour développer l'EC car à leurs yeux l'EC est inhérent à leur discipline.

Discussion-conclusion

Le mode de recrutement des enquêtés conduit certainement à une surreprésentation d'enseignants utilisant des ressources en ligne de façon générale dans leur enseignement. Par exemple, 4 des 5 enseignants regardant des vidéos de zététique ont été recrutés sur le web. Toutefois ce choix de recrutement nous a permis de trouver des enseignants investis sur le thème de l'EC afin de connaître leurs usages et les comparer à ceux d'enseignants plus ordinaires dans la suite de notre recherche.

Les choix et usages déclarés des ressources visant à développer l'EC semblent très proches entre SVT et PC et peu marqués par la discipline. L'exception est Élodie car sa vision de l'EC comme remise en question de normes et représentations sociales est liée au traitement en SVT de thématiques touchant à l'humain (santé, sexualité, génétique...). Des similitudes avec les usages de certains professeurs-documentalistes apparaissent, notamment concernant l'intérêt pour la zététique. En revanche, les usages en sciences se distinguent nettement de ceux en HG. Les choix de ressources des enseignants pour développer l'EC de leurs élèves semblent très liés à leurs conceptions de la notion d'EC.

Ces résultats intermédiaires nous poussent à interroger les visions de l'EC des enseignants et font émerger de nouvelles questions : En quoi leurs conceptions de l'EC influencent-elles leurs usages des ressources ? Quelles conceptions les ressources véhiculent-elles ? En quoi les ressources influencent-elles les conceptions des enseignants ?

Bibliographie

- Burbules, N. C., & Berk, R. (1999). Critical Thinking and Critical Pedagogy: Relations, Differences, and Limits. In *Critical Theories in Education* (p. 61-82). Routledge.
- Choppin, A. (2005). L'édition scolaire française et ses contraintes : une perspective historique. In É. Bruillard (éd.), *Manuels scolaires : regards croisés*, 39-53. SCEREN-CRDP Basse-Normandie.
- De Checchi, K. (2021). *Liens entre croyances épistémiques et argumentation de lycéens sur des questions socio-scientifiques : quels apports pour l'éducation à l'esprit critique ?*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier.
- Éduscol (2016). *Former l'esprit critique des élèves*. <https://eduscol.education.fr/1538/former-l-esprit-critique-des-eleves>
- Ennis, R. H. (1996). Critical Thinking Dispositions: Their Nature and Assessability. *Informal Logic*, 18(2), Article 2. <https://doi.org/10.22329/il.v18i2.2378>
- Éthier, M., Lefrançois, D. & Audigier, F. (2018). *Pensée critique, enseignement de l'histoire et de la citoyenneté*. De Boeck Supérieur.
- Johnson, R. H., & Hamby, B. (2015). A Meta-Level Approach to the Problem of Defining 'Critical Thinking'. *Argumentation*, 29(4), 417-430.
- Lai, E. R. (2011). Critical thinking: A literature review. *Pearson's Research Reports*, 6, 40-41.
- Lamont, P. (2020). The construction of "critical thinking": Between how we think and what we believe. *History of Psychology*, 23(3), 232-251.
- Mahmoudi, K. (2020). Esprit critique et pouvoir d'agir: Vers le développement d'une « attitude critique » ?. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 3(3), 51-63.
- Pallarès, G. (2020). *Développer les compétences argumentatives de lycéens par des débats numériques sur des questions socio-scientifiques. Vers une didactique de l'argumentation et de l'esprit critique*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier.
- Viennot, L. et Décamp, N. (2019) *L'apprentissage de la critique - Développer l'analyse critique en physique*. EDP Sciences; UGA Éditions.
- Vincent-Lancrin, S., et al. (2019), *Fostering Students' Creativity and Critical Thinking: What it Means in School, Educational Research and Innovation*, Éditions OCDE.
- Watson, G., & Glaser, E. (1938). *The Watson-Glaser Tests of Critical Thinking*. Institute for Propaganda Analysis.

Développer une expression algébrique : quel(s) discours enseignant(s) ?

Résumé : Après avoir interrogé ce que les élèves de cycle 3 étaient capables de justifier lors de calculs multiplicatifs faisant appel à la distributivité, nous nous intéressons aux discours des enseignants du collège dans des tâches de développement d'expression numérique ou algébrique.

Mots-clé : distributivité, discours enseignant, collège

Introduction

Dans l'institution scolaire française, la propriété de distributivité de la multiplication par rapport à l'addition est un savoir mathématique institutionnalisé au cycle 4, en lien avec le domaine du calcul littéral. Pourtant, des connaissances liées à cette propriété semblent mises en fonctionnement dès le cycle 2 dans le domaine du calcul numérique, à la fois en lien avec le calcul posé, le calcul mental et le calcul en ligne.

Dans Barthès-Garnier (2020), l'auteure a précisément cherché à questionner les usages de cette propriété au primaire. Cette recherche a permis de montrer que les élèves de CM2 mettent bel et bien en fonctionnement des connaissances relevant de la distributivité pour accomplir certaines tâches de calcul posé ou mental. Pour autant, les élèves ne semblent pas spontanément en mesure de formuler de manière aboutie les techniques de calcul sous-jacentes. En accord avec hypothèses formulées par Constantin (2017) sur la base d'une étude des programmes et des manuels de primaire, les élèves de cycle 3 ne produisent pas ou peu de discours ou quand ils en produisent, ceux-ci restent centrés sur des actions (« il faut soustraire 2 de 10 ») voire sur des manipulations de signes « donnant à voir » des actions liées à ces actions (par exemple « on rajoute un zéro en changeant de ligne [dans une opération posée] »). Ils demeurent notamment privés d'arguments liés à la structure d'expressions numériques, ce qui n'est pas sans lien avec la centration constatée par d'autres auteurs (Grugeon-Allys & Pilet, 2017) sur l'aspect procédural de telles expressions (Sfard, 1991), majoritairement mobilisé par les élèves.

Une fois la propriété de distributivité explicitée et enseignée au collège, quel(s) discours sont tenu(s) par les élèves et les enseignants sur ses usages dans le domaine du calcul numérique et littéral ?

Quels discours possibles (d'élèves et d'enseignants) au cycle 4 ?

Si l'on peut penser que l'institutionnalisation de la propriété de distributivité au cycle 4 peut répondre pour partie aux difficultés constatées dans les discours produits par des élèves de cycle 3, nous faisons l'hypothèse que la question n'est pas réglée pour autant. Il nous semble d'autant plus intéressant de nous intéresser aux discours d'élèves et d'enseignants de cycle 4 que la verbalisation d'écritures symboliques est loin d'aller de soi s'agissant du calcul littéral. De même, Chevillard identifie, lui aussi, cette dualité entre l'oral et l'écrit qu'il va qualifier de « trouble culturel » au niveau de l'algèbre :

« L'avènement historique de l'algèbre met en relief le « trouble » culturel dans la relation entre l'écrit et l'oral. Lorsque, de nos jours, on « lit » sur le papier l'expression $2x(x + 3)$, nous savons qu'il s'agit, en essence, d'une expression écrite, qu'il nous faut alors oraliser en disant : « deux x facteur de x plus trois ». Cette expression orale n'est que l'oralisation d'une expression qui reste fondamentalement écrite. » (Chevallard, 2020, p. 114)

Nous utiliserons de terme de « verbalisation » (Fluckiger, 2020) qui, de notre point de vue, recouvre des « oralisations » d'écritures symboliques (comme celle d'un produit qui peut être « oralisé » de différentes façons), mais aussi les caractéristiques de ces écritures, liées au caractère procédural et structural d'une expression (Sfard, 1991), et les opérations de réécritures d'expressions numériques et littérales (portées par des égalités de type « identité ») qualifiées de « transformations de mouvement » (Drouhard & Panizza, 2012) prenant appui sur la propriété de distributivité (ou d'autres propriétés des nombres et des opérations, telles la commutativité, l'associativité...). Ce sont donc autant d'objets de discours possibles que nous avons essayé d'envisager en amont même de l'étude de verbalisations effectives d'élèves et d'enseignants en lien avec les usages de la distributivité.

Un premier objet de discours possible qui nous est apparu rapidement est la verbalisation d'expressions symboliques relevant de produits. Puis, le deuxième objet de discours identifié sera la verbalisation du caractère procédural et du caractère structural d'une expression algébrique (Sfard, 1991) ; et enfin, nous chercherons à analyser la verbalisation des transformations de mouvements lors des réécritures des expressions algébriques (Drouhard et Panizza, 2012).

Étude de discours d'enseignants dans les usages de la propriété de distributivité dans des tâches de développement d'expressions algébriques : quelles verbalisations ?

Nous avons décidé dans un premier temps de nous intéresser aux verbalisations des enseignants dans des tâches de développement d'expressions algébriques.

Dans les manuels :

Les manuels sont les premiers observables à la fois de discours possibles d'enseignants et de ce qui pourrait contribuer à les orienter. Nous avons donc recherché de possibles verbalisations indiquées dans les manuels. Mis à part dans un seul manuel sur quatre sélectionnés, les verbalisations visant à accompagner le travail de calcul algébrique semblent absentes, partielles ou peu contextualisées (davantage associées à l'énoncé général qu'aux exemples donnés)¹. Ces premiers constats laissent à penser que la question des discours enseignants tenus à l'oral qui viseraient à étayer les usages de la propriété de distributivité dans le développement d'expressions numériques ou littérales, reste relativement ouverte.

Comment les enseignants « verbalisent-ils » quand ils cherchent à accompagner le travail des élèves dans l'accomplissement d'une tâche de calcul numérique ou algébrique donnée ?

Mise en place d'une enquête sur le discours des enseignants : quelles variétés dans les verbalisations associées à des tâches de calcul algébrique ?

De façon à aborder ces questions, nous avons conduit une enquête ayant pour but d'apporter un premier éclairage sur les usages langagiers des enseignants concernant l'usage de la propriété de

¹Pourtant, dans d'autres chapitres de ces mêmes manuels, on trouve parfois des indications sur la verbalisation d'expressions littérales comme : « a^2 » se lit « a au carré » ou « 10^n » se lit « 10 exposant n ».

distributivité dans des tâches relevant de développement d'expressions algébriques. Précisons qu'il s'agit d'un travail exploratoire (qui vise à appréhender une variété de discours tenus par des enseignants donnés) et non d'une étude ayant des objectifs d'exhaustivité (qui viserait à explorer tous les discours tenus possiblement par les enseignants de mathématiques).

Nous avons travaillé avec cinq enseignants de collège d'horizons très variés mais ayant en commun une certaine expérience (au minimum 10 ans d'ancienneté) du métier d'enseignant.

Ils ont accepté de corriger un exercice de développement de neuf expressions algébriques « comme s'ils étaient devant des élèves de fin de 4^e », tâche classique en fin de cycle 4. La consigne qui aurait été donnée aux élèves était « Développe les expressions suivantes ». Ils ont accepté d'être filmés, mais ils ignoraient que leurs pratiques langagières seraient au centre de notre attention.

Nous avons cherché à observer la façon dont ils verbalisent ces expressions algébriques, et le discours (au sens commun) qu'ils vont tenir lors des transformations d'écritures de ces expressions.

Nous nous sommes limités à l'usage de la distributivité dite simple pour développer des expressions algébriques du type $k \times (a + b)$.

En nous appuyant sur notre étude préalable conduite en termes d'objets de discours, nous avons retenu des variables didactiques qui pourraient avoir une influence sur les discours des enseignants :

- La présence du signe \times : formulation sous la forme $k \times (...)$ ou $k(...)$;
- La place « du facteur k » : développement d'une expression du type $k \times (...)$ ou $(...) \times k$;
- La nature « du facteur k ». Nous avons retenu trois situations : k peut être un nombre entier, un monôme de degré 1 avec signe \times apparent, un monôme de degré 1 sans signe apparent.

Ces variables didactiques sont directement en lien avec les objets de discours identifiés en amont.

Nos premiers résultats :

Nous avons analysé en détail les premières verbalisations du produit : les cinq enseignants verbalisent les expressions algébriques de façons très différentes. Ces variations ont des causes mêlant congruence sémantique, place du facteur k , présence ou non du signe croix \times , et attachement au caractère structural de l'expression. En effet, les verbalisations sont « fluctuantes » et non pilotées (à part pour un enseignant) par l'aspect structural de l'expression, notamment s'agissant du produit formulé de manière variable (facteur de, fois, multiplié par) – même si on trouve une forme de cohérence plus grande dans le discours, par exemple chez un enseignant qui tente de revenir de manière plus systématique à l'addition réitérée.

Enfin, nous avons analysé ce que les enseignants donnent à voir pour amorcer une technique de développement et la façon dont ils font référence à la propriété de distributivité. Ces références à la propriété de distributivité dans les verbalisations des enseignants sont très diverses. Chaque enseignant semble avoir sa façon propre de mettre en mots l'usage de la propriété pour justifier des opérations de réécritures des expressions algébriques liées au développement de ces expressions. Ces verbalisations peuvent plus ou moins prendre appui sur la formule (donnée ou non), expliciter ou non d'autres propriétés des nombres ou des opérations (comme l'associativité, les priorités de calcul), évoquer ou non la structure de l'expression et sa "transformation". Sur ce dernier point, on note qu'un seul enseignant semble précisément s'y référer (celui dont les premières verbalisations se centraient sur la structure de l'expression). Mais il est tout aussi déstabilisé que ses collègues face à

une expression à trois facteurs apparents avec un pseudo-monôme dont la structure produit est rendue apparente.

Conclusion

Un premier résultat concerne la grande variété des discours des enseignants. Cela concerne autant la verbalisation du produit, que la verbalisation des opérations de réécritures d'expressions prenant appui sur la distributivité et que la verbalisation des amorces de la technique de développement. Dans cette variété, des éléments apparaissent en tension dans les discours : des verbalisations parfois descriptives de manipulation de signes versus des verbalisations qui visent à exposer la logique des actions, voire à les justifier... Des verbalisations qui parfois (re)prennent appui sur des aspects procéduraux des expressions liées aux produits initiaux parfois qualifiés de manière variée - suivant les choix de variables didactiques - ce qui peut poser la question de la cohérence des discours tenus d'une expression à l'autre, par un même enseignant. On peut d'ailleurs s'étonner que l'aspect structural d'une expression ne domine que dans le discours d'un seul enseignant. Nous nous interrogeons maintenant sur ce qui peut, dans des verbalisations associées à des tâches de calcul algébrique (produites par l'enseignant, voire à produire par les élèves ?), constituer des éléments de discours à même d'accompagner « au mieux » la pratique de calcul algébrique dans la classe de mathématiques. Autrement dit, il s'agit d'examiner en quoi et comment, la verbalisation pourrait devenir un levier dans l'enseignement et l'apprentissage du calcul algébrique ...

Bibliographie

- Barthès-Garnier, C. (2020). *Calcul multiplicatif et propriété de distributivité au cycle 3 : où en sont les élèves avant leur entrée dans le formalisme de l'algèbre ?* Mémoire de deuxième année de Master Didactique des Mathématiques, Université de Paris.
- Chevallard, Y. (2020) *L'humble séminaire 2019-2020, séance 6*. Document en ligne
- Constantin, C. (2017). La distributivité : quelles connaissances pour enseigner la multiplication à l'école primaire ? *Grand N*, 100, 105-130.
- Drouhard, J.-P. (1992). *Les écritures symboliques de l'algèbre élémentaire*. Thèse de doctorat, Université Paris Diderot (Paris 7).
- Drouhard, J.-P., & Panizza, M. (2012). Hansel et Gretel et l'implicite sémio-linguistique en algèbre élémentaire. Dans Coulange, L. & Drouhard, J.-P. (Eds.), *Enseignement de l'algèbre élémentaire. Bilan et perspectives. Numéro spécial hors-série Revue Recherches en didactique des mathématiques*, La pensée sauvage, 209-235.
- Flückiger, A. (2000). Genèse expérimentale d'une notion mathématique : la notion de division comme modèle de connaissances numériques. Thèse de doctorat, Université de Genève.
- Grugeon-Allys, B., & Pilet, J. (2017). Quelles connaissances et quels raisonnements en arithmétique favorisent l'entrée dans l'algèbre ? *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 20(3), 80-102.
- Sfard, A. (1991). On the dual nature of mathematical conceptions: Reflections on processes and objects as different sides of the same coin. *Educational Studies in Mathematics*, 22, 1-36.

Styles et traditions de présentation en thermodynamique

Utilisation pour une analyse critique de l'enseignement en CPGE

Résumé : Nous mettons en évidence plusieurs traditions de présentation de la thermodynamique. Notre travail interroge la manière dont la thermodynamique est actuellement transposée didactiquement en CPGE, à la lumière des traditions de présentation. Nous montrons que la discipline, telle qu'enseignée en CPGE, s'inscrit dans la tradition issue de Prigogine. Cependant, les raisons qui ont motivé l'émergence et le développement de la tradition de Prigogine ne se retrouvent pas dans l'enseignement actuel de CPGE. Il en résulte un décalage qui conduit à une perte d'efficacité du concept d'entropie.

Mots-clé : Thermodynamique, entropie, enseignement supérieur, style de présentation, histoire de l'enseignement.

Introduction

La thermodynamique est un domaine de la physique ayant émergé au XIX^e siècle dans le contexte socio-économique de la seconde révolution industrielle. Cette discipline, dont les applications se portaient alors naturellement sur des problématiques techniques ayant trait à l'amélioration des machines de l'époque (machine à vapeur, locomotives, pompes, etc.), s'est progressivement développée et ses applications se sont étendues et diversifiées. Aujourd'hui, il n'existe pas « une » thermodynamique mais « plusieurs », chacune correspondant à des traditions historiques de présentation différentes, intimement liées à des modifications impulsées par les auteurs pour des raisons diverses. Nous commençons d'abord par repérer et caractériser différentes traditions de présentation de la thermodynamique à l'aide d'un outil, le « style de présentation ». Nous montrons ensuite en quoi cette notion de tradition de présentation fournit un outil d'analyse critique pour répondre à la problématique énoncée ci-dessous.

En quoi la formulation du second principe de la thermodynamique en CPGE et notamment l'enseignement du concept d'entropie est-elle susceptible de conduire à une perte d'efficacité de ce concept ?

Notion de style de présentation

Nous avons constitué un corpus d'environ 120 sources. La porosité des frontières nécessite par précaution d'envisager la sélection la plus large possible tant sur le type de sources (articles, ouvrages), la date de publication (de 1850 à aujourd'hui, 1850 étant une date à laquelle la thermodynamique se formalise), le lieu de publication (principalement France, Allemagne, Angleterre, USA), ainsi que sur les disciplines (physique, chimie, mathématiques). Pour classer ces sources, nous avons choisi de nous limiter à la manière dont elles traitent du concept d'entropie. Il s'agit d'un concept absolument central dans tout exposé de thermodynamique, auquel aucun ouvrage ne déroge. Ce choix nous a conduit à choisir trois critères de classification (notés A, B et C), chacun associé à deux modalités (notées 1 et 2).

A. Formulation de la loi associée à l'entropie :

1. Formulation centrée sur la notion de transformation (la loi sur l'entropie dit quelque chose de la variation d'entropie d'un système subissant une transformation entre deux états.)

2. Formulation centrée sur la notion d'état d'équilibre (la loi sur l'entropie établit un lien entre l'équilibre d'un système et son entropie)

B. Approche introductive associée à l'entropie :

1. Approche non-entropique (l'existence et les propriétés de l'entropie sont déduites d'énoncés qui ne portent pas sur l'entropie)
2. Approche entropique (l'existence et les propriétés de l'entropie sont postulées)

C. Mode d'exposition de la théorie

1. Mode d'exposition non-axiomatique (opposé au mode d'exposition axiomatique)
2. Mode d'exposition axiomatique (l'exposé est inspiré des présentations rencontrées en mathématiques, où la rigueur, la structure logique déductive et le statut des énoncés (axiome, théorème, définition) sont mis en avant).

Ces catégories permettent d'associer à chaque source du corpus un triplet (A1 B2 C1 par exemple) que nous qualifions de « style de présentation ». Il y a en tout $2^3=8$ styles de présentation possibles, mais seulement six d'entre eux ont été rencontrés dans l'ensemble des sources analysées.

Notion de tradition de présentation

La notion de style de présentation revêt un caractère statique, systématique. Les sources ne sont pas considérées dans leur historicité : il n'est pas question de tenir compte du contexte de publication pour attribuer un certain style de présentation à une source. À l'inverse, une tradition de présentation désigne une lignée d'auteurs partageant des choix de présentation similaires. La notion de tradition est rattachée à celle d'héritage, de transmission, ce qui se traduit notamment par l'existence de réseaux de citations entre auteurs. Nous avons focalisé notre attention sur l'émergence historique des traditions de présentation, en repérant notamment les auteurs pionniers qui, généralement insatisfaits des exposés existants de la thermodynamique à leur époque ont choisi de s'en démarquer en présentant la théorie d'une autre manière. L'apparition d'une nouvelle tradition de présentation traduit cette volonté de démarcation. Quel lien existe-t-il entre un style et une tradition de présentation ? L'émergence d'une nouvelle tradition de présentation s'accompagne généralement d'un changement de style de présentation, que nous qualifierons de « mutation ». Toute mutation dans le style de présentation n'est pas anodine : elle est un marqueur de cette volonté de démarcation par rapport à une tradition existante. Et c'est ce qui légitime la pertinence des trois critères de classification A, B et C choisis pour définir un style de présentation. Un style de présentation ne suffit généralement pas à caractériser une seule tradition de présentation. Mais inversement, une tradition de présentation adopte généralement un style particulier, comme nous le mentionnons dans le Tableau 1. Par exemple, les deux traditions issues de Clausius d'une part et issue de Born d'autre part, bien qu'elles présentent le même style, se distinguent de par la démarche de leurs auteurs. Les styles de présentations peuvent donc être utilisés comme des guides pour repérer et caractériser des traditions de présentation. Ce travail nous a conduit à la caractérisation de sept traditions de présentation (Tableau 1) qui répondent aux questions suivantes. À quand dater leur émergence historique ? À quels auteurs sont-ils associés ? Quelle démarche a motivé les auteurs à se démarquer ou à s'inscrire dans des traditions existantes ? Ces traditions sont-elles associées à un style de présentation particulier ?

Style	Tradition issue de...	Caractéristiques	Auteurs postérieurs
A1 B1 C1	Clausius (1879)	Démarche fidèle aux travaux pionniers de Clausius et Thomson. L'existence et les propriétés de l'entropie sont démontrées à partir des énoncés de Clausius et de Kelvin-Planck par des raisonnements sur des machines cycliques.	Poincaré (1892) Planck (1903) Bruhat (1968) Zemansky (1968)
A1 B1 C2	Carathéodory (1909)	Volonté de fonder la thermodynamique sur des bases mathématiques plus rigoureuses.	Landsberg (1956) Giles (1964) Lieb (1999)
A1 B1 C1	Born (1921)	Volonté de rendre accessible le travail de Carathéodory à la communauté des physiciens.	Chandrasekhar (1939) Wilson (1957)
A1 B2 C1	Prigogine (1950)	Volonté d'étendre le formalisme de la thermodynamique aux réactions chimiques.	Pérez (1997)
A2 B2 C1	Callen (1960)	Volonté de centrer l'objectif de la thermodynamique sur la détermination de l'état d'équilibre d'un système en évolution.	Diu & al. (2007)
A2 B1 C1	Duhem (1911)	Volonté de réduire toute la physique à la thermodynamique en fondant la physique entière sur la notion de potentiel thermodynamique.	Pas d'auteurs postérieurs
A2 B2 C2	Tisza (1961)	Volonté d'établir une axiomatisation de la théorie thermodynamique centrée sur l'équilibre d'un système, de manière analogue à la démarche de Carathéodory.	Pas d'auteurs postérieurs

Tableau 1 : Les sept traditions de présentation caractérisées. En **surligné**, la mutation de style constatée.

Analyse critique de la thermodynamique en CPGE

La notion de tradition de présentation fournit un outil d'analyse critique que nous appliquons à présent à l'enseignement actuel de la thermodynamique en CPGE. Nous nous limitons ici à la classe de PCSI, où le programme de physique-chimie est le plus fourni. La PCSI est la classe où le second principe de la thermodynamique et le concept d'entropie sont abordés pour la première fois. Nous nous restreignons à une lecture des programmes, complétée par une étude de trois manuels scolaires aux éditions Bréal (2017), Dunod (2016) et Pearson (2013). Notre étude montre qu'il existe un décalage entre la tradition issue de Prigogine et les applications étudiées en CPGE. Les lois de la thermodynamique enseignées en CPGE sont identiques à celles introduites par Prigogine. Elles mobilisent les concepts d'entropie créée/échangée, qui sont propres à la tradition issue de Prigogine. Il n'y a pas de doute là-dessus : aucune autre tradition ne mobilise ces concepts. La tradition issue de Prigogine a cependant été détournée de ses raisons d'être, des raisons qui lui ont donné naissance et des applications pour lesquelles elle a été conçue à l'origine (voir Tableau 1). Prigogine (1950) avait en effet la volonté d'étendre le formalisme thermodynamique à la description des réactions chimiques, d'où une restriction à des systèmes uniquement siège de réactions chimiques, en équilibre mécanique et thermique (P et T constantes). En PCSI, on ne s'intéresse qu'à des systèmes physiques (gaz, liquides, transitions de phases, etc.) où il ne se déroule aucune réaction chimique, et où uniquement la température et la pression peuvent varier. Strictement l'inverse de Prigogine donc. Ce détournement de la tradition issue de Prigogine conduit à une perte d'efficacité, de

performativité, et finalement d'utilité, du concept d'entropie. Pour le montrer, nous avons listé et analysé les différentes tâches dans les ouvrages (au sens de la Théorie Anthropologique du Didactique) mobilisant le premier et le second principe. Cette analyse nous a conduit à la conclusion que les tâches associées au second principe ne contiennent presque aucune tâche de nature prédictive, à l'inverse de celles associées au premier principe. On en reste principalement à de la vérification de cohérence du formalisme. L'entropie n'est généralement utilisée que pour établir des bilans et l'entropie créée S_c n'est calculée qu'avec la perspective de comparer le résultat à « ce à quoi on aurait pu s'attendre sans calcul », ce qui permet de bien « vérifier » a posteriori que l'irréversibilité s'accompagne bien d'une création d'entropie. La notion d'entropie est donc associée à des tâches de nature tautologique et nous faisons l'hypothèse que cette perte d'efficacité peut conduire à des difficultés d'apprentissage, hypothèse que nous entreprenons de tester dans un avenir proche sur un public constitué d'enseignants et d'étudiants en CPGE.

Bibliographie

- Born, M. (1921). Kritische Bemerkungen zur traditionellen Darstellung der Thermodynamik. *Physikalische Zeitschrift*, XXII:218–224,249–254,282–286.
- Bruhat, G. (1968). *Thermodynamique*. Masson & Cie, sixième édition. 6e édition.
- Bréal (2017). *Super manuel de physique*. Bréal.
- Callen, H. (1960). *Thermodynamics*. John Wiley & Sons.
- Carathéodory, C. (1909). Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik. *Mathematische Annalen*, 355–386.
- Chandrasekhar, S. (1939). *An introduction to the study of stellar structure*. The University of Chicago Press.
- Clausius, R. (1879). *The Mechanical Theory of Heat*. MacMillan and co.
- Diu, B., Guthmann, C., Lederer, D. et Roulet, B. (2007). *Thermodynamique*. Hermann.
- Dunod (2016). *Physique tout-en-un*. Dunod.
- Giles, R. (1964). *Mathematical foundations of thermodynamics*. Pergamon press.
- Landsberg (1956). Foundations of Thermodynamics. *Reviews of Modern Physics*, 28(4):363–392.
- Lieb, E. H. (1999). The physics and mathematics of the second law of thermodynamics. *Physics Reports*, 310(1):1–96. Second auteur : Yngvason, Jakob.
- Planck, M. (1903). *Treatise on thermodynamics*. Longmans, Green and co. 2e édition.
- Poincaré, H. (1892). *Thermodynamique*. Gauthier-Villars.
- Prigogine, I. (1950). *Traité de thermodynamique. Tome I : Thermodynamique chimique*. Gauthier-Villars. 2e édition (1ère édition : 1944). Second auteur : Defay, R.
- Pérez, J.-P. (1997). *Thermodynamique*. Dunod. 2e édition (1ère édition : 1993).
- Wilson, A. H. (1957). *Thermodynamics and statistical mechanics*. Cambridge University Press.
- Zemansky, M. (1968). *Heat and thermodynamics*. The McGraw-Hill Companies. 5e édition (1ère édition : 1937)

Etude de pratiques ordinaires d'évaluations en géométrie à la transition école-collège

Outils conceptuels et méthodologiques

Résumé : Le poster présenté illustre une partie de notre travail de thèse en cours. Il vise à montrer comment nous intégrons une conception élargie des évaluations au sein de la double approche didactique et ergonomique afin d'étudier les pratiques ordinaires d'évaluations en géométrie des enseignants français au cycle 3 (élèves de 9 à 11 ans). Nous mettons l'accent sur la méthodologie de recueil de données et la construction des outils d'analyse actuellement en cours.

Mots-clé : pratiques ordinaires, évaluations, géométrie, transition école-collège, double approche didactique et ergonomique

Introduction

Ce travail de recherche a été initié en questionnant les éventuels écarts existants entre ce qui est enseigné et qui est évalué par les enseignants de mathématiques. Au travers de la revue de littérature conduite sur les évaluations dans le champ de la didactique francophone, il est apparu que les recherches sur les évaluations internes – menées par l'enseignant au sein de sa classe – ont largement été menées dans les domaines numériques, algébriques ou de la résolution de problèmes (Coppé, 2019). Nous avons pu remarquer que les transitions n'ont été que peu questionnées : les recherches étant menées pour la plupart en primaire ou dans le secondaire.

Nous avons fait le choix de spécifier notre étude aux pratiques ordinaires d'évaluations sur la géométrie plane à la transition école-collège. Nous motivons cela par le nombre très faible des travaux existants sur les évaluations internes en géométrie et par les forts enjeux d'enseignement-apprentissage au cycle 3 dans ce domaine, lors de la transition école-collège : c'est à ce niveau que se situe la préparation à l'entrée dans le paradigme GII de la géométrie (Houdement & Kuzniak, 2006).

Les objectifs de notre travail sont doubles et nous nous attacherons seulement à développer le premier ici et à ouvrir au second dans notre conclusion :

- modéliser, décrire et caractériser les pratiques ordinaires d'évaluations des enseignants de mathématiques au travers des apprentissages possibles des élèves en prenant en compte les contraintes d'exercice du métier dans une perspective compréhensive ;
- utiliser les évaluations comme levier au cours d'une formation afin d'étudier le développement professionnel des enseignants au travers de leurs pratiques.

Eléments de cadrage théorique

Le cadre théorique principal dans lequel nous nous situons est celui de la double approche didactique et ergonomique qui donne une place importante au métier (Robert & Rogalski, 2002). Dans ce cadre, la pratique désigne tout ce que pense, dit, fait ou non l'enseignant avant, pendant et après la classe. Nous admettons les hypothèses du cadre que sont la stabilité, la cohérence et la complexité des pratiques. Pour étudier cette dernière, nous utilisons cinq composantes – cognitive, médiative, institutionnelle, sociale et personnelle – ainsi que les niveaux d'organisation des

pratiques – global, local, micro – qui permettent de reconstituer les pratiques à partir d’analyses de tâches a priori et des déroulements effectifs en classe a posteriori. Les choix de l’enseignant sont interprétés au regard des contraintes du métier (ibid.).

Toutes ces analyses sont dépendantes du contenu mathématique. Nous dressons le relief sur la géométrie plane au cycle 3 à partir d’éléments épistémologiques, cognitifs et curriculaires à même d’influencer l’activité des élèves lors de la résolution de tâches et par hypothèse leurs apprentissages. Nous retenons en particulier pour la géométrie plane du cycle 3 des éléments liés à la visualisation (Duval, 2005), aux espaces de travail sur les objets géométriques (Mathé et al., 2020), aux types de connaissances (Guille-Biel Winder & Petitfour, 2018) ou encore aux variables didactiques du domaine que sont les registres de représentation, les instruments et la présence ou non de mesures.

Les évaluations constituent l’une des activités de l’enseignant. Ainsi les pratiques d’évaluations sont incluses dans l’ensemble plus large des pratiques. Il est nécessaire de faire appel à d’autres éléments théoriques, spécifiques de l’évaluation, pour préciser le propos.

Une conception élargie des évaluations

Comme d’autres travaux en didactique des mathématiques centrés sur les pratiques d’évaluations (Horoks et al., 2017), nous partons de la définition de De Ketele (1997) :

« Évaluer signifie :

- recueillir un ensemble d’informations suffisamment pertinentes, valides et fiables
- et examiner le degré d’adéquation entre cet ensemble d’informations et un ensemble de critères adéquats aux objectifs fixés au départ ou ajustés en cours de route,
- en vue de prendre une décision. » (p.2)

Il y a ici une rupture avec la conception quotidienne des évaluations en tant qu’épreuves formelles de fin de séquence puisque les trois phases interdépendantes – recueil, interprétation, exploitation – peuvent se dérouler, formellement ou non, tout au long de l’étude d’un contenu.

Cette définition présente également l’avantage de ne pas entrer directement par les fonctions des évaluations qui « enferment l’évaluation dans des catégories distinctes qui ne le sont pas forcément dans la réalité des pratiques de classe » (Sayac, 2017) : par exemple, un même recueil peut-être exploité de plusieurs façons par l’enseignant et par conséquent remplir plusieurs fonctions. Nous partageons d’autres éléments avec le cadre didactique pour l’évaluation en mathématiques de Sayac (2017) comme l’importance des moments pour chaque phase, l’importance de leur gestion lors du déroulement ou le recouvrement du domaine et la complexité des tâches. En revanche, compte-tenu des difficultés liées à l’observabilité de l’interprétation des informations par l’enseignant lors d’évaluations informelles, nous ne reprenons pas ici les développements sur la logique évaluative : notamment car il peut y avoir des évaluations sur des tâches dont la visée n’était pas évaluative, dès lors qu’il y a recueil et exploitation d’informations. Notre centration sur les différentes phases, et en particulier les exploitations, justifie également la prise de distance avec cette partie du cadre.

Les hypothèses que nous faisons sur les différentes phases du processus d’évaluation s’inscrivent dans une perspective d’évaluations au service des apprentissages bien que d’autres perspectives puissent exister dans les pratiques des enseignants. Nous mettons ainsi l’accent sur les exploitations d’informations, et tout particulièrement les régulations qu’elles peuvent produire sur la situation d’enseignement et, éventuellement in fine sur les apprentissages des élèves (Allal & Mottier-Lopez, 2007). L’interdépendance des différentes phases nous impose de considérer également le recueil

d'informations et dans une moindre mesure l'interprétation de ces informations pour des raisons méthodologiques d'observabilité dans le quotidien de la classe.

Plus généralement, les hypothèses que nous testons sur les pratiques d'évaluations telles que nous les avons précisées sont les suivantes :

- Le recueil d'informations mené par les enseignants ne recouvre que partiellement le domaine de référence et sa complexité, ce qui les conduit à ignorer d'éventuels besoins des élèves sur les connaissances anciennes et/ou nouvelles du domaine géométrique.
- L'exploitation des résultats menée par les enseignants n'est que peu dépendante du contenu et des modalités du travail du domaine géométrique. Elle est très routinisée, ce qui peut avoir pour effet de produire des régulations de l'enseignement à faible impact sur la régulation des apprentissages en raison du décalage avec les besoins effectifs des élèves.

Des outils d'analyse pour l'étude des pratiques d'évaluations

Afin de reconstituer les pratiques d'évaluations en géométrie à l'aide des modèles définis précédemment, nous nous appuyons sur ce que nous appelons des éléments de pratique. Chaque élément de pratique est situé dans un niveau d'organisation de pratique, une phase du processus d'évaluation, un moment de la séance en fonction de l'activité des élèves.

Pour chaque élément de pratique, nous définissons une échelle à quatre niveaux – pratique absente, peu riche, intermédiaire, experte – que nous hiérarchisons en fonction :

- des hypothèses de pertinence et validité pour la phase de l'évaluation concernée par l'élément, compte tenu de notre conception élargie de l'évaluation ;
- de la richesse des apprentissages géométriques possibles des élèves qu'ils autorisent (au regard de l'analyse du relief du domaine conduite en amont).

Il ne nous est pas possible, ici, de préciser les outils spécifiques de chaque élément qui permettent de construire nos données : nous nous contentons de présenter quelques exemples d'éléments de pratique ci-dessous dont l'élaboration reste un travail en cours.

Un premier élément de pratique sur le niveau global de la séquence est celui du choix des tâches que nous lions au recueil d'informations possible pour l'enseignant en termes de recouvrement du domaine et de complexité dans la mise en fonctionnement des connaissances. Un autre élément de pratique mais sur le niveau local est celui du choix des tâches pour l'évaluation formelle de fin de séquence ici encore lié au recueil d'informations possible.

Autre exemple d'élément de pratique : celui du choix des modalités de travail des élèves, au niveau local d'une séance lors de la recherche des élèves. Ces modalités influencent le recueil possible de l'enseignant au travers de ce qu'elles rendent visibles de l'activité des élèves. De manière analogue, on s'intéresse aux modalités de travail de l'enseignant pendant la recherche.

Enfin, un exemple d'élément de pratique concernant cette fois l'exploitation au niveau local est le choix des productions des élèves sur lesquelles l'enseignant s'appuie lors de la mise en commun afin de réguler l'enseignement. Le discours tenu sur celles-ci est un autre élément de pratique.

Ces outils seront mis en application sur un corpus en cours d'élaboration. Pour ce faire, nous avons réuni six enseignants volontaires – trois en primaire et trois en secondaire – d'expérience et contexte variés. Pour chaque séquence, les enseignants nous fournissent : les énoncés de toutes les tâches confiées aux élèves, les vidéos de trois séances prises du fond de la classe (introduction, exploration, entraînement), l'enregistrement audio de l'enseignant en micro-cravate de ces trois séances, les copies corrigées avec critères et indicateurs pour l'évaluation formelle finale. Enfin, un entretien semi-directif sera réalisé en fin de chaque séquence afin de permettre l'interprétation des choix des enseignants pour évaluer au regard des contraintes du métier de chaque enseignant.

Conclusion

Le poster proposé met en avant les aspects théoriques complémentaires d'une approche centrée sur les évaluations dans la double approche didactique et ergonomique. Le cadre est opérationnalisé au travers du niveau des éléments de pratiques, déterminé en fonction de leur pertinence compte tenu du modèle des évaluations développé et des apprentissages possibles des élèves.

Il apparaît que la méthodologie d'analyse adoptée au travers des niveaux de pratiques permet d'une part, une comparaison des pratiques inter-enseignant mais également une comparaison intra-enseignant sur le domaine géométrique. C'est pour réaliser cette comparaison intra-enseignant que nous procédons à l'observation de trois séquences : la première ordinaire, les deux autres après des temps de formation.

Nous chercherons à identifier des éléments sur le développement professionnel des enseignants au travers des évolutions – ou leur absence – dans les pratiques mise au regard des contraintes du métier afin d'en tirer des conclusions pour la formation professionnelle. Notons que la perspective adoptée sur le développement professionnel est d'abord celle d'une recherche compréhensive et non d'une recherche action.

Bibliographie

- Allal, L., & Mottier-Lopez, L. (2007). *Régulation des apprentissages en situation scolaire et en formation*. De Boeck Supérieur.
- Coppé, S. (2019). Évaluation et didactique des mathématiques : Vers de nouvelles questions, de nouveaux travaux. *Mesure et évaluation en éducation*, 41(1), 7-39.
- De Ketele. (1997). L'évaluation et l'observation scolaires : Deux démarches complémentaires. *Educations - Revue de diffusion des savoirs en éducation*, 12, 33-37.
- Duval, R. (2005). Les conditions cognitives de l'apprentissage de la géométrie : Développement de la visualisation, différenciation des raisonnements et coordination de leurs fonctionnements. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 10, 5-54.
- Guille-Biel Winder, C., & Petitfour, E. (2018). Enseignement-Apprentissage des notions de perpendicularité et de parallélisme en CM1 : Que proposent les manuels ? *Actes du 45ème colloque COPIRELEM*, 147-197.
- Horoks, J., Kiwan, M., Pilet, J., Roditi, E., & Haspekian, M. (2017). Régulation des apprentissages et évaluation formative : Quels regards didactiques ? *Actes de la 19ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques*. Paris.
- Houdement, C., & Kuzniak, A. (2006). Paradigmes géométriques et enseignement de la géométrie. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 11, 175-193.
- Mathé, A.-C., Barrier, T., & Perrin-Glorian, M.-J. (2020). *Enseigner la géométrie élémentaire. Enjeux, ruptures et continuités*. Academia.
- Robert, A., & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : Une double approche. *Canadian Journal of Math, Science & Technology Education*, 2(4), 505-528.
- Sayac, N. (2017). *Approche didactique de l'évaluation et de ses pratiques en mathématiques : Enjeux d'apprentissages et de formation* [HDR, Université Paris-Diderot].

L'activité de contrôle en mathématiques : le cas de suites récurrentes

Exemples d'expérimentations en fin de lycée

Résumé : Ce travail rend compte de deux expérimentations visant à étudier l'activité de contrôle en mathématiques chez les élèves, dans le domaine de l'analyse. Nous nous centrons sur la résolution de tâches qui ont pour but d'étudier la convergence des suites récurrentes $u_{n+1} = f(u_n)$ en fin de lycée. Nous comparons les résultats obtenus lors de la résolution d'une tâche avec l'utilisation de la calculatrice dans deux contextes différents : la première s'intéresse à la résolution sans l'intervention de l'enseignant et la seconde avec son intervention. Nos analyses montrent que les aides de l'enseignant ont une incidence sur les activités mathématiques de contrôle dans les productions des élèves, provoquant une nette différence par rapport au contrôle qui développent les élèves en autonomie.

Mots-clé : Contrôle sémiotique, contrôle instrumental, contrôle discursif, suites récurrentes, paradigmes de l'analyse.

Introduction et contexte de la recherche

L'activité de contrôle est importante en mathématiques car elle permet une cohérence dans la résolution d'une tâche. Cette activité a été étudiée dans différents domaines des mathématiques (Saboya et al., 2015 ; Bikner-Ahsbahs et al., 2015) y compris en analyse (Gaudin, 2005 ; Arzarello et Sabena, 2011 ; Chorlay, 2019). Nous nous intéressons plus particulièrement à ce dernier domaine, qui trouve son importance dans des notions étudiées au cours de la transition lycée-université (L-U).

L'activité de contrôle est particulièrement faible au début de l'université, ce qui nous conduit à l'identifier comme une des problématiques clés de la transition L-U (Flores González, 2021). Dans ce contexte, un des aspects importants est l'utilisation des outils numériques dans la résolution de tâches dans la classe de mathématiques comme facilitateurs du développement de cette activité de contrôle. La calculatrice est un artefact emblématique au lycée -en France- qui peut être utilisé en complément d'autres logiciels utiles pour la visualisation dans le domaine de l'analyse, constituant ainsi une aide à la stimulation du contrôle. Mais l'utilisation de ces outils dans la classe peut changer selon le discours de l'enseignant pendant le déroulement des séances. Nous nous demandons ainsi : Quel est l'impact des interventions de l'enseignant lors de l'utilisation des outils numériques sur le développement de l'activité de contrôle mathématique dans l'étude de suites récurrentes à la fin du lycée ?

Cadre théorique

Nous étudions l'activité de contrôle et le rôle de l'enseignant dans les productions des élèves grâce à un *Networking* de théories (Prediger et Bikner-Ahsbahs, 2014) entre la théorie de l'activité en didactique des mathématiques (TADM) (Vandebrouck, 2018) et les espaces de travail mathématique (ETM) (Kuzniak et al. 2016). Dans le cadre de la TADM, l'activité de contrôle est développée lors de la réalisation de tâches complexes¹, lorsque les élèves sont capables de reconnaître que leur raisonnement est cohérent avec plusieurs points de contrôle. Cela est aussi en relation avec le

¹ Les tâches complexes sont celles qui nécessitent plusieurs adaptations de connaissances, l'utilisation variée de TICE, ou une diversité des méthodes éventuellement à choisir (Robert et Vandebrouck, 2014).

déroulement de l'action en accord avec les connaissances à mettre en fonctionnement, ainsi qu'à une production qui correspond bien au but visé (Rogalski, 2015). En ce qui concerne les ETM, nous utilisons les trois dimensions *sémiotique*, *instrumentale* et *discursive*, essentielles dans le développement du travail mathématique. Plus spécifiquement dans le domaine de l'analyse, nous utilisons deux *paradigmes* présents à la fin du lycée (Montoya Delgadillo et Vivier, 2016) : l'analyse géométrico-arithmétique [A1] et l'analyse calculatoire [A2]. En effet, une dialectique entre [A1] et [A2] permet de contrôler le travail effectué pour éviter des erreurs.

L'articulation de ces deux théories nous permet de proposer trois types de contrôle à promouvoir (Flores González, Vandebrouck et Vivier, 2022) :

Contrôle sémiotique : Cohérence établie dans l'utilisation de différentes représentations sémiotiques de l'objet. Ici, la représentation graphique d'une suite croissante doit être cohérente avec la représentation d'un tableau de valeurs numériques de cette suite.

Contrôle discursif : Utilisation des définitions mathématiques, méthodes de preuve ou théorèmes qui permettent d'établir une cohérence dans l'étude de l'objet mathématique en question. Dans le cas des suites récurrentes, la possibilité dans l'utilisation du théorème de la limite monotone peut permettre de contrôler la convergence de la suite.

Contrôle instrumental : Utilisation d'outils ou de logiciels pour vérifier le travail produit. Dans le cas de suites, l'utilisation d'un algorithme ou de termes de la suite peut se faire, par exemple, grâce à l'utilisation de la calculatrice. Le contrôle instrumental peut impliquer la mise en fonctionnement des contrôles sémiotiques et discursifs.

Les expérimentations

Nous avons conçu une tâche avec l'objectif d'offrir des occasions de contrôle sémiotique et instrumental aux élèves par l'utilisation de la calculatrice. Ces occasions au sein du paradigme arithmético-géométrique [A1] (notamment le calcul de termes de la suite et éventuellement la représentation graphique de ces termes pour visualiser les propriétés de la suite) devaient soutenir le travail discursif dans le paradigme d'analyse calculatoire [A2] (preuve des propriétés de la suite conjecturées dans le paradigme [A1]), pour favoriser ainsi une dialectique entre les paradigmes [A1] et [A2] dans l'étude de suites $u_{n+1} = f(u_n)$. Ces tâches ont été expérimentées au sein de deux classes de niveau Terminale Scientifique de deux lycées, avec l'utilisation individuelle de calculatrices², dans deux contextes distincts : Dans la première classe, 30 élèves travaillaient en autonomie sans l'aide de l'enseignant³. Dans la deuxième classe, 32 élèves travaillaient de façon individuelle ou en binôme, et l'enseignant accompagnait la résolution de la tâche par les élèves avec des aides ponctuelles. De plus, dans cette deuxième classe, l'enseignant mettait en place un bilan pour la résolution de chaque question posée, après d'avoir donné quelques minutes pour le travail des élèves.

Résultats et discussion

Concernant les élèves qui travaillaient en autonomie, 9 élèves sur 30 font une confusion entre $f(u_n)$ et $f(n)$, produisant un travail incorrect dans le paradigme [A1]. 15 élèves sur 30 entrent dans le

² Casio graph et TI 83.

³ Ces aides font référence au discours de l'enseignant qui peut impliquer des médiations en forme d'aide aux élèves. Ce type de discours rend plus explicite la mise en fonctionnement des connaissances nécessaires pour résoudre la tâche et constitue une aide au développement de certaines sous-activités mathématiques.

paradigme [A1] avec un travail correct et font partiellement des bonnes conjectures des propriétés de la suite. Parmi ces 15 élèves, 5 ne répondent pas à la question qui marque le changement de paradigme vers [A2] (prouver que la suite est bornée), 6 élèves restent encore dans le paradigme [A1] (ou dans un travail intermédiaire), et seulement 4 élèves produisent un travail dans [A2]. D'ailleurs, parmi ces 4 derniers élèves, un seul fait preuve du développement de l'activité de contrôle (instrumental) en utilisant la calculatrice pendant toute la résolution de la tâche. Cet élève essaye de calculer les termes de la suite, mais il est confronté à un affichage systématique d'erreur sur sa calculatrice (sans doute dû aux valeurs numériques que peut prendre n , car ils sont affichés comme décimaux). Face à cela, il constate une incohérence, raison pour laquelle il reprend ses calculs sur la calculatrice, l'amenant à développer un contrôle instrumental : dans sa production finale nous trouvons les valeurs attendues de la suite. Enfin, cet élève produit un discours attendu dans la preuve des conjectures des propriétés de la suite dans le paradigme [A2]. Son travail final montre une bonne dialectique entre [A1] et [A2] pour étudier la suite $u_{n+1} = f(u_n)$.

De cette façon, on constate que la plupart des élèves ne comprennent pas qu'il s'agit d'un travail dialectique entre paradigmes. C'est-à-dire que, bien que la moitié d'élèves entrent dans le paradigme [A1] avec un travail correct, seulement un tiers d'entre eux fait le changement vers le paradigme [A2]. Dans cette classe, les occasions de contrôle sémiotique et instrumental (dans le paradigme [A1]) n'ont pas toujours servi au développement de contrôles discursifs (dans le paradigme [A2]). Cela montre que l'activité de contrôle à partir de la dialectique entre [A1] et [A2] concomitante à l'utilisation de la calculatrice est un travail difficile pour les élèves lorsqu'ils sont en autonomie.

Dans la classe qui bénéficie de l'aide de l'enseignant, une grande partie des élèves rentrent correctement dans le paradigme [A1] (24/32 élèves). Cela peut s'expliquer par une aide donnée par l'enseignant sur la définition de la suite récurrente qui permettait de la reconnaître comme telle : « La suite $u_{n+1} = f(u_n)$ ça veut dire que u_{n+1} est égale à 1 sur 2 moins u_n , avec un terme initial quelque chose... ». Cette aide réduit la confusion entre $f(u_n)$ et $f(n)$ à un seul élève. Cette dernière l'a vraisemblablement aidé à rentrer la bonne suite dans les calculatrices. De plus, c'est l'enseignant qui apporte des aides sur les contrôles sémiotique et instrumental dans le paradigme [A1]. Par exemple, dans le travail au sein du paradigme [A1], suite à une question d'un binôme d'élèves, l'enseignant programme leur calculatrice, puis s'adresse à toute la classe en disant : « Si vous faites une recherche graphique, pensez à régler la fenêtre ». Cette aide à propos d'un contrôle instrumental avec la calculatrice a sans doute servi à des élèves de visualiser les propriétés de la suite et avancer vers un travail mathématique correct. Par ailleurs, une majorité d'élèves semble maîtriser la dialectique [A1] et [A2] dans les productions analysées, car sur les 24 élèves qui font les bonnes reconnaissances des propriétés de la suite dans [A1], 23 élèves répondent dans le paradigme [A2] attendu dans la question qui marquait le changement de paradigme (1 élève ne répond pas). Dans cette classe ce sont les interventions de l'enseignant qui déclenchent les changements de paradigme.

À travers l'analyse des données obtenues, nous montrons que même lorsque les occasions de contrôle mathématique sont proposées aux élèves à partir d'une dialectique entre paradigmes, le contrôle n'est pas toujours mobilisé et reste une activité difficile à atteindre. Il semblerait que l'élève dépend des interventions de l'enseignant pour produire un travail contrôlé et pour réussir la tâche.

En conclusion, on peut légitimement se demander ce qu'il convient de faire pour que les élèves développent une autonomie dans cette activité de contrôle afin qu'ils puissent s'en servir par la suite.

Bibliographie

- Arzarello, F., & Sabena, C. (2011). Semiotic and theoretic control in argumentation and proof activities. *Educational Studies in Mathematics*, 77(2), 189–206. doi:10.1007/s10649-010-9280-3
- Bikner-Ahsbabs, A., Sabena, C., Arzarello, F., & Krause, C. (2014). Semiotic and theoretic control within and across conceptual frames. *Proceedings of the Joint Meeting of PME 38 and PME-NA 36*, 2, 153–160.
- Chorlay, R. (2019). A Pathway to a Student-Worded Definition of Limits at the Secondary-Tertiary Transition. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 5, 267–314.
- Flores González, M. (2021). *Activité et travail mathématique à la transition lycée-université en Analyse : le cas de suites $u_{n+1} = f(u_n)$* . Thèse de doctorat. Université de Paris.
- Flores González, M., Vandebrouck, F. & Vivier, L. (2022). A classic recursive sequence calculus task at the secondary-tertiary level in France. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. doi:10.1080/0020739X.2021.2014583
- Gaudin, N. (2005). *Place de la validation dans la conceptualisation, le cas du concept de fonction* Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier - Grenoble 1.
- Kuzniak, A., Tanguay, D., & Elia, I. (2016). Mathematical Working Spaces in Schooling: An Introduction. *ZDM Mathematics Education*, 48(6), 721–737.
- Montoya Delgadillo, E., & Vivier, L. (2016). Mathematical working space and paradigms as an analysis tool for the teaching and learning of analysis. *ZDM Mathematics Education*, 48(6), 739–754.
- Prediger, S., & Bikner-Ahsbabs, A. (2014). Introduction to Networking: Networking Strategies and Their Background. In *Networking of Theories as a Research Practice in Mathematics Education* (pp. 117–125). Springer International Publishing.
- Rogalski, J. (2015). *Didactique et cognition. De Vygotsky à Dehaene... ? Cahiers du LDAR*, n°13. IREM de Paris.
- Robert, A., & 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), 239–283.
- Saboya, M., Bednarz, N., & Fernando, H. (2015). Le contrôle exercé en algèbre : Conceptualisation et analyses en résolution de problèmes. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 20, 61–100.
- Vandebrouck, F. (2018). Activity Theory in French Didactic Research. In *Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education* (Kaisier G., Forgasz H., Graven M., Kuzniak A., Simmt E., Xu B., pp. 679–698). Springer.

Situations impliquant un liquide au repos

Compréhension par les enseignants

Résumé :

Au vu des difficultés répandues chez les élèves et étudiants au sujet des phénomènes liés à la pression, il n'est pas inutile de chercher à améliorer la compréhension que les enseignants ont eux-mêmes des situations associées. L'étude que nous proposons de présenter s'inscrit dans le cadre d'un travail doctoral ayant pour objectif l'élaboration d'outils basés sur l'histoire des sciences pour l'enseignement des phénomènes liés à la pression. Il s'agit d'une enquête préliminaire réalisée afin d'évaluer la compréhension que les enseignants ont des situations impliquant un liquide au repos, et d'établir d'éventuelles corrélations avec le cadre de rationalité dans lequel se placent les enseignants pour aborder les différentes situations. A cette fin un double questionnaire a été élaboré via la plateforme Limesurvey et diffusé auprès d'enseignants de physique. Ces derniers y sont invités à expliquer deux situations impliquant un liquide au repos, et à faire des prévisions justifiées de l'évolution de chacune d'elle dans différentes situations.

Mots-clé : pression, mécanique, hydrostatique, raisonnements, enseignants

Problématique

La littérature montre largement que les phénomènes liés à la pression sont sujets à beaucoup de difficultés de compréhension chez les élèves et étudiants (Séré, 1986 ; Kariotoglou & Psillos, 1993 ; Besson, 2001 ; de Hosson & Caillarec, 2009). En explorant l'histoire des sciences pour y trouver des leviers à fournir aux enseignants pour aborder ces phénomènes avec leurs élèves, nous avons remarqué que les savants du XVII^e siècle appréhendaient la suspension du mercure dans le dispositif Torricellicien comme le résultat d'un certain nombre d'actions dont certaines étaient appelées « pression » (Pascal, 1647). Ceci nous rappelle que les phénomènes impliquant un liquide peuvent être traités autrement qu'avec la loi de l'hydrostatique et la grandeur physique « pression ».

Situations impliquant un liquide au repos : des approches variées

Malafosse et al. (2000) définissent un cadre de rationalité comme « un ensemble cohérent de fonctionnement de la pensée caractérisé par quatre composantes : les objets du cadre, le type de processus de conceptualisation mis en œuvre, les règles de rationalité et enfin les registres sémiotiques support de conceptualisation et de communication ».

Lorsqu'un physicien est face à une situation impliquant un liquide au repos, nous considérons que deux cadres de rationalité s'offrent à lui pour étudier le système au niveau macroscopique :

- un cadre mécanique, mobilisant le concept de force et les lois de Newton ;
- un cadre hydrostatique, mobilisant le concept de pression et la loi fondamentale.

Ces deux cadres, bien qu'assez compartimentés, ne sont pas imperméables l'un à l'autre, et s'appuient en particulier tous deux sur les concepts de liquide, de masse volumique et d'équilibre. Par ailleurs les mêmes registres de représentation sémiotique interviennent dans ces deux cadres, même si les éléments mobilisés sont variables.

Situation A : le système comporte un objet plongé dans un liquide au repos

Ce premier type de situation, étudié en contexte scolaire, se focalise essentiellement sur l'objet en immersion et non sur le liquide, et mobilise automatiquement le concept de poussée d'Archimède, c'est-à-dire de force. Une situation dans laquelle le liquide n'est pas explicitement étudié et qui

comporte un objet en immersion a donc *a priori* plus de chances d'être reconnue spontanément comme relevant du cadre de la mécanique.

Dans ce type de situation le cadre hydrostatique, lui, est peu mobilisé hormis quand il s'agit d'*expliquer* (dans le sens de *donner l'origine de*) la poussée d'Archimède.

Situation B : le liquide au repos est le système étudié

L'approche scolaire de ce type de situation se décline en deux activités principales qui mobilisent toutes deux exclusivement le cadre hydrostatique, à savoir :

- s'assurer de l'adéquation entre une situation d'équilibre et la loi fondamentale de l'hydrostatique ;
- exploiter la loi fondamentale de l'hydrostatique pour caractériser de façon quantitative une situation d'équilibre (calcul de pressions et de hauteurs).

Dans ce type de situation le cadre mécanique est mobilisé principalement pour expliquer la loi fondamentale de l'hydrostatique, par le biais de la relation $F = P \times S$ qui lie les deux cadres.

Étude des raisonnements des enseignants

Potentiellement amenés à les enseigner à un moment ou l'autre de leur carrière, les enseignants sont supposés avoir une compréhension satisfaisante des phénomènes impliquant un liquide au repos.

La prévision comme mise à l'épreuve de la compréhension

La compréhension est un processus mental et ne peut *a priori* qu'être présumée acquise par un individu en attendant confrontation à des situations mettant en évidence le contraire. En demandant aux enseignants de faire des prévisions précises à propos de situations choisies, on s'offre la possibilité d'identifier sans équivoque les signes d'une mauvaise compréhension : si un individu prévoit bien, cela ne permet pas de conclure que l'individu comprend bien ; en revanche s'il prévoit mal, cela révèle avec certitude un défaut de compréhension.

Hypothèse

L'hypothèse générale qui sous-tend cette étude est que le recours aux deux cadres (hydrostatique et mécanique) favorise une compréhension optimale des situations impliquant un liquide au repos. Autrement dit, les enseignants qui n'appréhenderaient une situation que sous le prisme d'un seul cadre seraient plus enclins aux prévisions erronées.

Questions de recherche

- QR1. Le cadre majoritairement mobilisé change-t-il : a. d'une situation à l'autre ? b. d'une forme de question (expliquer) à l'autre (prévoir) ?
- QR2. L'un des cadres se montre-t-il plus opérationnel que l'autre pour expliquer ou pour prévoir de manière appropriée ?
- QR3. Dans quelle mesure la mobilisation de plusieurs cadres par un enseignant est corrélée à sa compréhension des situations ?

Méthodologie

Nous avons réalisé un questionnaire, mis en forme et diffusé via la plateforme Limesurvey. Ce questionnaire est à destination d'enseignants de physique, et se présente quasi intégralement sous la forme de QCM. Les enseignants y sont interrogés à propos de deux situations impliquant toutes deux un liquide au repos, mais relevant chacune d'un des deux types présentés précédemment.

Situations présentées

Nous avons choisi deux situations différentes qui peuvent paraître contre-intuitives : dans la première le liquide au repos n'est pas explicitement le centre d'attention, et le système comporte un objet plongé dans le liquide ; dans la seconde le liquide au repos est explicitement le système étudié.

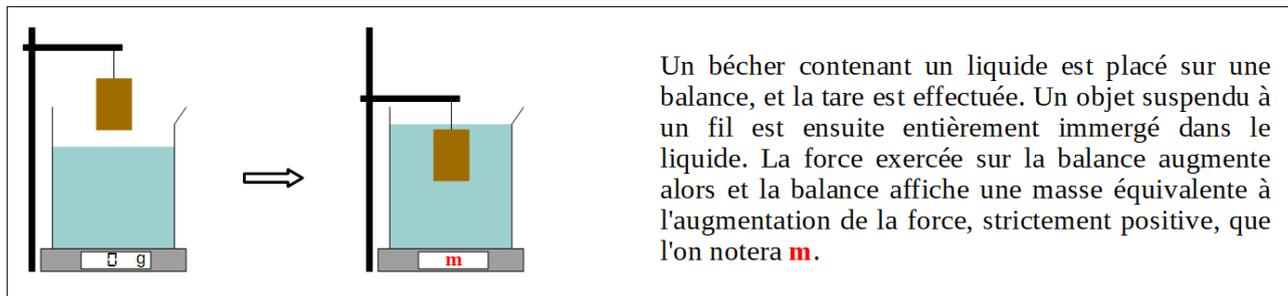


Fig. 1 : Situation A (objet suspendu)

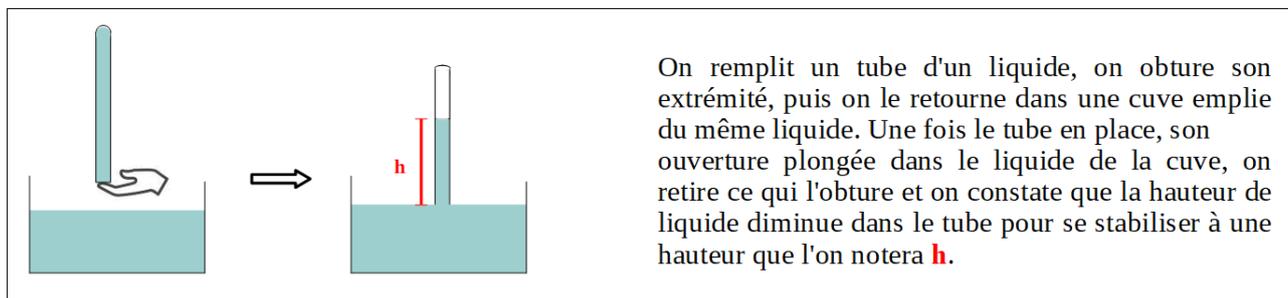


Fig. 2 : Situation B (tube retourné)

Questions posées à propos des deux situations

Expliquer

Après l'énoncé de la situation, la première question posée dans les deux cas est ouverte : une demande d'explication de l'observation décrite. L'objectif est de voir quel cadre les enseignants privilégient spontanément face à la situation et de répondre à la question de recherche QR1b.

Prévoir

L'objectif des questions suivantes est de mettre à l'épreuve la compréhension que les enseignants ont de chacune de ces deux situations en leur demandant de prévoir l'évolution du paramètre étudié (**m** pour la situation A et **h** pour la situation B) lorsqu'un élément du dispositif expérimental est modifié. Afin d'approcher au mieux la réflexion menée par les enseignants au fil des différentes situations qui leur sont soumises, nous demandons une justification pour chaque prévision. Nous avons par ailleurs choisi de faire cette demande de justification sous la forme d'un double QCM à la manière de Coppens et Munier (2005) en imposant aux sondés de choisir leur(s) justification(s) parmi un set de propositions formulées par nos soins. Les deux cadres (mécanique et hydrostatique) sont mobilisés dans chaque set de justifications, et des propositions erronées ont été introduites lorsqu'il nous semblait qu'elles pouvaient faire écho à la pensée de certains enseignants.

Résultats préliminaires

Le questionnaire est toujours en cours de déploiement auprès d'enseignants stagiaires formés en M2 MEEF ; il sera clôturé d'ici quelques jours et a reçu pour l'heure une centaine de réponses. Les résultats quantitatifs, et dont la pertinence sera systématiquement évaluée par des tests statistiques seront présentés dans le poster. En attendant, une analyse préliminaire des 60 premières réponses nous fournit déjà quelques renseignements sur les analyses qu'il sera intéressant de poursuivre.

Questions d'explications

Environ la moitié des sondés ne répond tout simplement pas à la première question qui consiste à expliquer la situation A. La question d'explication pour la situation B est elle aussi source d'une déperdition de l'effectif répondant, bien que dans une moindre mesure. Parmi les explications formulées par les répondants, seulement un quart d'entre elles, en moyenne, peuvent être considérées comme acceptables, la majorité des réponses constituant des explications erronées ou tellement incomplètes qu'elles ne peuvent pas raisonnablement être considérées comme des explications. Les explications de la situation A mobilisent majoritairement le cadre mécanique, et celles de la situation B le cadre hydrostatique. Dans aucune des situations on ne peut établir de corrélation entre la validité de l'explication et le cadre mobilisé (QR2).

Questions de prévisions

En ce qui concerne les questions de prévision en moyenne les trois quarts de prévisions formulées sont correctes. La plus grande partie des justifications sélectionnées par les enseignants relève du cadre de la mécanique pour la situation A, et du cadre hydrostatique pour la situation B ; ainsi la forme de la question (expliquer ou prévoir) ne semble pas déterminant dans le choix du cadre mobilisé (QR1b). Les deux situations sont toutefois abordées de façon nettement distincte dans l'ensemble (QR1a). Ici non plus on ne peut établir de lien entre le cadre choisi et la validité de la prévision (QR2). Enfin, en réponse à QR3, on note que la majeure partie des enseignants qui sélectionnent, pour une même question, des justifications relevant des deux cadres (mécanique et hydrostatique) font des prévisions correctes. De plus, les enseignants qui sélectionnent pour chaque question des justifications ne relevant que d'un seul cadre, mais qui changent de cadre d'une question à l'autre, font majoritairement plus d'erreurs dans leurs prévisions.

Perspectives

Ces prémisses de résultats seront mis à l'épreuve d'une analyse quantitative détaillée. Ils participent à orienter l'élaboration d'un scénario de formation pour les enseignants dans lequel l'histoire des sciences y est à la fois objet de formation et support didactique en tant que terrain permettant naturellement d'aborder les situations impliquant les fluides au repos dans un cadre peu habituel.

Bibliographie

Besson, U. (2001). Students' conceptions of fluids. *International Journal of Science Education*, 26(14), 1683-1714.

Coppens, N. & Munier, V. (2005). Évaluation d'un outil méthodologique, le "double QCM", pour le recueil de conceptions et l'analyse de raisonnements en physique. *Didaskalia*, 27, 41-62.

Kariotoglou, P. & Psillos, D. (1993). Les modèles des élèves sur la pression et leurs implications pour l'enseignement. *Aster*, 19, 157-173.

de Hosson, C. & Caillarec, B. (2009). L'expérience de Blaise Pascal au Puy de Dôme : analyse des difficultés des étudiants de premier cycle universitaire et confrontation historique. *Didaskalia*, 34, 105-130.

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. *Tréma*, 18, 49-60.

Pascal, B. (1647). « Le vide, l'équilibre des liqueurs et la pesanteur de l'air » dans *Œuvres complètes*, Paris : Seuil, 1963 p.194-262

Séré, M-G. (1982). A study of some frameworks used by pupils aged 11 to 13 years in the interpretation of air pressure. *European Journal of Science Education*, 4(3), 299-309.

Les Voyageurs en cours de géographie

Bilan d'une ingénierie didactique au lycée professionnel

Résumé : « *Les gens du Voyage vont de ville en ville et s'installent n'importe où* », « *les gitans n'ont pas de domicile fixe* », « *ils se branchent sur l'électricité publique comme ils font toujours*¹ ».

Ces quelques propos d'élèves collectés en observant la classe permettent d'évoquer le contexte d'une recherche menée au lycée professionnel, deux établissements concernés de près par la question des haltes et des circulations des Voyageurs². La théorie de l'ingénierie didactique mobilisée vise à produire des situations permettant d'aborder cette question vive dans le quotidien des élèves en cours de géographie. Ces situations ont été expérimentées avec les élèves de première et de terminale en lien avec les travaux sur la géographie expérientielle. Nous présenterons ici les résultats de l'enquête par questionnaires et les productions cartographiques des élèves collectées dans le cadre de cette recherche.

Mots-clé : ingénierie didactique ; voyageurs géographie ; expérience ; représentations

Une ingénierie didactique en prise avec les territoires

Cette proposition de communication affichée est le bilan une recherche menée au lycée professionnel avec des classes de première et terminale. La théorie de l'ingénierie didactique mobilisée (Artigue, 2002) vise à produire des situations permettant d'aborder la question des Voyageurs³ en géographie. Dans un premier temps, nous aurons l'occasion de présenter le cadre de la recherche et sa méthodologie.

Une question vive en prise avec les territoires : le questionnement de recherche

Parce qu'elle fait débat dans la classe en lien avec l'actualité locale et que les élèves ont des représentations sur les Voyageurs, il s'agit d'une question sociale ordinaire, ou QSO (Vergnolle-Mainar, 2020) qui interroge le rapport des élèves à leurs représentations spatiales et aux territoires. Les caractéristiques en sont les suivantes : une QSO met en jeu des savoirs incertains, reçoit ou a reçu un traitement médiatique, est perçu comme vive dans le quotidien des élèves. Sa vivacité se manifeste dans des territoires proches physiquement des élèves.

La problématique de recherche s'oriente autour des manifestations de ce qui apparaît comme une question sociale ordinaire. Les questions posées sont les suivantes : quelle ingénierie didactique déployer afin de traiter une question sociale ordinaire ? Quels savoirs géographiques sont à mobiliser pour passer des représentations à un savoir géographique ? Nous formulerons deux hypothèses de recherche :

¹ Propos collectés en classe en décembre 2020

² Le terme Voyageur utilisé dans cette recherche est un autonome. Il est préféré ici à l'appellation « Gens du Voyage » qui renvoie à une catégorisation administrative désignant les personnes au mode de vie et/ ou à l'habitat mobile.

³

Hypothèse 1 : La question des Voyageurs fait débat dans la classe, les élèves ont des représentations en lien avec des préjugés exprimés à l'échelle de la société.

Hypothèse 2 : Aborder la question des Voyageurs sous le prisme de la notion d'ancrage territorial permettrait de mettre à distance les représentations des élèves. La notion d'ancrage territorial correspond aux pratiques spatiales des Voyageurs dans les territoires concernés par cette recherche. La théorie de l'ingénierie didactique a été mobilisée pour concevoir des situations avec les enseignants.

Cadre de la recherche : l'ingénierie didactique

L'ingénierie didactique se définit par « *la conception, la réalisation, l'observation et l'analyse* » de situations d'enseignement (Artigue, 2002). Elle repose sur différentes phases permettant de concevoir et d'analyser les situations d'enseignement propices à susciter un changement dans les représentations des élèves en lien avec la question sociale ordinaire, ce dont tend compte le schéma ci-dessous.

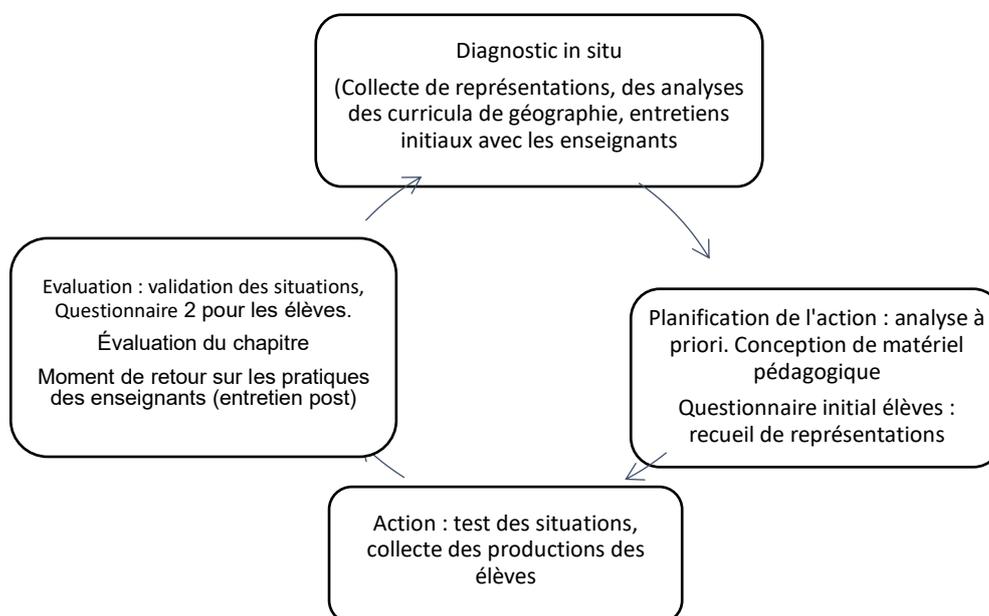


fig. 1 : Les étapes de l'ingénierie didactique (d'après Artigue, 2002)

Le diagnostic *in situ* envoie à une analyse préliminaire des curricula de géographie au lycée professionnel. L'idée est de comprendre autour de quels concepts géographiques importants les programmes sont orientés. Nous avons isolé les thématiques qui pouvaient être à même d'être sollicitées pour traiter de la question des Voyageurs. Les textes du programme de géographie de 2019 ont été analysés sur Iramuteq. Deux concepts peuvent être travaillés afin d'outiller les élèves en ce qui concerne les Voyageurs en classe de première et terminale : l'urbanisation et l'aménagement du territoire. La présence des Voyageurs, implicite dans les programmes, permet de confirmer l'hypothèse de recherche 2.

Quelles démarches pédagogiques et quels savoirs géographiques ?

Pour aborder les Voyageurs en classe, un des leviers de changement des représentations est de pratiquer une géographie qui utilise l'expérience des élèves dans une perspective d'apprentissage. La géographie expérientielle pense ainsi un renouvellement des situations d'enseignement en

interrogeant le passage de l'expérience à la connaissance. Un scénario de cours s'articule ainsi autour de 4 phases (4I) : Immersion, Interaction, Institutionnalisation, Implémentation (Leininger-Frézal, 2019). Ces étapes ont guidé la conception des différentes situations, l'exemple ci-dessous fait référence à la sortie de terrain expérimentée à Morsang-Sur-Orge par les enseignants.

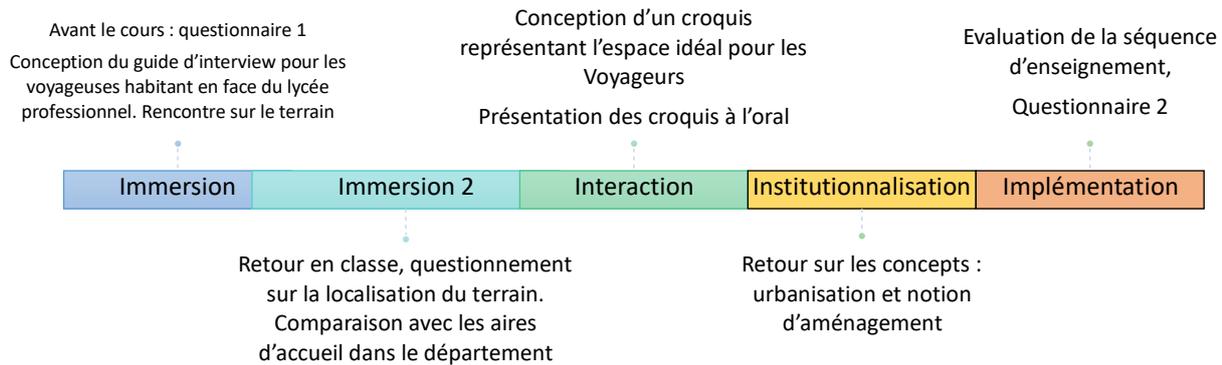


fig. 2 : Mise en œuvre d'une sortie de terrain en géographie selon l'approche expérientielle : un exemple à Morsang-sur-Orge

La proposition est de rendre visible la question des Voyageurs ce qui suppose de s'intéresser aux représentations des élèves. Les résultats de l'enquête par questionnaire et de l'analyse des productions des élèves pourront être exposés dans un second temps de cette communication affichée.

Résultats de l'enquête et de l'analyse des productions d'élèves

Pour cerner les représentations des élèves, une enquête par questionnaire a été élaborée en amont d'observations en classe et les productions des élèves collectées après observation des cours.

Méthodologie d'enquête

Dans un premier questionnaire avant l'expérimentation, nous avons demandé aux élèves :

- Comment ils définissaient « Gens du Voyage » (terme davantage connu des élèves que Voyageurs)
- Par quels biais ils en avaient entendu parler, ce qui nous permet d'identifier la source de leurs représentations.

Dans un second questionnaire, diffusé après le cours, nous leur avons demandé

- Ce qu'ils avaient retenu sur la question des Voyageurs
- Ce qu'ils aimeraient encore savoir

Des situations didactiques conçues et expérimentées par les enseignants nous permettent de collecter les productions des élèves dans le cadre des cours observés. Nous avons aussi collecté ce que les élèves disaient ainsi que leurs productions écrites sur un exercice consistant à schématiser une aire d'accueil idéale (fig. 2). La localisation des espaces assignés aux Voyageurs – les aires d'accueil- a été questionnée dans le cadre d'un cours de géographie sur les espaces urbains mené par les enseignants observés.

Quelles évolutions dans les représentations ?

Si 54% des élèves interrogés avaient déjà entendu parler des « Gens du Voyage », ils les associaient à la mobilité et à l'habitat mobile. Ils citent les réseaux sociaux comme principale source d'informations sur les Voyageurs. Après le cours, ils font référence aux ancrages, aux modes de vie et aux ségrégations spatiales dans les espaces urbains. Ils évoquent les discriminations et les discours qui ne sont pas « forcément vrai⁴ » sur les populations concernées. Les élèves mettent en lien ce

⁴ Extrait d'une réponse d'un élève à la question « Qu'as-tu retenu sur les Voyageurs ? ».

processus de mise en marge des populations voyageuses dans les territoires avec la question de la localisation des aires d'accueil. Celle-ci fait d'ailleurs l'objet de publications académiques, militantes et associatives (Cossée, 2016 ; Foisneau, s. d., 2021). Par l'analyse des questionnaires, nous pouvons remarquer que les concepts géographiques sont davantage mobilisés par les élèves après une expérience concrète du territoire.

Quelles évolutions dans les savoirs ?

Les résultats de l'analyse des questionnaires diffusés aux élèves avant un cours permettent de confirmer les hypothèses de recherche. Les interventions orales des élèves collectées pendant le cours illustrent les finalités citoyennes de la géographie : « On les traite comme des Voyageurs, on les met au bout du monde », « ils sont dans des endroits isolés, loin de tout », « Les endroits pour les Gens du Voyage sont souvent cachés », « Je ne comprends pas pourquoi c'est à côté d'une usine [en référence à l'aire d'accueil de Massy], comme ici à Morsang, c'est à côté du cimetière ». Les élèves adoptent un regard géographique fondé sur l'observation, identifient les jeux des acteurs et prennent position. Les productions cartographiques analysées indiquent toutefois que l'Autre est pensé sous le prisme de la sédentarité ce qui pose les enjeux de la transférabilité de la démarche à d'autres contextes.

Éléments de conclusion

L'analyse des questionnaires diffusés aux élèves permet de confirmer l'hypothèse de recherche 1. Les élèves ont des représentations liées aux modes de vie des Voyageurs, alimentées par ce qu'ils entendent à l'extérieur de l'école (réseaux sociaux, médias, télévision). L'observation des situations déployées par les enseignants, dont l'exemple exposé de la sortie de terrain et l'analyse des productions cartographiques des élèves indiquent une mise à distance des représentations. Les élèves ont pu réfléchir sur les discours produits sur les Voyageurs, sur les localisations des espaces assignés. Travailler le concept d'ancrage territorial permet une mise à distance des stéréotypes visant les Voyageurs (dont celui de la mobilité). L'hypothèse de recherche 2 est validée. Le bilan de cette ingénierie didactique déployée au lycée professionnel indique que l'approche par l'expérience peut être un levier pour changer les représentations des élèves et éduquer au territoire.

Bibliographie

Artigue, M. (2002). Ingénierie didactique : Quel rôle dans la recherche didactique aujourd'hui ? *Les Dossiers des Sciences de l'Éducation*, 8(1), 59-72. <https://doi.org/10.3406/dsedu.2002.1010>

Cossée, C. (2016). Le statut “gens du voyage” comme institution de l'antitsiganisme en France. *Migrations Société*, 163, 75. <https://doi.org/10.3917/migra.163.0075>

Foisneau, L. (s. d.). Les aires d'accueil des gens du voyage : Une source majeure d'inégalités environnementales. *Études tsiganes*. Consulté 2 août 2021, à l'adresse https://www.academia.edu/44613302/Les_aires_daccueil_des_gens_du_voyage_une_source_majeure_din%C3%A9galit%C3%A9s_environmentales

Leininger-Frézal, C. (2019). *Apprendre la géographie par l'expérience : La géographie expérientielle* [Thesis, Université de Caen]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03188093>

Vergnolle-Mainar, C. (2020). « *Questions sociales ordinaires* », enjeux pour l'enseignement et les recherches en didactique. <https://umrlisa.univ-corse.fr/wp-content/uploads/2021/05/programme-anthropocene.pdf>

Modèles didactiques pour la conception d'un EIAH

Construction de modèles didactiques et informatiques

Résumé : ce poster vise à présenter les modèles didactiques du savoir, de l'élève, des tâches et des parcours conçus dans le cadre d'un EIAH en algèbre et en géométrie.

Mots-clé : EIAH, modèles didactiques, géométrie

Introduction

Nous nous situons dans le cadre de la conception d'un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) : MindMath. Il s'agit de concevoir une plateforme permettant aux élèves de collège (élèves de 11 à 15 ans) de s'entraîner en algèbre et en géométrie. L'enseignant·e définit un ou des objectifs d'apprentissage sous la forme d'objets ou de propriétés mathématiques à étudier. La plateforme propose alors automatiquement une suite de tâches, que nous appelons « parcours d'apprentissage », en s'adaptant à l'activité de l'élève au fur et à mesure. L'utilisation de la plateforme n'est pas pensée pour être indépendante ou pour se substituer à un enseignement en classe des savoirs en jeu. Elle constitue un accompagnement lors de ces apprentissages.

Dans ce poster, nous présentons les modèles didactiques utilisés pour concevoir la plateforme. Issus d'une collaboration entre chercheurs et chercheuses en didactique des mathématiques et en informatique, ils permettent de représenter didactiquement, et informatiquement, les savoirs, l'élève, les tâches, les parcours et les rétroactions. Ici, nous laissons de côté les rétroactions.

Parcours d'apprentissage

Les parcours d'apprentissage sont des suites de tâches organisées pour répondre à un objectif d'apprentissage qui est ici défini par l'enseignant·e utilisant la plateforme. Nous combinons deux approches pour organiser ces tâches. D'une part, une approche épistémologique en situant les tâches les unes par rapport aux autres en se basant sur le savoir mis en jeu dans leur résolution. D'autre part, une approche plus cognitive en concevant des parcours adaptés à l'activité mathématique de l'élève sur des tâches plus ou moins proches. Ces deux approches font apparaître la nécessité de définir et caractériser la notion de tâche, le savoir en jeu et l'activité mathématique de l'élève. C'est pourquoi nous présentons par la suite les différents modèles qui permettent leur représentation didactique et informatique en proposant des exemples en géométrie.

Modèle du savoir

Nous nous situons dans le cadre de la théorie anthropologique du didactique (TAD) (Chevallard, 1999) pour modéliser le savoir en jeu dans la plateforme en prenant en compte l'institution dans laquelle se trouvent les élèves. Nous utilisons en particulier la notion de praxéologie et ses organisations en praxéologies locales, régionales et globales pour décrire les savoirs en géométrie.

De plus, nous utilisons la notion de modèle praxéologique de référence (MPR) introduite par Bosch et Gascón (2005) pour décrire les aspects épistémologiques des objets de savoir d'un domaine mathématiques et les praxéologies associées à un rapport idoine au savoir visé dans les institutions considérées. Le MPR se décrit en termes d'organisations praxéologiques.

Ainsi, nous construisons un MPR, que nous ne détaillerons pas ici, pour chacun des domaines mathématiques pris en compte dans la plateforme MindMath. Pour les implémenter, nous travaillons dans le cadre T4TEL (Chaachoua, 2018) comme nous le verrons par la suite.

Modèle de l'activité de l'élève

Nous situons les apprentissages de l'élève par rapport aux savoirs visés dans l'institution dans laquelle il ou elle se situe. Ainsi, l'élève construit un rapport personnel aux objets de l'institution au fur et à mesure de ses rencontres avec ces objets dans les différentes institutions par lesquelles il ou elle passe. Or, dans une institution donnée et à un temps donné, le rapport personnel qu'entretient l'élève aux objets en jeu peut être en décalage avec le rapport attendu. Nous appelons alors besoins d'apprentissage ce qu'il est « nécessaire de travailler pour faire évoluer son rapport personnel actuel vers un rapport personnel idoine au regard des attendus de l'institution » (Jolivet et al., 2021, p. 125). Les besoins d'apprentissage sont définis par rapport au MPR du domaine mathématique.

Afin de caractériser ces besoins d'apprentissage pour les exploiter dans la plateforme, nous nous appuyons sur le modèle de l'apprenant développé par Grugeon (1997). Ce modèle permet de décrire le rapport personnel de l'élève aux objets de l'institution en termes de cohérences dans les raisonnements régulièrement employés par l'élève pour résoudre les tâches d'un domaine mathématique donné. À partir d'un MPR, nous hiérarchisons ainsi les technologies et théories mobilisées par les élèves au regard des technologies et théories attendues dans l'institution. Ce travail nous permet de définir a priori des modes de justification, associés à des besoins d'apprentissage, et de faire des inférences sur le parcours le plus adapté à l'élève.

En géométrie, nous définissons trois modes de justification qui se déclinent selon les différentes organisations praxéologiques locales définies dans le MPR. Nous nous intéresserons ici en particulier aux modes de justification pour la praxéologie locale de construction de figures planes :

- un mode de justification dit « ancien » : construction au jugé et validée par la perception ou le recours à la mesure ;
- un mode de justification dit « en construction » ou « incomplet » : construction qui reste dans le paradigme des constructions molles au sens de Laborde (2005) et/ou construction appuyée sur un raisonnement qui présente des technologies erronées ;
- un mode de justification dit « attendu » : construction robuste appuyée sur une argumentation heuristique correcte, une validation théorique peut être mise en œuvre.

Modèle des tâches

Nous utilisons le cadre T4TEL pour représenter les tâches et leur organisation. À partir du découpage en organisations praxéologiques locales du domaine, nous définissons des générateurs de types de tâches et des variables de types de tâches au sens de Chaachoua et al. (2019). Un générateur de types de tâches se présente sous la forme $GT = [\text{Verbe d'action ; complément fixe pris parmi les objets du domaine ; ensemble de variables de types de tâches}]$. Les variables de types de tâches structurent le domaine étudié. Elles sont directement issues du découpage praxéologique

opéré dans la construction du MPR. Pour le générateur GT1 = [Construire ; un triangle], il s'agit des variables « nature du triangle à construire » (VT1) et « données de l'énoncé » (VT2). En attribuant des valeurs différentes aux variables de types de tâches, nous définissons des types de tâches.

Pour décrire les tâches proposées aux élèves, nous avons jugé pertinent d'introduire un nouveau type de variables : les variables de tâches (Grugeon-Allys et al., 2018 ; Jolivet et al., 2021). Ces variables permettent de définir ce que nous appelons des familles de tâches en caractérisant d'une part la portée de certaines techniques (variables Vt_P) et d'autre part la complexité des tâches d'une même famille (variables Vt_C). Ainsi, « une famille de tâches est un ensemble de tâches que le choix des valeurs des variables nous amène à considérer comme semblables à l'aléatoire de génération près » (Jolivet et al., 2021, p. 131). Pour la praxéologie locale de construction en géométrie, nous avons défini :

- Vt_P1 : éléments déjà tracés de la figure à construire ;
- Vt_P2 : outils disponibles pour la construction ;
- Vt_C1 : nombre minimum de propriétés à mobiliser pour résoudre la tâche ;
- Vt_C2 : registre de représentation de l'énoncé et désignation du triangle dans l'énoncé ;
- Vt_C3 : présence d'objet(s) géométrique(s) externe(s) à la figure à construire (quadrillage, autre figure à l'intérieur de ou sur laquelle il faut construire le triangle, etc.).

Le rôle de la variable Vt_P2 est particulièrement intéressant. Le fait d'empêcher l'utilisation de certains outils de construction permet de disqualifier certaines techniques et rend nécessaire la mobilisation d'autres techniques et technologies visées. La variable Vt_C1 a, elle, un statut à part. Très importante dans la construction des parcours, elle dépend entièrement du choix de valeur des autres variables de types de tâches et de tâches.

Modèle des parcours

Les parcours d'apprentissage sont des suites de tâches proposées aux élèves en s'adaptant à leur activité, c'est-à-dire ici à leur mode de justification. Pour définir les tâches du parcours, nous nous appuyons sur les variables de types de tâches et de tâches. Pour un objectif d'apprentissage à un niveau scolaire donné, nous définissons la tâche cible que tous les élèves doivent être amenés à résoudre pour considérer l'objectif atteint. En fonction du mode de justification de l'élève, nous proposons des tâches plus ou moins en amont et en aval de cette cible. En géométrie par exemple, si l'objectif d'apprentissage est la construction d'un triangle isocèle en utilisant la propriété de la somme des angles. La tâche cible pourra être caractérisée par les variables suivantes : {VT1 : triangle isocèle ; VT2 : angle au sommet et côté base (ce dernier étant déjà tracé (Vt_P1)) ; Vt_P2 : constructeur d'angle ; Vt_C1 : 2 (angles à la base égaux, somme des angles dans un triangle) ; Vt_C2 : énoncé dans le langage naturel, désignation par « triangle isocèle »}.

Pour les élèves dont le mode de justification relève du mode ancien, nous proposons d'abord une tâche de construction « directe » d'un triangle scalène non rectangle à partir de deux angles et du côté entre les deux. Une deuxième tâche serait la construction d'un triangle isocèle à partir de sa base et d'un angle à la base. Il s'agirait alors de mobiliser une propriété des triangles isocèles : les angles à la base sont égaux. La tâche cible pourrait ensuite être proposée. Pour les élèves dont le mode de construction relève déjà d'un mode attendu, il est envisagé de proposer directement la tâche cible puis de proposer des tâches mettant en jeu de plus en plus de propriétés qu'il faut articuler dans un raisonnement déductif. Pour les élèves dont le mode de construction relève d'un

mode incomplet, nous pouvons commencer par la construction du triangle isocèle à partir de sa base et d'un angle à la base avant de proposer la tâche cible puis des tâches permettant d'aller plus loin.

À noter que dans la plateforme MindMath, ce travail didactique et informatique est complété par des algorithmes dits d'*adaptive learning*, implémentés par une entreprise spécialisée dans « le big data pour l'apprentissage ». C'est un travail toujours en cours que nous n'aborderons pas ici.

Conclusion et perspectives

Nous avons montré que l'appui sur un MPR et une modélisation de l'activité de l'élève sous la forme de modes de justification permettent de concevoir un EIAH à destination d'élèves de collège en algèbre et en géométrie. Il reste à mener des expérimentations sur le long terme afin d'étudier les articulations possibles avec des séquences menées par l'enseignant-e en classe entière et de déterminer si les choix didactiques effectués permettent effectivement un apprentissage des notions visées.

Bibliographie

Bosch, M., & Gascón, J. (2005). La praxéologie comme unité d'analyse des processus didactiques. Dans A. Mercier et C. Margolinas (dir.), *Balises pour la didactique des mathématiques : cours de la 12e école d'été de didactique des mathématiques* (p. 107-122). La pensée sauvage, Grenoble.

Chaachoua, H. (2018). T4TEL, un cadre de référence didactique pour la conception des EIAH. Dans J. Pilet et C. Vendeira (dir.), *Actes du séminaire de didactique des mathématiques 2018* (p. 8-25). IREM de Paris - Université Paris Diderot.

Chaachoua, H., Bessot, A., Romo, A., & Castela, C. (2019). Developments and functionalities in the praxeological model. Dans M. Bosch, Y. Chevallard, F. Javier Garcia et J. Monaghan (dir.), *Working with the anthropological theory of the didactic : A comprehensive casebook* (p. 41-60). Routledge.

Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(2), 221-265.

Grugeon, B. (1997). Conception et exploitation d'une structure d'analyse multidimensionnelle en algèbre élémentaire. *Recherches en didactique des Mathématiques*, 17(2), 167-209.

Grugeon-Allys, B., Chenevotot-Quentin, F., Pilet, J., & Prévité, D. (2018). Online automated assessment and student learning : The PEPITE project in elementary algebra. Dans L. Ball, P. Drijvers, S. Ladel, H.-S. Siller, M. Tabach, & C. Vale (dir.), *Uses of Technology in Primary and Secondary Mathematics Education* (p. 245-266). Springer.

Jolivet, S., Lesnes-Cuisiniez, E., & Grugeon-Allys, B. (2021). Conception d'une plateforme d'apprentissage en ligne en algèbre et en géométrie : prise en compte et apports de modèles didactiques. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 26, 117-156.

Laborde, C. (2005). Robust and soft constructions : two sides of the use of dynamic geometry environments. Dans S.-C. Chu, H.-C. Lew & W.-C. Yang (dir.), *Proceedings of the 10th asian technology conference in mathematics* (p. 22-36). Blacksburg : ATCM.

Contrats fortement didactique et ETM idoines

Le cas d'une tâche de modélisation en probabilité.

Alain Kuzniak & Blandine Masselin, LDAR Université de Paris

But du poster : Ce poster présente notre étude de la notion de *contrat fortement didactique* dans le cadre de la Théorie des ETM(ThETM). Notre analyse s'appuie sur une tâche de modélisation en probabilité, « le lièvre et la tortue » et elle est illustrée par les chemins didactiques mis en œuvre par deux enseignantes dans le cadre d'une formation d'enseignants.

Mots-clé : Contrat fortement didactique, Espace de Travail Mathématique idoine, Circulation du travail, Modélisation

Introduction : deux questions de recherche

Dans ce poster, nous développons la notion de contrat didactique fort en nous appuyant sur l'étude d'ETM idoines mis en œuvre autour d'une tâche de probabilité proposée en classe de troisième. La réalisation de la tâche nécessite sur une simulation basée sur l'emploi d'outils technologiques. L'étude explore les deux questions de recherche suivante :

Quels sont les contrats fortement didactique identifiés lors de la mise en œuvre d'une tâche de modélisation en contexte technologique ?

Comment peut-on les décrire et les caractériser dans le cadre de la ThETM?

Cadre théorique

Deux théories sont utilisées dans la recherche : la Théorie des Situations Didactiques (Brousseau, 1988) et la théorie des Espaces de Travail Mathématique (Kuzniak & al., 2016, Kuzniak & al., 2022).

Brousseau (1997) introduit ce que nous appellerons des contrats fortement didactique. Il les décrit et les définit *a priori* en s'appuyant sur des caractéristiques psychologiques, philosophiques ou encore empiriques. Ces contrats peuvent ensuite être reconnus *a posteriori* grâce à l'observation du déroulement de situations didactiques dans les classes.

Les notions de circulation de travail, de chemins et itinéraires didactiques dans l'ETM idoine, permettent de décrire et de caractériser des formes de contrats que nous mettons en relation avec les contrats fortement didactique identifiés par Brousseau.

Méthodologie de recherche et outils pour l'étude

La tâche

La tâche de probabilité considérée est « le lièvre et de la tortue ». Présente dans les documents d'accompagnement des programmes officiels français (grade 9), nous la considérons comme une tâche emblématique (Kuzniak & Nechache, 2016). Voici un énoncé de cette tâche proposé en

formation des enseignants. Cet énoncé est susceptible de nombreuses variations lors de sa mise en œuvre effective dans les classes (Masselin, 2019).

Une course se passe entre un lièvre et une tortue. On dispose d'un parcours à 6 cases en ligne. On lance un dé équilibré à 6 faces. Si le 6 sort, alors le lièvre gagne, sinon la tortue avance d'une case. La tortue gagne quand elle arrive sur la 6ème case. Qui a le plus de chances de gagner ?

Au niveau d'enseignement du contexte de notre recherche (classe de troisième), cette tâche nécessite l'emploi de logiciels (tableur ou Scratch) pour être résolue avec la simulation. Elle permet de repérer les choix d'usages des enseignants en termes d'artefacts numériques (logiciels, responsabilité de chacun, élèves et professeur, lors de la simulation).

Contexte de la recherche

La recherche présentée s'inscrit dans le prolongement des travaux de thèse de Masselin (2019). Il s'agit de présenter un raffinement du suivi des itinéraires prévus et des chemins empruntés en classe lors d'une formation sur les probabilités organisée suivant le modèle des Lesson Studies (Lewis & Hurd, 2011).

Nature des données

Les données utilisées concernent deux enseignantes, Lucie et Emma. La première est une enseignante experte qui fait partie d'un groupe IREM. La seconde est une enseignante dite « expérimentatrice » qui a mis en œuvre la tâche du « jeu du lièvre et de la tortue » dans une classe qui n'était pas à elle, à partir d'un scénario collectivement préparé pendant la formation (Masselin & Hartmann, 2020).

Un outil méthodologique pour l'étude : les itinéraires et chemins dans l'ETM idoine

Nous présentons les itinéraires prévus et les chemins empruntés en précisant les phases de dévolution D et d'institutionnalisation I qui sont sous la responsabilité du professeur et des élèves. Nous dégageons également des actions A qui dépendent uniquement des élèves et qui peuvent comprendre l'obtention de résultats R. Des formulations F peuvent être demandées par le professeur à ses élèves, il s'agit pour eux d'explicitier à la fois leurs résultats s'ils existent et les procédures mises en œuvre pour les obtenir. La phase d'institutionnalisation I permet à l'enseignant d'explicitier le travail attendu des élèves.

Nous identifions également les plans de l'ETM idoine activés ([Sem-Ins], [Ins-Dis] ou encore [Sem-Dis]). Ils sont identifiés grâce à trois couleurs distinctes comme sur l'exemple utilisé dans notre poster. La lecture des chemins se réalise de gauche à droite, les événements se produisant chronologiquement. Sur la figure 1, les flèches indiquent une répartition du travail entre les groupes d'élèves et l'enseignant. Ainsi, sur cette figure, plusieurs groupes se sont mis en action dans des plans distincts de l'ETM ([Sem-Ins], [Ins-Dis] et [Sem-Dis]) puis l'enseignant a interagi au sein de chaque groupe, en procédant à une institutionnalisation sur l'usage du tableur (sans attendre de résultats). Il a relancé le travail grâce à une nouvelle dévolution d'une tâche en imposant un nouveau modèle sans justification. L'enseignante réalise une institutionnalisation finale sans interaction avec les travaux des élèves et basée sur le modèle binomial et la simulation dans un semi-plan.

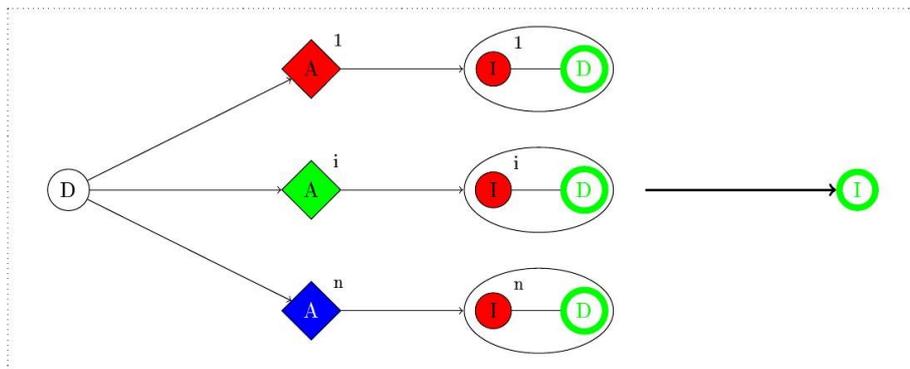


Fig. 1 : Chemin emprunté, ETM idoine effectif, Lucie

Notre poster inclut aussi la présentation de deux zooms sur des points cruciaux des chemins lorsque les élèves, travaillant en groupe, résolvent la tâche du jeu du lièvre et de la tortue.

Premiers résultats sur la caractérisation de deux contrats didactiques

Résultats

Notre étude met en évidence différents types de contrats fortement didactique ayant un lien avec les contrats proposés par Brousseau. Décrits grâce aux graphes colorés, ils présentent des patterns caractéristiques qui peuvent se répéter un certain nombre de fois. Les graphes, associés aux ETM idoines potentiels et ETM idoines effectifs des deux professeurs étudiés, sont mis en évidence sur le poster et montrent des différences importantes.

Lors de la résolution de la tâche, avant l'institutionnalisation finale, nous avons pu observer deux contrats fortement reliés au choix du modèle probabiliste privilégié dans la résolution du problème et à la part d'initiative laissée aux élèves.

Le premier **contrat** est un **contrat constructif monitoré** par un jeu de modèles : la diversité des modèles probabilistes initialement possibles est restreinte à un unique modèle traité avec le tableur. La distinction entre les processus et les résultats du travail dans l'ETM idoine permet de préciser le contrat établi chez Lucie, la première enseignante. Lucie, après avoir une action des groupes d'élèves, n'attend pas leurs résultats et modifie la tâche en insistant sur la dimension instrumentale. Elle dévolue alors une nouvelle tâche incorporant un autre modèle qui reste implicite.

Le second contrat, celui d'Emma, est un **contrat maïeutique multivoque** grâce à l'imposition par l'enseignant d'un modèle. Ce modèle est incorporé dans le fichier de simulation donné aux élèves sans être explicité. Des patterns répétés témoignent de contrôles réguliers de la part de l'enseignant qui cherche à maintenir une adéquation entre les itinéraires prévus et les chemins empruntés.

Les contrats didactiques peuvent évoluer dans l'ETM idoine en fonction des phases prévues dans les itinéraires. Ainsi, lors de la mise en place d'une preuve, les élèves ont soit exclus soit réduits à un rôle de tâcheron. L'institutionnalisation de la preuve met en évidence un contrat d'ostension.

Bibliographie

Brousseau, G., (1988). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 309–336.

- Brousseau, G. (1997). La théorie des situations didactiques. Le cours de Montréal 1997. <http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2011/06/MONTREAL-archives-GB1.pdf>.
- Kuzniak, A., & Nechache, A. (2016). Tâches emblématiques dans l'étude des ETM idoines et personnels : existence et usages. *Quinto Simposio Espacio de Trabajo Matemático-ETM5*. Florina, Grecia.
- Henriquez Rivas, C., Kuzniak, A., & Masselin, B. (2022). The idone or suitable MWS as an essential transition stage between personal and reference mathematical work. In A. Kuzniak, E. Montoya Delgadillo, E. & P.R. Richard (Eds.). *Mathematical Work in Educational Context: The Perspective of the Theory of Mathematical Working Spaces* (pp. 127–146). Springer.
- Kuzniak, A., Tanguay, D., & Elia, I. (2016). Mathematical Working Spaces in schooling: an introduction. *ZDM-Mathematics education*, 48(6), 721–737.
- Lewis, C. & Hurd, J. (2011). *Lesson study, Step by step, How teacher learning communities improve instruction*. Heinemann.
- Masselin, B. (2020) Dynamique du travail mathématique en classe entre un enseignant et des groupes d'élèves sur la simulation en probabilités : une étude de cas. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 25, 49–88.
- Masselin, B. & Hartmann, F. (2020) Un dispositif de formation inspiré des Lesson Studies dans l'académie de Rouen, *Repères-IREM*, 120, 43-61.

Problématisation de la circulation sanguine via l'histoire des sciences

Analyse de pratiques enseignantes guidant la problématisation des élèves

Résumé : S'appuyant sur les cadres de la problématisation et de la reconstruction didactique, cette recherche s'intéresse aux aides que les enseignants peuvent apporter à leurs élèves lors de la problématisation de la circulation sanguine. La double enquête didactique et historique a permis la conception d'outils pour la classe mais aussi pour l'enseignant. L'analyse d'une séance de cycle 4 montre que le développement de la culture didactique et épistémologique d'une enseignante par ces outils est une condition favorable à l'accompagnement de la problématisation des élèves.

Mots-clé : circulation sanguine, problématisation, histoire des sciences, reconstruction didactique

Contexte de la recherche

En cycle 4, la circulation sanguine comme une fonction nutritive systémique est complexe à comprendre pour les élèves et à enseigner pour les professeurs. Une étude préalable (Pelé, 2016) analysant des séances de problématisation de la circulation sanguine à partir d'une bande dessinée numérique intégrant des éléments historiques a montré des difficultés pour les enseignants à repérer les différents modèles explicatifs du trajet et des mouvements du sang chez les élèves comme dans l'histoire des sciences. Les échanges avec les enseignants ont révélé notamment un déficit de connaissances historiques et épistémologiques sur ce concept avec pour conséquence des problématisations peu abouties dans les classes.

Cadres mobilisés et questions de recherche

Le cadre théorique de la problématisation

La problématisation correspond à une mise en tension du savoir scientifique entre faits et modèles. (Fabre & Orange, 1997). À côté de ce premier dédoublement entre registre empirique et registre des modèles, Lhoste et Peterfalvi (2009) propose un second dédoublement entre contraintes et nécessités, la nécessité étant défini comme « un construit nouveau sur la base d'un raisonnement actuel, alors qu'une contrainte serait un déjà-là convoqué dans un tel raisonnement. » (p. 81). Des séances de problématisation questionnant le trajet et les mouvements du sang dans l'organisme devraient permettre aux élèves de construire un savoir raisonné en établissant des nécessités (Orange, 2005). Les obstacles sur la circulation sanguine sont bien documentés (Arnaudin & Mintzes, 1985; Lhoste, 2006; Pautal, 2012) dont celui majeur de l'irrigation qui est également retrouvé dans l'histoire du concept. Selon Crépin-Obert (2010), les obstacles des élèves peuvent être des leviers pour positionner et construire un problème. Les matériaux historiques pourraient être un support pertinent pour développer une problématisation de la circulation sanguine. Les pratiques enseignantes autour de la problématisation questionnent les aides que peut apporter le professeur pour permettre aux élèves de

définir et de construire un problème scientifique. Fabre & Musquer (2009) proposent de rechercher dans la pratique enseignante des inducteurs de problématisation qui correspondent aux éléments mobilisés dans la séance par l'enseignant pour aider les élèves à construire un problème. En complément, Crépin-Obert (2017) propose d'identifier les déterminants de problématisation c'est-à-dire les conditions qui ont permis à l'enseignant de développer ces aides. Inducteurs et déterminants de la problématisation ont un objectif commun : repérer ce qui permet aux élèves de développer leur raisonnement et de construire un problème scientifique.

Le cadre méthodologique de la reconstruction didactique

La reconstruction didactique correspond à la réalisation d'une séquence d'enseignement à partir de matériaux historiques explicites ayant pour but l'apprentissage d'un concept (de Hosson, 2011). La réalisation d'une double enquête est l'occasion d'une dialectique entre didactique et histoire des sciences. L'enquête didactique a pour but est de repérer et d'analyser les difficultés associées à l'apprentissage d'un concept. L'enquête historique analyse des textes historiques en regard de l'enquête didactique afin d'expliquer ces difficultés. Dans notre étude, ces deux enquêtes visent à comprendre les principaux obstacles épistémologiques inhérents au concept de circulation sanguine.

Questions de recherche et méthodologie associée

Notre problématique générale est de comprendre comment des enseignants peuvent aider leurs élèves à développer une problématisation de la circulation sanguine en utilisant des matériaux historiques. Elle se décline en deux questions de recherche. Quels éléments historiques peuvent être sélectionnés pour permettre une problématisation de la circulation sanguine par des élèves ? Comment ces éléments historiques sont-ils utilisés en classe par les enseignants pour aider les élèves à problématiser le trajet et les mouvements du sang ? Pour répondre à notre première question de recherche, la double enquête didactique et historique nous a conduit à concevoir un ensemble d'outils didactiques à destination des enseignants. Pour la seconde, nous avons observé, filmé et transcrit une séance utilisant ces outils et analysé les éléments chez l'enseignant qui ont fait levier à la problématisation des élèves à l'aide des modèles des inducteurs et des déterminants.

La conception d'outils didactique pour problématiser la circulation sanguine

Lors de l'enquête didactique et suite à notre étude précédente (Pelé, 2016), nous avons réalisé une nouvelle expérimentation avec une enseignante ayant participé à la première. Un entretien avec celle-ci a permis de préciser les attendus d'une problématisation scolaire, de donner quelques éléments sur l'histoire de la circulation sanguine ainsi que sur les obstacles des élèves. Des échanges langagiers plus importants entre élèves, la prise en compte de leurs modèles explicatifs et un travail autour de différents matériaux ont favorisé la construction du problème par les élèves (Pelé & Crépin-Obert, 2021). Ces résultats ont confirmé notre hypothèse de l'importance de développer la culture didactique et épistémologique des enseignants. Le problème du trajet et des mouvements du sang est interrogé dès l'Antiquité notamment par Galien (129-210) qui propose une double irrigation des organes depuis le foie et le cœur respectivement par les veines et les artères. Ce modèle fortement explicatif va s'imposer pendant de nombreux siècles. C'est au XVII^e siècle par un ensemble d'observations, d'expérimentations et de calculs que William Harvey (1519-1657) démontre l'existence d'une double circulation du sang. Cette remise en cause du modèle irrigateur est à l'époque l'objet d'une forte controverse entre les partisans d'Harvey, les circulateurs, et ses opposants, les irrigateurs, dont Jean Riolan (1577-1657). L'étude des textes de Harvey (1628) et de Riolan (1661; 1628) permet de

comprendre la controverse et le raisonnement d'Harvey pour surmonter l'obstacle irrigateur. Au terme de ces deux enquêtes, la reconstruction didactique a consisté à concevoir un ensemble d'outils pour l'enseignement de la circulation sanguine par problématisation. Trois de ces outils sont pensés pour développer la culture didactique et épistémologique des enseignants. Il s'agit d'une grille d'analyse des conceptions initiales des élèves sur la circulation sanguine, de repères historiques sur l'histoire du concept et d'une présentation des attendus d'une problématisation scolaire. Trois autres outils sont pensés pour la classe. Il s'agit d'extraits des ouvrages de Harvey et Riolan, de schémas des modèles irrigateurs et circulateurs et d'un dialogue fictif entre Harvey et Riolan.

Analyse de l'utilisation des outils conçus dans une classe de cycle 4

Une enseignante à qui nous avons présenté les différents outils a réalisée à partir de ceux-ci une séance en cycle 4. Elle a indiqué avoir utilisé tous les outils visant à développer la culture de sa discipline et a choisi de réaliser un débat autour des conceptions initiales de ses élèves et du dialogue fictif.

Analyse de la problématisation menée par la classe

Lors de la séance, après avoir présentée sous forme d'une frise l'évolution des idées sur le trajet du sang, l'enseignante invite les élèves à débattre à partir de quelques conceptions d'élèves choisies. Au bout de plusieurs minutes de débat où les élèves ont pu préciser leurs différents modèles explicatifs, l'enseignante les invite à réfléchir à trois problèmes identifiés à partir de leurs conceptions initiales. Pourquoi le sang ne pourrait-il pas aller du cœur vers les organes et être consommé par les organes ? Pourquoi le sang ne pourrait-il pas faire un aller-retour dans le même tuyau ? Si le sang arrive par un vaisseau et repart par un autre comment pourrait-il passer d'un vaisseau à l'autre ? C'est à partir de certaines parties du dialogue que les élèves ont recherché et discuté des arguments pour répondre à ces problèmes. À partir de l'enregistrement et la transcription de la séance, nous avons analysé la problématisation réalisée par la classe. Celle-ci se déroule à partir d'une contrainte théorique admise par la classe : les organes reçoivent du sang le dioxygène et les nutriments dont ils ont besoin. À partir de celle-ci et de plusieurs contraintes empiriques (comme la quantité de sang présent dans le corps, l'accumulation du sang au niveau des organes, des expériences de section de vaisseaux), les élèves établissent plusieurs nécessités : la nécessité d'un tri entre ce qui va dans l'organe et ce qui reste dans le sang, la nécessité d'un trajet unidirectionnel du sang dans les vaisseaux et la nécessité d'un retour du sang au cœur. Cette problématisation permet d'aboutir à la compréhension de la circulation suivante : le sang circule dans l'organisme à sens unique dans un système clos.

Analyse de l'accompagnement de la problématisation par l'enseignante

Le modèle des inducteurs de problématisation ont permis d'identifier les aides que l'enseignante a pu apporter à ses élèves. Sur le losange de la problématisation (Fabre & Musquer, 2009), nous avons positionnés les inducteurs relevés dans la séance. Certains étaient prévus en amont de la séance mais d'autres ont émergés lors des interactions langagières du débat. Deux inducteurs nous paraissent majeurs dans l'accompagnement de la problématisation des élèves. Tout d'abord, par le biais du dialogue, l'enseignante apporte une nouvelle donnée qui permet de comprendre le sens de circulation du sang dans les vaisseaux. Elle incite les élèves à la prendre en compte ce qui les conduit à rejeter le modèle aller-retour et à valider le modèle circulateur. Le second inducteur important est le tableau des arguments répondant aux trois problèmes car il permet de garder une trace des raisons établies pour valider ou rejeter tel ou tel modèle. À partir du modèle des déterminants (Crépin-Obert, 2017), nous avons recherché les éléments ayant favorisé le développement des inducteurs. Ce sont les connaissances épistémologiques de l'enseignante notamment la controverse entre irrigateur et

circulateur, sa connaissance des obstacles et des modèles explicatifs des élèves accompagnées d'une gestion bienveillante de la classe dans le cadre d'un débat ouvert sur une pluralité de solutions qui ont permis à l'enseignante de mieux guider les élèves en proposant des inducteurs pertinents ou en relevant ceux émergents dans la séance. Ce sont ces conditions qui ont permis de faire de ces inducteurs de véritables leviers à la problématisation et ont conduit les élèves à l'établissement des nécessités préalablement relevées.

Conclusion

Le développement des compétences de l'enseignante lui a permis d'aider les élèves à problématiser la circulation sanguine. Elle a indiqué lors des entretiens l'utilité des outils notamment ceux conçus pour développer sa culture disciplinaire. Ils lui ont donné des éléments de référence épistémologiques et didactiques lui permettant de mieux assumer la prise de risque vécue lors de la pratique de débat des élèves, élément indispensable à une véritable construction d'un problème scientifique.

Bibliographie

- Arnaudin, M. W., & Mintzes, J. J. (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system : A cross-age study. *Science Education*, 69(5), 721-733.
- Crépin-Obert, P. (2010). *Construction de problèmes et obstacles épistémologiques à propos du concept de fossile : Étude épistémologique comparative entre des situations de débat à l'école primaire et au collège et des controverses historiques du XVIIe au XIXe siècle*. (Thèse de doctorat). Université de Nantes.
- Crépin-Obert, P. (2017). Pratique de débat et problématisation en paléontologie. In M. Bächtold, J.-M. Boilevin, & B. Calmettes, *La pratique de l'enseignant en sciences : Comment l'analyser et la modéliser ?* (Presses universitaires de Louvain, p. 65-94.
- de Hosson, C. (2011). *L'histoire des sciences : Un laboratoire pour la recherche en didactique et l'enseignement de la physique*. (habilitation à diriger des recherches). Université Paris Diderot.
- Fabre, M., & Musquer, A. (2009). Les inducteurs de problématisation. *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ere nouvelle*, Vol. 42(3), 111-129.
- Fabre, M., & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24, 37-56.
- Harvey, W. (1628). *La circulation du sang : Des mouvements du cœur chez l'homme et chez les animaux*. Deux réponses à Riolan (C. Richet, Trad.). G. Masson.
- Lhoste, Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine en 3e : Problématisation, argumentation et conceptualisation dans un débat scientifique. *Aster*, 42, 79-1907.
- Lhoste, Y., & Peterfalvi, B. (2009). Problématisation et perspective curriculaire en SVT : L'exemple du concept de nutrition. *Aster*, 49, 79-108.
- Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, 40, 2-11.
- Pautal, É. (2012). *Enseigner et apprendre la circulation du sang : Analyse didactique des pratiques conjointes et identifications de certains de leurs déterminants : trois études de cas à l'école élémentaire*. (Thèse de doctorat). Université Toulouse le Mirail - Toulouse II.
- Pelé, M. (2016). *Problématisation autour de la circulation sanguine en classe de cinquième à partir d'une bande dessinée utilisant l'histoire des sciences*. (Mémoire de Master de Recherche). Université Paris Diderot.
- Pelé, M., & Crépin-Obert, P. (2021). Étude comparée de pratiques enseignantes favorisant la problématisation dans une classe de cinquième sur la circulation sanguine via l'histoire des sciences. In J.-M. Boilevin & A. Jameau, *Après les 10e rencontres scientifiques... Actualité des recherches en didactique des sciences et des technologies*. Éditions de l'ARDIST.
- Riolan, J. (1661). Manuel anatomique et pathologique, ou Abrégé de toute l'anatomie et des usages que l'on en peut tirer pour la guérison des maladies.
- Riolan, J. (1628). Les Œuvres anatomiques. P. Constant, Éd. D. Moreau.

La mesure et le mesurage en Biologie

Étude de travaux dirigés et pratiques en Licence

Résumé : La mesure – incluant l’acte de mesurage – est un point central en sciences. À la fois liée à des questions pratiques, techniques, épistémologique, mathématiques et à la discipline de travail, la mesure est un objet complexe à enseigner. Paradoxalement, elle fait rarement partie des objectifs explicites des enseignements scientifiques, notamment en Biologie en dehors des parcours formant spécifiquement des techniciens. Nous proposons une méthodologie afin d’explorer la question de l’enseignement de la mesure au cours du premier cycle universitaire en tenant compte à la fois des concepts de métrologie principalement enseignés en sciences physiques, et des particularités disciplinaires liées à l’étude du vivant et sa grande variabilité. Cette méthodologie sera mise à l’épreuve à travers l’analyse de supports de travaux dirigés et pratiques. Nous espérons ainsi pouvoir caractériser les aspects de la mesure sur lesquels les étudiants de biologie sont invités à travailler au cours de leur formation de licence.

Mots-clé : Mesure, Métrologie, Biologie, Enseignement supérieur

Contexte de la recherche

La science moderne répond au désir de connaissances objectives qui amène à la détermination d’invariants quantitatifs et mesurables qui pourront permettre de définir des lois, des théories sensées décrire le monde qui nous entoure. Liée au concept de rationalité développé par Bachelard, la mathématisation d’une science « renvoie à l’idée de quantification et de formalisation » (Lange, 2000, p.138) et implique la notion de mesure.

La mesure en Biologie

En biologie, la question de la diversité du vivant, liée aux différences entre organismes et aux variations au cours du temps et limitant la reproductibilité des expériences, impose des spécificités vis-à-vis de la mesure. Caussidier et Molinatti (2015) les séparent en deux : 1) la prise en compte de la notion de seuil et de la sélection du signal recherché ; 2) l’individualité des objets d’étude et la variabilité biologique interindividuelle. À travers une approche historique, Lange (2000) montre comment les biomathématiques, en particulier les biostatistiques, ont permis de gérer cette question des incertitudes associées à la variabilité du vivant. Ces incertitudes peuvent être interprétées comme les conséquences d’une variabilité analytique (prenant en compte les prélèvements de données et les techniques de mesurage) et/ou une variabilité biologique (intra- et inter- sujet) (Caussidier & Molinatti, 2015). Récemment plusieurs auteurs (Bordessoule, 2014; Coxon et al., 2019) traitent de la question de l’incertitude intrinsèque au travail des biologistes. Ils mettent en avant le besoin de se référer à la métrologie dans leur travaux de recherche. La métrologie est la science de la mesure c’est « un outils, une technique au service de toutes les sciences d’observation : elle permet de tirer le meilleur parti des observations » (Perdijon, 2012). Trois principaux axes structurent la métrologie : la définition des unités et d’étalons de référence, les outils de mesure, incluant l’instrumentation et les procédures associées permettant de certifier une « bonne » mesure, l’analyse des variations de mesures et leur interprétation en terme d’incertitudes (incluant les formes d’écritures des mesures) (Perdijon, 2012). Or si les concepts de la métrologie sont utilisés dans de nombreux domaines scientifiques, industriels ou commerciaux, leur prise en

compte dans les pratiques de recherche en biologie reste minoritaire, en témoignent un récent éditorial de *Nature Methods* (« Better Research through Metrology », 2018).

Cependant, la question de la mesure en biologie ne s'arrête pas aux biostatistiques et à l'application de métrologie. Lange (2000) souligne l'importance de la « question de la possibilité et de la signification de la mesure ». Cela revient à questionner la pertinence de la mesure mais aussi les aspects pratiques et théoriques de l'acte de mesure, le mesurage, jusqu'à l'adéquation de l'interprétation des mesures vis-à-vis du réseau théorique mobilisé par le questionnement scientifique initial. La question de la pertinence et la signification de la mesure est à la fois intimement liée à la nature de la discipline mais aussi à la théorie représentationnelle de la mesure qui distingue différents niveaux de mesures ou échelles de quantifications (*type of scales*) (Houle et al., 2011; Lange, 2000). Constatant que cette théorie de la mesure est peu connue des biologistes, Houle et al. (2011) décrivent l'importance d'identifier ces échelles et donnent des exemples d'erreurs d'analyse et d'interprétation de mesures en biologie évolutive associées à cette non-identification.

De son côté, Montévil (2019) aborde la mesure d'un point de vue plus épistémologique et associe la spécificité de l'individualité des objets d'étude et la variabilité biologique – et par conséquent les variations de leur traits observables, mesurables – à leur historicité et au contexte dans lequel ils sont¹ au moment de la mesure.

L'enseignement de la mesure en biologie

Alors que des études portant sur la question de l'enseignement de la mesure et du mesurage existent en physique pour différents niveaux d'apprentissage (Buffler et al., 2009; Maisch et al., 2008; Munier & Passelaigue, 2012; Séré, 2008), très peu d'études existent en biologie. Une analyse comparative du mesurage en TP à l'université a été menée en 1998 par Fondère, Pernot et Richard-Molard, sur des enseignements de physique, de chimie et de biologie comportant un travail spécifique sur la mesure. Elles découpent les pratiques de mesurage des étudiants selon 4 points :

- ce qui est mesuré : thème et types de données
- la manière de réaliser les mesures : types d'observations (visuelles ou au travers d'un signal) et savoir-faire technique
- la manière de gérer les mesures : erreurs, estimation des incertitudes, dispersion des données
- l'exploitation et l'interprétation des résultats.

Elles observent des spécificités liées aux disciplines et mettent en avant la place différente des lois et modèles vis-à-vis de l'objectif de mesure. Contrairement à la physique ou la chimie, en biologie, les modèles ou théories ne semblent être mobilisés qu'au moment de l'analyse des résultats. Les autrices insistent aussi sur l'importance d'un jugement sur la qualité des mesures en fin du processus qui pourrait être relié à la nécessité du choix à prendre engendré par un acte de mesurage.

Même si cette étude discute des incertitudes dans le mesurage, la question de la métrologie n'est pas amenée. Alors qu'en physique-chimie un travail spécifique autour de la méthode GUM existe dans les programmes de lycée (groupe IREM « Mesure et incertitudes », 2021), aucun document similaire n'existe pour les Sciences de la vie et de la Terre. Cette absence semble être partagée par de

¹ Chaque organisme est lié à la fois à son histoire (de vie et évolutive) et au contexte (environnement) dans lequel il vit.

nombreux programmes de formation du supérieur (licences mention Sciences de la vie ou Sciences de la vie et de la Terre).

Objectif de la recherche

Si la métrologie en tant que telle n'est pas enseignée dans les cours de biologie universitaire (hors parcours spécifiques formant des techniciens), la notion de mesure n'est pas absente de la formation des étudiants, puisqu'ils sont confrontés régulièrement à des analyses de données en travaux dirigés et ils sont amenés faire eux-même des mesures en travaux pratiques.

Nous proposons ici, une étude exploratoire des tâches proposées aux étudiants en licence de Biologie (mention Sciences de la vie) sur le thème de la mesure et du mesurage.

A travers cette étude, nous souhaitons, en nous appuyant sur les différents points de l'acte de mesurage décrit par Fondère et al. (1998), construire une grille d'analyse pour recenser les différents concepts et méthodes de métrologie présents et travaillés avec les étudiants.

Nous espérons ainsi pouvoir situer la place qu'occupe la métrologie en biologie et estimer la variété des situations et stratégies de mesurages dans ces enseignements.

Méthodologie :

Le recueil des données est en cours au sein d'une formation universitaire de licence « Sciences de la Vie », des documents décrivant différents travaux dirigés (L1, toutes sous-disciplines de biologie, environ 30 séances, avec corrigés) et travaux pratiques (L1, L2) (biologie moléculaire, cellulaire, histologie, biochimie, 6 à 10 séances). Ces documents pourront être accompagnés d'entretiens avec des enseignants de manière à obtenir plus d'informations sur leur pratique si cela est nécessaire.

Une première grille d'analyse a été construite à partir de travaux portant sur la mesure appliquée à la biologie (Fondère et al., 1998 ; Houle et al., 2011) et les grands axes de la métrologie (Perdijon, 2012). Elle est structurée en 5 catégories redivisées en critères :

Catégories	Exemple de critères associés
Les types de données et de mesurages	<i>Ordre de grandeur, estimation, grandeurs physiques, comptage</i>
Le mesurage	<i>Techniques et biais</i>
La gestion des résultats du mesurage	<i>Identification de la variabilité, incertitudes</i>
L'exploitation des résultats de mesurage	<i>Représentation graphiques, calculs secondaires</i>
L'interprétation	<i>Lien avec les hypothèse et modèles théoriques, retour sur les protocoles et l'acte de mesure</i>

Tableau 1 : Les cinq catégories de notre grille et quelques exemples de critères subdivisant ces catégories

Premiers résultats

Une analyse partielle, utilisant cette grille, montre que les TD contiennent différents types de données issues d'acte de mesurage (comptage, grandeur physique...) mais contiennent très peu d'éléments se rapportant à la réalisation et de la gestion de la mesure (notamment la variabilité et la reproductibilité des mesures). Lorsque nous identifions ces catégories, par exemple le critère portant

sur les techniques de mesures, il nous semble nécessaire d'y associer différents statuts vis-à-vis du savoir (informatif, descriptif ou enjeu d'apprentissage).

L'analyse d'un échantillon plus vaste de TD (ensemble du premier semestre de Licence (L1) permettra la mise à l'épreuve et d'affiner de notre grille d'analyse. Celle-ci sera ensuite utilisée pour recenser les différents concepts et méthodes de métrologie sur les 2 premières années de licence de biologie.

Conclusion

À travers l'analyse de ces documents, nous espérons pouvoir situer la place qu'occupe la métrologie et estimer la variété des situations et stratégies de mesurages dans les enseignements universitaires de biologie. À une échéance plus lointaine, ce travail pourrait aussi mener à un travail interdisciplinaire avec les enseignements de physique et chimie et de statistiques, de manière à décroiser ces disciplines sur le terrain.

Bibliographie

- Better research through metrology. (2018). *Nature Methods*, 15(6), 395-395.
<https://doi.org/10.1038/s41592-018-0035-x>
- Bordessoule, D. (2014). L'incertitude assumée et mesurée en biologie, un indicateur de qualité. *Hématologie*, 20(1), 50-52. <https://doi.org/10.1684/hma.2014.0915>
- Buffler, A., Lubben, F., & Ibrahim, B. (2009). The Relationship between Students' Views of the Nature of Science and their Views of the Nature of Scientific Measurement. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1137-1156.
<https://doi.org/10.1080/09500690802189807>
- Caussidier, C., & Molinatti, G. (2015). La mesure en biologie : Son rôle et ses incertitudes. *Projet IREM « l'Interdisciplinarité au Lycée »*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28265.70240>
- Coxon, C. H., Longstaff, C., & Burns, C. (2019). Applying the science of measurement to biology : Why bother? *PLOS Biology*, 17(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000338>
- Fondere, F., Pernot, C., & Richard-Molard, C. (1998). Analyse comparative de la gestion du mesurage en TP de DEUG à Orsay (biologie, chimie et physique). *Didaskalia*, 12.
<https://doi.org/10.4267/2042/23853>
- groupe IREM « Mesure et incertitudes ». (2021). *Mesure et incertitudes au lycée*. Eduscol.
- Houle, D., Pélabon, C., Wagner, G. P., & Hansen, T. F. (2011). Measurement and meaning in biology. *The Quarterly Review of Biology*, 86(1), 3-34. <https://doi.org/10.1086/658408>
- Lange, J.-M. (2000). Les relations biologie/mathématiques interrogent l'enseignement des sciences de la vie. *Aster*, 30. <https://doi.org/10.4267/2042/8744>
- Maisch, C., Ney, M., & Balacheff, N. (2008). Quelle est l'influence du contexte sur les raisonnements d'étudiants sur la mesure en physique ? *Aster*, 47.
<https://doi.org/10.4267/2042/28847>
- Montévil, M. (2019). Measurement in biology is methodized by theory. *Biology & Philosophy*, 34(3), 35. <https://doi.org/10.1007/s10539-019-9687-x>
- Munier, V., & Passelaigue, D. (2012). Réflexions sur l'articulation entre didactique et épistémologie dans le domaine des grandeurs et mesures dans l'enseignement primaire et secondaire. *Trema*, 38, 106-147. <https://doi.org/10.4000/trema.2840>
- Perdijon, J. (2012). *La mesure : Histoire, science et technique*. Vuibert.
- Séré, M.-G. (2008). La mesure dans l'enseignement des sciences physiques. Évolution au cours du temps. *Aster*, 47. <https://doi.org/10.4267/2042/28846>

Les vidéos en classe de mathématiques

Possibilités didactiques et limites

Résumé : Nous présentons dans cette communication une recherche qui vise à étudier d'une part, les motivations des enseignants de mathématiques à l'utilisation des vidéos dans leur enseignement et d'autre part les usages qu'ils en développent et l'évolution de ces usages au fil du temps. Nous illustrons nos analyses et résultats à travers quatre études de cas d'enseignants de collège.

Mots-clé : mathématiques, technologies, vidéos, usages, enseignants

Introduction

Le recours aux capsules vidéo fait partie intégrante de l'évolution des ressources pédagogiques disponibles à la fois aux élèves et aux enseignants, notamment ces dernières années avec le recours à des modalités d'enseignement à distance ou bien avant, lors de la diffusion des pratiques de classes inversées. Plusieurs recherches plébiscitent l'utilisation de ce type de ressources et mettent en avant sa participation à motiver les élèves et favoriser leurs apprentissages (Attenoukon, Karsenti, & Gervais, 2013 ; Desparois & Lambert, 2014). La question se pose cependant quant aux usages qu'en font les enseignants en classe et hors classe. Ainsi, Niess & Walker (2010) écrivent: «*Mathematics teachers must consider how they can adapt their teaching and incorporate these technologies [digital videos] to help students learn mathematics in ways similar to ways students learn and communicate outside the classroom.* » D'autres recherches s'intéressent à l'utilisation des vidéos et aux stratégies d'enseignement conçues dans le contexte de la classe inversée. Par exemple, Merrill (2002) a recours à différentes théories de *l'instructional design* pour élaborer un modèle dans lequel il attribue le rôle de « mini-cours » aux vidéos utilisées. Pour d'autres, l'accent est mis sur la comparaison entre le cours « classique » et le cours en modalité inversée. Par exemple, Paries, Pilorge et Robert (2017) abordent cette comparaison en zoomant sur les moments d'exposition de connaissances et ce que l'usage des vidéos permet ou non en termes d'inscription du discours de l'enseignant dans la zone proximale de développement des élèves.

Dans cette communication, nous présentons une étude « limitée » (effectuée dans le cadre d'un mémoire de master recherche) ayant deux objectifs. Le premier rejoint les recherches précédemment consultées en visant l'étude des différentes formes d'intégration des vidéos dans les pratiques des enseignants de mathématiques. Le second, nouveau, s'inscrit dans le long terme et vise à étudier les genèses d'usages ainsi que les déterminants de leurs évolutions sur une période d'une dizaine d'années.

Cadres théoriques

Notre travail se situe dans le cadre général de la Double Approche adaptée aux Technologies (DAaT). Ce cadre développé par Abboud (2013, 2014) est inscrit dans celui originel de la double approche didactique et ergonomique (Robert et Rogalski, 2002). D'une part, ce cadre nous permet d'étudier les pratiques des enseignants selon trois axes : cognitif, pragmatique et temporel, sous l'influence de trois déterminants : personnel, social et institutionnel (ibid). D'autre part, il nous permet de situer les genèses d'usages des vidéos que nous cherchons à étudier dans trois espaces (personnel-privé, professionnel-privé et professionnel-public) :

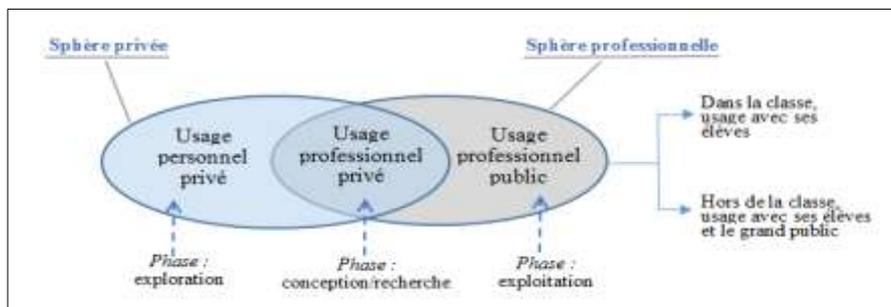


fig 1 : Les espaces d'usage des vidéos par les enseignants

Afin d'avoir accès aux motivations des enseignants à utiliser les vidéos dans ces trois espaces et d'avoir aussi des informations sur les déterminants de leurs pratiques, nous nous sommes basées sur un modèle élaboré par Ruthven et Hennessy (2002). Ce modèle vise à identifier les facteurs qui entrent en jeu lors de l'utilisation des technologies en classe et à mieux comprendre les potentialités et limites des environnements technologiques dans les apprentissages des élèves. Il caractérise le fonctionnement et l'articulation des attentes des enseignants vis-à-vis de leurs perceptions d'un usage réussi des outils et des ressources numériques dans la classe de mathématiques. Nous avons adapté les dix thèmes opérationnels du modèle à l'usage des vidéos non seulement *dans* le contexte de la classe mais aussi *hors classe*. Le tableau suivant fournit des exemples pour chaque thème :

	En classe	Hors classe
Potentialités d'usage des vidéos		
Améliore l'ambiance	Diversification des stratégies d'enseignement et d'apprentissage	L'élève est sécurisé. Il a « un écho » du travail de classe
Aide l'exploration	Exploitation des erreurs + autocorrection Favoriser le sens critique des élèves	L'élève fait une exploration libre (informel) ou un retour sur ses erreurs à son rythme
Facilite les tâches routinières	Elève plus autonome, il avance à son propre rythme	Accès facile et organisé aux ressources à tout moment et en tout lieu
Met l'accent sur les caractéristiques	Des explications et des exemples dynamiques, non-figés	
Actualisation des potentialités d'usage des vidéos		
Améliore la motivation	Appréciation d'usage positive de la part des élèves	
Allège les contraintes	Réduit l'hésitation lors de l'exécution des tâches + réduit les questions des élèves	Temps de révision réduit
Renforce l'attention	Les objectifs sont bien ciblés	
Attentes des enseignants		
Engagement intensifié	Augmente l'attention et la persistance des élèves	Le temps réduit de la capsule encourage son visionnage + aide parentale plus réduite
Activité plus efficace	Meilleure exploitation du temps du travail	Consulter les vidéos avant les évaluations
Acquisition des notions	Compréhension facilitée Consolidation des acquis	Consulter des vidéos liées à ses lacunes individuelles.

Tableau 1 : Exemples des thèmes opérationnels du modèle Ruthven & Hennessy en classe et hors classe.

Méthodologie

Quatre enseignants de mathématiques (Luc, Joe, Neil et Cynthia) dont l'ancienneté est entre dix et vingt ans et ayant des profils variés vis-à-vis de leur usage des vidéos ont participé à cette étude. Un questionnaire préliminaire nous a permis de construire leurs profils synthétiques. La crise sanitaire nous ayant empêché de faire des observations de classe, nous avons eu recours à un entretien semi-directif avec chacun d'eux en vue d'avoir des informations sur ses pratiques et sur leur évolution. L'analyse combinée des questionnaires et des entretiens ainsi qu'une analyse fine des vidéos qu'ils avaient conçus relativement à une même notion mathématique (la symétrie centrale) nous ont permis de mieux comprendre le degré d'implication de l'enseignant dans la conception et l'intégration des vidéos dans son enseignement. L'étude des vidéos, articulée aux modes de conception, nous a fourni des indices sur les stratégies d'enseignement possibles. Aborder la

question de différentes évolutions au niveau des usages, de conception et de contenus mathématiques en jeu nous a procuré des éléments relatifs aux genèses d'usage des vidéos.

Résultats

Nous avons sélectionné pour présenter dans ce texte quelques résultats saillants de notre étude. Ils illustrent en particulier la variété des usages sous l'influence de déterminants personnels et institutionnels et des contraintes spécifiques à l'avènement des vidéos dans le paysage éducatif.

Stratégies d'intégration des vidéos dans l'enseignement

Nous avons relevé que pour des enseignants ayant des profils différents et des motifs d'usage différents, les modes d'exploitation non-similaires des vidéos se traduisent par des mises en œuvre similaires en termes d'actualisation des potentialités. Par exemple, Luc et Joe ont des usages des vidéos différents en classe, mais identiques hors classe. Bien que leurs motifs d'usage et de conception des vidéos soient différents, ils attribuent des rôles similaires aux potentialités d'usage des vidéos ainsi qu'à leurs contributions aux apprentissages de leurs élèves. Alors que Cynthia a recours aux vidéos pour améliorer les conditions d'apprentissage de ses élèves et cela dans le but de réaliser son objectif ultime, en tant qu'enseignante, celui de « l'acquisition des connaissances ».

Contraintes et difficultés d'intégration des vidéos : des constats basés sur l'expérience

Nous avons identifié les limites d'usage des vidéos explicitées par les enseignants lorsqu'ils reviennent sur leurs expériences d'enseignement. Cynthia a eu recours aux vidéos lorsqu'elle est devenue pilote d'un projet tablette et contrainte d'en trouver un bon usage. Elle n'est pas satisfaite de la qualité des vidéos disponibles en ligne, mais est obligée d'y avoir recours par manque de temps pour en concevoir elle-même. Luc note qu'un usage à long terme d'une même ressource (vidéo) ou d'un même dispositif (classe inversée) n'est pas opportun et souligne aussi que la courte durée d'une vidéo réduit sa rigueur mathématique. Luc, Neil et Joe sont conscients que l'absence d'une stratégie propre à l'usage des vidéos, par l'enseignant et par l'élève, réduirait ses apports aux apprentissages.

Evolution d'usages des vidéos

Pour les quatre enseignants, les motifs d'usage des vidéos jouent un rôle prépondérant dans l'intégration qu'ils en font dans leur enseignement. Ceci donne lieu à des genèses d'usages variées dont les évolutions, groupées en trois phases, sont résumées dans le tableau suivant :

	Cynthia	Luc	Joe	Neil
Premier motif	Responsabilités institutionnelles	Ambition professionnelle	Réduire les difficultés individuelles de ses élèves	Accompagner les innovations pédagogiques
Public ciblé	Ses propres élèves	Tout élève/enseignant ayant accès à la vidéo via internet	Ses élèves et leurs parents	Les enseignants et les élèves en France
Phase 1	<ul style="list-style-type: none"> • Classe ordinaire • Filmer son travail • Site institutionnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Classe inversée • Conception de ses vidéos • Site personnel +YouTube 	<ul style="list-style-type: none"> • Classe ordinaire • Conception : vidéos sans son • Site personnel +YouTube 	<ul style="list-style-type: none"> • Classe inversée • Conception de ses vidéos • Site personnel +YouTube
Phase 2	Recherche de vidéos en ligne	Vidéos utilisées en classe ordinaire	<ul style="list-style-type: none"> • Vidéos avec son • Correction des évaluations 	Vidéos utilisées en classe ordinaire
Phase 3	Perspective de concevoir ses propres vidéos	Équipement nouveau pour faciliter la conception de ses vidéos	<ul style="list-style-type: none"> • Site innovatif + Instagram • Filmer le travail de ses élèves 	<ul style="list-style-type: none"> • Les élèves filment leur travail en classe • Ajout du QR code vidéo
Evolution observée	Evolution limitée restant dans un cadre d'usage restreint à sa propre classe	Evolution dans la structure de la vidéo et dans les stratégies de son intégration dans l'enseignement	Evolution en termes de multiplicité d'usage prévu/potentiel par les élèves et techniques de conception	Evolution en termes de stratégies d'intégration et dans les techniques de la conception.

Tableau 2 : Une synthèse des différentes formes d'évolution des usages pour les quatre enseignants

Pour conclure

Nous avons dans ce texte esquissé quelques résultats que nous développerons et illustrerons dans notre communication. D'une façon générale, cette étude nous a permis de reconnaître la vidéo comme outil technologique « malléable » s'adaptant facilement aux besoins de l'enseignement quels que soient les conditions et les facteurs qui interviennent dans son intégration. L'enseignant en prévoit une exploitation multiple, indépendamment de ses compétences techniques qui ne constituent qu'une valeur ajoutée à son développement et ses ambitions professionnels. Soulignons de plus que les genèses d'usages que nous avons identifiées vont dans le sens d'une appropriation d'abord spontanée puis évoluent vers une imbrication plus complexe avec les pratiques usuelles de l'enseignant pour tendre parfois vers un détournement des utilisations prévues en des usages innovateurs privés et publics.

Notre travail a cependant des limites certaines car les pratiques et usages que nous avons analysés sont, ceux « déclarés » et non effectifs, nous n'avons pas eu par conséquent accès à l'impact de ces pratiques sur les apprentissages des élèves. La suite de notre travail projette d'entrer dans les classes pour faire des observations fines sur l'intégration de vidéos à l'enseignement de notions mathématiques et sur les apprentissages disciplinaires qui en résultent (ou pas !).

Bibliographie

- Abboud-blanchard, M. (2013). *Les technologies dans l'enseignement des mathématiques. Etudes des pratiques et de la formation des enseignants. Synthèses et nouvelles perspectives*. Note de synthèse pour l'Habilitation à Diriger des Recherches. France : Université Paris Diderot.
- Abboud-Blanchard, M. (2014). Teachers and technologies: Shared constraints, common responses. In A. Clark-Wilson, O. Robutti & N. Sinclair (Eds.), *The Mathematics Teacher in the Digital Era: An International Perspective on Technology Focused on Professional Development* (p. 297-318). London: Springer.
- Allard C., Asius L., Bridoux S., Chappet-Paries M., Pilorge F., & Robert A. (2016). Quand le professeur de mathématiques est sur You Tube... *Cahier LDAR*, n°16, IREM Paris sud.
- Attenoukon, S., Karsenti, T., & Gervais, C. (2013). Impact des TIC sur la motivation et la réussite des étudiants. Enquête à l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire/International Journal of Technologies in Higher Education*, 10(2), 66-76.
- Desparois, A., & Lambert, C. (2014). *La vidéo au service des apprentissages : impact sur la motivation et la réussite des étudiants*. Collège André-Grasset
- Merrill, D. (2002). First Principles of Instruction. *ETR&D*, Vol. 50, n°3, 2002, pp. 43-59
- Niess, M. L. & Walker, J. M. (2010). Guest editorial: Digital videos as tools for learning mathematics. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 10(1), 100-105.
- Pariès, M., Pilorge, F., Robert, A. (2017). Moments d'exposition des connaissances et capsules vidéos pour classe inversée dans le secondaire. *Petit x 105*, 38-72.
- Robert, A. & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *La Revue Canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 2(4), 505-528.
- Ruthven, K. & Hennessy, S. (2002). A practitioner model of the use of computer-based tools and resources to support mathematics teaching and learning. *Educational Studies in Mathematics*, 49(1), 47-88.

Enseigner et apprendre la transformation chimique aujourd'hui

Etude comparée des programmes et ressources d'enseignement de deux institutions scolaires francophones

Résumé : cette contribution propose d'interroger le processus d'enseignement-apprentissage de la transformation chimique au moment où le concept est introduit (milieu du secondaire I) à travers une double approche didactique de la chimie/didactique comparée. L'étude des programmes et des ressources d'enseignement de deux contextes francophones (Suisse romande et France) montre qu'au-delà de l'enseignement strictement disciplinaire de la chimie, ce concept intervient dans d'autres disciplines scolaires pour soutenir le traitement de questions complexes, en particulier l'origine anthropique du réchauffement climatique.

Mots-clé : transformation chimique, cycle du carbone, programmes, ressources d'enseignement, enseignement des sciences

Introduction

Depuis le début du XX^{ème} siècle, les institutions prescriptrices demandent à l'École d'assurer deux fonctions : instruire et éduquer¹. L'objectif est d'apporter aux futur-es citoyen-nés les connaissances, les compétences et les attitudes nécessaires à l'autonomie de l'individu et au bon fonctionnement de la société. L'enseignement des sciences semble particulièrement contribuer à cette éducation et ne consiste plus seulement à former la relève scientifique, mais tend désormais à transmettre une « culture scientifique et technique » (CST) à chacun-e. Les savoirs enseignés en chimie, en particulier, sont à même de participer à l'acquisition d'une CST. Les produits et les techniques de la chimie industrielle ont des conséquences sur la société et l'environnement. Les savoirs de la chimie interviennent ainsi dans le débat public dès lors qu'il est question de problème environnementaux. C'est le cas, notamment, de la combustion des hydrocarbures qui produit du dioxyde de carbone gazeux, considéré comme un gaz à effet de serre. Pour les chimistes, une combustion est une *transformation chimique*. Modélisée par la *réaction chimique* elle permet de comprendre, interpréter et prédire les changements d'espèces chimiques (Kermen, 2018). C'est également un concept charnière dans l'enseignement de la chimie qui permet d'introduire des objets spécifiques :

¹ Voir notamment le programme Education 2030 de l'UNESCO (2016) https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656_fre et le Rapport Eurydice produit par la Commission européenne (2017) : https://eacea.ec.europa.eu/national-policies/eurydice/content/citizenship-education-school-europe-%E2%80%93-2017_en

molécules et atomes². L'enseignement et l'apprentissage de la transformation chimique font donc l'objet de recherches en didactique de la chimie depuis les années 1980 (citons en particulier le numéro thématique de la revue Aster en 1994). Selon Kermen (2018), le modèle la réaction chimique (modèle macroscopique) n'est pas suffisant pour comprendre comment les espèces chimiques réagissent entre elles pour en former de nouvelles (p.57). C'est un obstacle souvent rencontré par les élèves du début de secondaire, qui, n'ayant pas de modèle particulière à disposition, ne parviennent pas à identifier une transformation chimique sur la base d'une approche macroscopique (Johnson, 2000 ; 2002 cités par Kermen, 2018). Hmelo-Silver et Azevedo (2006) montrent également que la mise en relation de différents niveaux de modèle peut être un obstacle à la compréhension de systèmes complexes. Selon nous, l'introduction de la transformation chimique, mais surtout son interprétation microscopique, doivent faire l'objet d'une attention particulière. D'une part pour assurer l'assise d'un modèle moléculaire performant pour expliquer les phénomènes étudiés en classe de chimie, d'autre part dans la perspective de traiter des questions complexes (au sens de Morin) qui demandent une approche codisciplinaire. Or, il semblerait que peu d'études s'intéressent aux pratiques effectives d'enseignement-apprentissage de ce concept au secondaire I.

Pour mener notre étude, nous avons besoin d'un outil qui puisse saisir à la fois les spécificités des disciplines scientifiques scolaires, que nous savons très cloisonnées, mais aussi la dimension complexe qui leur est confiée.

Un outil de lecture et d'analyse

Dans les pays anglosaxons et scandinaves un changement de « vision » concernant la finalité des enseignements scientifiques s'est amorcé dès le début des années 2000. Roberts (2007) identifie dans les curricula le passage d'un *vision I*, qui privilégie l'étude des concepts et des méthodes, notamment l'investigation scientifique, dans la filiation des disciplines académiques, à une *vision II*, qui considère que l'étude des concepts et des méthodes scientifiques est seulement une partie de l'éducation scientifique que l'école doit donner aux citoyen·nes. Dans la *vision I*, la compréhension des rapports entre la science et les activités humaines doit découler de manière logique et naturelle de l'étude des concepts. Dans la *vision II*, en revanche la compréhension des rapports entre la science et les activités humaines fait l'objet de dispositifs d'enseignement explicites, en incorporant l'étude des concepts et méthodes dans l'analyse de situations complexes qui caractérisent les activités humaines.

Dans les grands enjeux confiés à l'enseignement scientifique en Suisse romande et en France, nous pouvons reconnaître des éléments de la *vision II* décrite par Roberts (2007). Nous considérons que ces catégories élaborées par Roberts dans le cadre de l'enseignement scientifique anglophone seront donc utiles à notre analyse. Par la suite, nous les nommerons : *vision I* ou « vision disciplinaire » ; *vision II* ou « vision complexe ».

² Nous la retrouvons au cycle 3 dans le domaine MSN 36 du PER en Suisse romande ; au cycle 4 du programme de Physique-chimie en France (élèves de 13-14 ans).

Questions de recherche

L'étude présentée dans cette proposition de communication est la première étape de notre projet de thèse³ qui s'intéresse au processus d'enseignement-apprentissage de la transformation chimique au moment où elle est introduite. Elle se place comme un préalable à l'observation de classes en France et en Suisse romande au secondaire I (transposition didactique interne). L'approche comparée de deux contextes institutionnels nous permet de caractériser précisément les processus d'enseignement-apprentissage en distinguant le générique (relatif au processus lui-même), de ce qui est spécifique du savoir concerné (Mercier, Schubauer-Leoni et Sensevy, 2002). Elle met également en relief des pratiques qui pourraient s'être naturalisées sous le poids des processus de transposition dans leurs institutions respectives (Marty et Ligozat, 2019, p.38). Dans cette étude, nous nous intéressons à la dimension externe de la transposition didactique (Chevallard, 1989/1991) et nous chercherons à comprendre :

- à quelle vision de la science (Roberts, 2007) est associée à la transformation chimique dans les prescriptions officielles ;
- comment les concepteurs de ressources d'enseignement interprètent cette vision et représentent le concept.

La transformation chimique dans les prescriptions officielles et les ressources d'enseignement en Suisse romande et en France

Pour mener notre analyse curriculaire, nous avons dans un premier temps cherché à comprendre comment le concept de transformation chimique est présenté dans le Plan d'étude romand (PER, pour la Suisse romande) et dans les programmes de cycle 4 (pour la France). Nous cherchions en particulier à identifier :

- dans quelle(s) discipline(s) scolaire(s) le concept s'inscrit ;
- quels enjeux d'apprentissage lui sont associés ;
- quelle vision de la science (au sens de Roberts, 2007) est ainsi promue.

Dans un deuxième temps, nous avons consulté un ensemble de ressources d'enseignement (un panel de manuels de cycle 4, pour la France, les Moyens d'enseignement romands (MER) pour la Suisse romande). Le choix des ressources, de différentes disciplines scolaires, a été guidé par les résultats de l'étude des prescriptions officielles. A nouveau, nous avons utilisé les deux visions de Roberts (2007) pour caractériser les enjeux d'apprentissages associés à la transformation chimique.

Analyse des prescriptions officielles

En Suisse romande, comme en France, la transformation chimique est introduite au secondaire I⁴, au sein de disciplines scolaires que l'on peut rapprocher de la discipline académique « chimie »⁵. Dans ces deux contextes, son introduction est l'occasion de présenter le modèle moléculaire (modèle particulière qui met en jeu les molécules et les atomes) et le principe de conservation (*vision disciplinaire*). De plus, les intentions générales des programmes des deux pays préconisent la collaboration des disciplines pour l'enseignement de ce concept. Notamment à travers des

³ Thèse en cotutelle internationale, Université de Genève et Université de Montpellier

⁴ Cycle 3 en Suisse romande, au cycle 4 en France (élèves de 13 à 15 ans).

⁵ Thème *Phénomène naturels et techniques du domaine* « Sciences de la Nature » en Suisse romande qui comprend également les savoirs relatifs à la biologie. Discipline « physique-chimie » en France.

questions complexes, abordées en biologie (en Suisse) et SVT (en France) : conséquences des activités humaines sur leur santé, l'être humain dans son environnement, l'exploitation des ressources fossiles et le climat (*vision complexe*). Notons qu'en Suisse romande ces deux dernières questions sont prises en charge par l'enseignant-e de géographie, responsable des savoirs relatifs à la discipline académique « géologie ».

Analyse des ressources à disposition des enseignant-es

Notre étude montre que l'enseignement de la transformation chimique est centré sur la transmission de savoirs disciplinaires dans ces deux contextes. Ainsi, les exercices proposés sont le plus souvent décontextualisés (par exemple écrire ou équilibrer une équation de réaction) et promeuvent une *vision disciplinaire* de la science. Nous retrouvons la *vision complexe* dans les ressources de biologie/géographie/SVT consultées. En effet le concept de transformation chimique est présent, de façon implicite, dès lors qu'il est question d'aborder le cycle du carbone (rencontré dans les manuels de SVT en France, dans les MER de biologie et géographie en Suisse romande). Ce système complexe permet de penser les conséquences des activités humaines sur l'environnement et semble favoriser l'entrée des élèves dans une *vision II* de la science (Roberts, 2007).

Conclusions et perspectives

L'ensemble de ces constats (que nous développerons dans la présentation affichée) met en évidence des tensions et nous amène à interroger les conditions d'enseignement-apprentissage de l'objet « transformation chimique » au moment où il est introduit. Alors que le concept de transformation chimique sert à comprendre les phénomènes naturels et techniques qui nous entourent, nous nous demandons comment cet objet est effectivement enseigné à l'école obligatoire de pays francophones et s'il peut participer à la transmission d'une CST. Au-delà de l'approche curriculaire que nous avons menée jusqu'alors, notre projet de thèse s'oriente vers l'étude des pratiques effectives d'enseignement-apprentissage de la transformation chimique dans les contextes français et suisse-romand.

Bibliographie

- Chevallard, Y. (1985/1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné* (3e éd.). La Pensée Sauvage éditions
- Hmelo-Silver, C. E. et Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 53-61
- Johnson, P. (2000). Children's understanding of substances, Part 1: recognizing chemical change. *International journal of science education*, 22(7), 719-737
- Johnson, P. (2002). Children's understanding of substances, Part 2: Explaining chemical change. *International Journal of Science Education*, 24(10), 1037-1054
- Kermen, I. (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée*. Presses universitaires de Rennes
- Marty, L. et Ligozat, F. (2019). Une lecture de l'enseignement des sciences physiques dans le plan d'études romand à la lumière d'une comparaison avec les programmes français. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, (24), 17-40

- Mercier, A., Schubauer-Leoni, M.-L. et Sensevy, G. (2002). Vers une didactique comparée. *Revue française de pédagogie*, 141, 5-16
- Morin, E. (1982). Science avec conscience. Fayard
- Rebaud, D. (1994). La réaction chimique. *Aster*, 18, 1-240
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell et N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp.729-780). Routledge.

Connexions entre Espaces de Travail, à la croisée des probabilités et de l'algorithmique

Résumé : A la croisée des probabilités et de l'algorithmique, nous menons un travail correspondant au processus de découverte de l'intervalle de fluctuation qui est analysé dans ses genèses sémiotique, discursive et instrumentale, au sein de différents domaines disciplinaires.

Mots-clés : algorithmique, espace de travail, simulation, fréquence, modélisation.

Introduction

En l'absence d'un référentiel théorique, une approche expérimentale de la notion d'intervalle de confiance, en seconde (grade 10), peut être « facilitée » par l'informatique. Nous exposons ici une situation dans le domaine des probabilités, associée à une tâche de nature géométrique. Des considérations d'ordre didactique guident notre réflexion pour le choix de la tâche et les analyses du travail mathématique et algorithmique en jeu.

Une tâche pour aborder l'approche fréquentiste

Un objectif

Nous appuyant sur une étude des fluctuations d'échantillonnage, nous pensons conduire à des prises de décisions statistiques. Nous commençons par une situation des fréquences, plus simple parce qu'elles ne mettent en jeu qu'un seul paramètre. Les probabilités et les statistiques constituent des domaines où des situations extra-mathématiques jouent un rôle fondamental pour introduire l'aléatoire (Laval, 2018). Une approche « fréquentiste » à travers des observations de fréquences relatives de caractères représentatifs de ces situations, favorise la compréhension de la notion de fréquence théorique d'un événement. Parzys (2009) observe aussi que l'introduction de l'intervalle de confiance au niveau de la 2nde se fait sans justification formelle. De plus, la simulation sur ordinateur de situations aléatoires est un moyen utile pour « obtenir des séries statistiques de taille suffisante pour observer la convergence des fréquences relatives et des moyennes statistiques » (Laval, 2018). Selon Laval, la simulation d'un phénomène aléatoire suppose l'utilisation d'une modélisation de la situation. En 2016, Nechache avait présenté un premier cycle de modélisation d'un modèle mathématique de type numérique. Tenant compte de l'apport des spécificités de l'algorithmique, nous complétons ce modèle pour obtenir des résultats numériques après avoir travaillé sur la conception et l'implémentation d'algorithmes de simulation dans un environnement numérique. Ainsi, nous nous intéressons à la construction par des enseignants stagiaires de tels modèles. Nous supposons que l'expérience réelle est simplifiée sous forme d'une expérience aléatoire permettant d'envisager un premier modèle probabiliste réel. Celui-ci est traduit en un modèle algorithmique associé à la simulation pour passer ensuite à un modèle probabiliste numérique. L'implémentation et l'exécution de l'algorithme de simulation donne des résultats numériques qu'interprète l'utilisateur. Ces résultats sont vus par rapport au modèle réel, puis interprétés en regard de l'expérience aléatoire. L'expérience aléatoire peut être ajustée suivant l'information véhiculée à

l'expérience réelle. Un nouveau modèle réel peut être envisagé pour affiner la compréhension de l'expérience réelle, correspondant ainsi à un nouveau cycle. Suite aux observations de Lagrange et Laval (2019) sur les connexions entre espaces de travail, nous supposons que l'introduction de l'algorithmique et d'un environnement numérique dans le cycle de modélisation laisse de la dévolution à l'apprenant n'ayant pas des connaissances théoriques suffisantes dans la construction d'un modèle probabiliste de type numérique (Nechache, 2016). Nous souhaitons aborder cette problématique spécifique de réalisation d'algorithmes de simulation qui, une fois implémentés dans un environnement numérique, est conjointe à une exploitation probabiliste des résultats obtenus. Nous formulons l'hypothèse que les connexions entre modèles algorithmique et probabiliste final simulant la fluctuation d'échantillonnage sont élaborées dans de meilleures conditions si on les soumet à plusieurs cycles de modélisation, dont nous cherchons à déduire la nature.

Vers le choix d'une tâche et son expérimentation avec les premières analyses

Le processus de découverte de l'intervalle de fluctuation reste au niveau seconde, expérimental et basé sur l'observation d'échantillons qui ont la même taille. Chaque valeur de fréquence correspond à un échantillon obtenu lui-même en répétant l'expérience aléatoire considérée. Il s'agit d'une approche empirique basée sur un raisonnement inductif. De plus, le « coût en temps » correspondant à la nécessité de répéter la même expérience un grand nombre de fois entraîne un besoin d'automatisation. Cette idée est « facilitée » par l'utilisation d'un calcul basé sur une opération de générateur pseudo-aléatoire. Par ailleurs, l'approche fréquentiste peut nécessiter de considérer plusieurs domaines, tant mathématiques qu'informatiques. En effet, un environnement numérique associé à l'implémentation d'un algorithme permet de réduire le temps passé à répéter l'expérience aléatoire. Cependant, des compétences spécifiques sont nécessaires au domaine algorithmique : connaissance des variables informatiques, des structures de boucles, syntaxe du langage machine, interface utilisateur, etc. Le manque d'expertise en informatique peut entraîner des difficultés supplémentaires pour les apprenants. L'utilisation du champ numérique permet d'automatiser un protocole expérimental qui nécessite l'utilisation de gestes, d'une syntaxe et des modes de pensée spécifiques. Le choix de s'intéresser aux algorithmes permet de mieux étudier les genèses instrumentales, sémiotiques et discursives qui sont impliquées lors des travaux mathématiques et algorithmique sur les fluctuations d'échantillonnage. Nous pensons que l'écriture d'algorithmes de simulation correspond à une étape de formalisation plus élevée pour les différents protocoles statistiques impliqués, et que le rôle du « langage » prend une importance particulière dans ce sens. Cinq groupes de trois enseignants du lycée français d'Alger doivent résoudre le problème suivant :

Quelle est la probabilité que la distance entre deux points choisis au hasard le long d'un S-segment de droite, soit supérieure à la moitié de la longueur du S-segment ?

Nous supposons que les enseignants vont proposer un modèle algorithmique de simulation numérisée avec la mise en place d'un générateur pseudo-aléatoire de type ALEA(), retournant un nombre aléatoire entre 0 et 1 simulant la position d'un point choisi au hasard sur le S-segment. Le travail de modélisation, mettant en évidence les fluctuations d'échantillonnage, trouve ainsi son expression formalisée, à travers un algorithme de simulation. L'expérience aléatoire fournissant la distance entre deux points sélectionnés est simulée par le calcul $ABS(ALEA() - ALEA())$. Nous considérons une telle instruction de calcul comme un algorithme de niveau A0. Il est appelé à chaque simulation de l'expérience aléatoire. Pour une plus grande automatisation, un deuxième algorithme, de niveau A1 (Figure 1), est construit à partir de l'algorithme précédent où nous avons une répétition automatisée par la machine de l'expérience aléatoire pour obtenir directement une fréquence de réussite simulée.

Une troisième étape est envisagée avec la construction et l'implémentation en machine d'un algorithme de niveau A2 (Figure 1) permettant l'automatisation de l'agencement du nuage de points de la liste des fréquences. Nous observons que les groupes parviennent plus ou moins facilement à réaliser un modèle algorithmique pour la simulation d'un calcul de fréquence. Le passage du niveau A1 au niveau A2 correspond à une étape délicate, en particulier une écriture algorithmique d'un *protocole statistique* qui consiste à exploiter les résultats fournis par l'algorithme de niveau A1. Nous supposons qu'il s'agit d'un obstacle épistémologique lié à l'encapsulation d'un algorithme dans un autre, au sens de sous-programme, afin d'automatiser l'exécution du premier. D'autres difficultés aux connexions des champs des statistiques et de l'algorithmique sont identifiées au cours de la formation, comme l'introduction d'un compteur dans l'algorithme de niveau A1. Les observations montrent l'importance des connexions entre différents domaines : probabilités et statistiques, mais aussi algorithmique, lors de l'introduction d'une approche fréquentiste de l'intervalle de fluctuation.

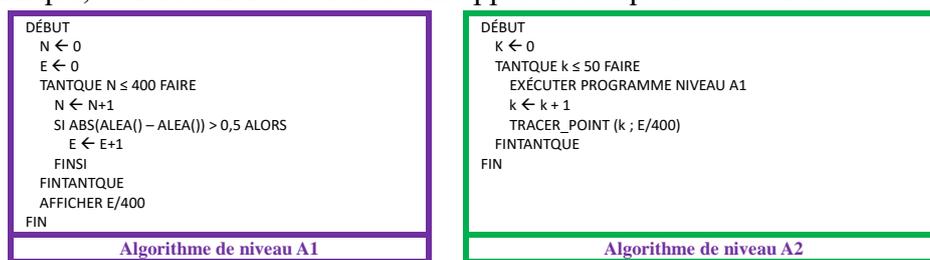


fig. 1 : Algorithmes de niveaux respectifs A1 et A2, écrits en langage pseudo-code

Le choix d'un cadre théorique et la question de recherche

Les articulations, entre les *Espaces de Travail Mathématique Spécifique* (ETM_s) (Kuzniak & Richard, 2014) et les *Espaces de Travail Algorithmique* (ETA) (Laval, 2018), permettent d'étudier les différentes genèses des représentations et des processus, du point de vue des ETM_s et ETA idoines des apprenants, mais aussi d'aborder les interactions entre les probabilités/statistiques et l'algorithmique. Par ailleurs, des travaux de recherche récents, réalisés dans divers champs mathématiques et informatique sur les modèles des ETM_s/ETA, permettent de prendre conscience des connexions entre les *Espaces de Travail* (Laval (2018), Lagrange & Laval (2019)). La question de recherche est de savoir comment ce cadre permet d'analyser le travail d'un apprenant impliquant une activité algorithmique et de programmation dans une approche fréquentiste de l'intervalle de fluctuation.

Un cadre théorique – Les premières analyses

Les Espaces de Travaux de référence

Dans la continuité des travaux de Laval (2018, 2021), nous voyons l'algorithmique comme une discipline à part entière qui peut être en interaction avec des ETM_s, d'où la nécessité de construire et de justifier l'existence d'un ETA comme *Espace de Travail* à part entière. Par ailleurs, afin d'étudier plus finement le travail des stagiaires dans des champs mathématiques et dans un domaine non nécessairement mathématique, nous nous référons aux *Espaces de Travail Connectés* (ETC) (Lagrange & Laval, 2019), « en tenant toujours compte de manière exhaustive des dimensions [genèses] sémiotique, discursive et instrumentale » (Laval, 2021).

Les Espaces de Travail (ETM et ETA)

Selon Kuzniak & Richard (2014), le travail dans un ETM se fait autour de 3 genèses : *Sémiotique*, avec utilisation de symboles, de graphismes, d'objets concrets compris comme des signes ;

Instrumental, avec des constructions faites à partir d'artefacts : tableaux, graphes, arbres, etc. ; *Discursif*, où se situe les aspects de preuve dans un référentiel théorique. Ces genèses génèrent chacune une relation dynamique entre plans épistémologique et cognitif. Les outils technologiques, sémiotiques et théoriques du plan épistémologique sont exploités à l'aide de schémas appropriés. On se réfère respectivement à des genèses instrumentale, sémiotique et discursive, produisant respectivement des construits, des visualisations et des preuves dans le plan cognitif. L'activation de deux genèses entraîne une circulation entre les genèses qui les portent. Cela est assimilé à une idée de modélisation (Laval, 2018). Nous nommons « projection » des ETM/ETA (Trunkenwald & Laval, 2019) la restriction à un champ spécifique analysée dans l'ETM/ETA considéré.

Les premières analyses : cas des algorithmes A0, A1 et A2 écrits en pseudo-code

Dans le poster, trois niveaux de représentations illustrent le schéma éclaté (vue de dessus des ETM_s et ETA) correspondant aux conceptions et exécutions de chaque niveau des algorithmes.

Conclusion

Les 3 niveaux algorithmiques permettent une construction par encapsulations successives de l'algorithme de simulation et entrent en résonance avec les phases expérimentales du protocole statistique. Cette congruence sémantique trouve son expression dans un certain aspect du travail. Mettant en évidence la dialectique des cycles des connexions évolutives entre les 3 domaines étudiés, notre analyse peut être utilisée pour construire une activité en 2^{nde}. L'objectif est d'éviter de confronter l'élève aux difficultés simultanées dans les différents domaines concernés.

Bibliographie

- Kuzniak, A., & Richard, P. (2014). Spaces for mathematical work: Viewpoints and perspectives. *Relime*, 17(4.1), 17–26.
- Lagrange, J.-B. & Laval, D. (2019) Connected Working Spaces: the case of computer programming in mathematics education. *Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*. Utrecht, Netherlands. [\(hal-02418181\)](#)
- Laval, D. (2018). L'algorithmique au lycée entre développement de savoirs spécifiques et usage dans différents domaines mathématiques. Thèse de Doctorat. Université Sorbonne Paris Cité.
- Laval, D. (2021). Les Espaces de Travail Mathématique et Algorithmique connectés. Étude d'une activité algorithmique comme objet d'apprentissage de savoirs spécifiques et d'usage : Cas d'une ingénierie « dichotomie continue ». In A. Chesnais, H. Sabra (Eds.), *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques 2020* (p.88-114). IREM de Paris - Université de Paris.
- Nechache, A. (2016). La validation dans l'enseignement des probabilités au niveau secondaire. Thèse de doctorat. Université Denis Diderot Paris 7.
- Parzys, B. (2009). Des expériences au modèle, via la simulation. In *Repères-IREM*, (74), 91–103.
- Trunkenwald, J. & Laval, D. (2019). Algorithms as a discovery process in frequentist approach to prediction interval. *Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME11)*, Utrecht, Netherlands. [\(hal-02412851\)](#)

La Géométrie des Éclipses

Modélisation d'une éclipse solaire

Élizabeth Montoya Delgadillo

Résumé : Au cours de la dernière décennie, au Chili, l'incorporation de problèmes de modélisation mathématique a été fortement encouragée pour l'enseignement des mathématiques et, plus récemment, pour l'enseignement interdisciplinaire. Cependant, les enseignants n'ont pas toujours les outils et une conception claire de ce qu'est un problème de modélisation, des différentes perspectives de la modélisation mathématique dans l'enseignement et de ses implications. Dans cette présentation, nous montrerons le phénomène de l'éclipse solaire et lunaire et comment, dans le cadre de simulations, les élèves (niveau lycée et enseignants stagiaires) parviennent à comprendre les phénomènes astronomiques et les mathématiques qui peuvent être apprises.

Mots-clés : simulation, modélisation mathématique, éclipses, astronomie

Chapitre 5

Ateliers

Validité d'évaluations externes en mathématiques et en sciences

Quelle(s) méthodologie(s) ? Pour quels résultats ?

Nadine Grapin, Brigitte Grugeon-Allys et Myriam Regent-Kloeckner

Résumé : cet atelier vise à partager avec les participants les résultats de nos travaux antérieurs sur une méthodologie d'analyse de la validité des évaluations externes en mathématiques avec une approche didactique. Il vise aussi à réfléchir avec eux aux questions que pose le transfert d'une telle méthodologie à une évaluation en sciences (physique, chimie, SVT).

Mots-clés : évaluation, validité didactique, mathématiques, sciences, transition lycée-supérieur

Introduction

L'évaluation des apprentissages scientifiques des élèves est une des thématiques de recherche émergentes au LDAR ; une partie des travaux menés jusqu'à présent sur ce thème en mathématiques porte ainsi sur le développement et l'exploitation d'une méthodologie reposant sur une approche didactique pour analyser la validité des évaluations externes, c'est-à-dire non conçues par l'enseignant pour sa classe, à plus ou moins grande échelle, dans le primaire et le secondaire (Grapin & Grugeon-Allys, 2018). Le domaine investi jusqu'à présent au LDAR, en lien avec cette méthodologie est celui des mathématiques, même si des analyses d'évaluations externes à grande échelle ont été menées dans d'autres disciplines (par exemple Bodin & al., 2016). Nous avons souhaité étudier les questions que soulevait le transfert de cette méthodologie dans le cas d'évaluations proposées dans d'autres disciplines scientifiques (physique, chimie, biologie). Pour cette recherche, qui en est à ses débuts, nous nous sommes appuyées sur un test de positionnement à l'entrée à l'Université pour des étudiants de première année de Licence de « Sciences de la Vie ».

Nous avons choisi de rédiger ces actes en suivant le plan de l'atelier, à savoir : présenter globalement le test (ses enjeux, sa conception, son contenu, le contexte de passation, etc.), introduire les questions de validité à partir d'exemples d'exercices en mathématiques issus de ce test, décrire notre méthodologie et présenter quelques résultats, puis étudier la question de son transfert sur des exemples d'exercices extraits du test en sciences (physique, chimie, biologie). Nous concluons par une synthèse du contenu des échanges avec les participants lors de l'atelier et par des perspectives de recherche, en particulier sur des questions épistémologiques, didactiques et méthodologiques que pose un tel transfert.

Contexte

Dans cette partie, nous présentons le test puis nous introduisons notre question de recherche à partir de premiers exercices de mathématiques issus du test.

La conception et la passation du test de positionnement

Ce test de positionnement a été réalisé pour répondre à une demande institutionnelle pour favoriser la réussite en L1 et les réorientations potentielles ; le but est d'informer les étudiants sur le décalage éventuel entre leurs savoirs dans les disciplines mathématiques, physique, chimie et biologie et ceux attendus à l'entrée à l'université. Le questionnaire (sur Moodle), a été conçu en 2018 par les équipes pédagogiques de L1, à partir de questionnaires existants (Unisciel, Grenoble) ou de questions créées par les enseignants-chercheurs dont aucun n'a de formation en didactique. Les questions choisies ciblent les acquis de lycée (section générale scientifique, programme 2012-2020) et sont considérées comme des pré-requis pour la formation. Elles sont organisées en 5 tests indépendants disciplinaires (mathématiques, physique, chimie, biologie, logique) de 8 à 18 questions. Au sein de chaque test, les questions sont regroupées en sous-thématiques et tirées au sort au sein de ces regroupements. Un total de 70 questions, majoritairement des questions à choix multiple (QCM) ou unique (QCU), sont posées à chaque étudiant parmi environ 550 questions possibles.

La série de 5 tests est proposée aux étudiants arrivant à l'université, en première année de licence de « Sciences de la Vie » au cours de la semaine de rentrée. Les tests sont réalisés en distanciel, en temps non limité (rentrées 2018 à 2020). Les étudiants reçoivent ensuite un feedback général après chaque test en fonction de leur taux de réussite aux questions et ils ont accès à la correction avec parfois des indications, conseils, explications (selon les questions et les principales solutions erronées que l'on cherche à repérer).

Exemples d'exercices en mathématiques

Quatre exercices (dont ceux du tableau 1) relevant du domaine algébrique ont été extraits du test et proposés aux participants avec pour consigne de les résoudre individuellement, d'expliquer aux autres sa façon de procéder et d'en anticiper d'autres méthodes de résolution.

<p>Exercice 1 L'expression $a^2+1+2a - (a+1)(a^2-1)$ se factorise ou se développe en : Veuillez choisir au moins une réponse :</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> $(a+1)^2(1-a)$<input type="checkbox"/> a^3+2a^2+a<input type="checkbox"/> $3a+2-a^3$<input type="checkbox"/> $-(a+1)^2(a-2)$	<p>Exercice 2 Si x est un réel, alors : Veuillez choisir au moins une réponse :</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> $\sqrt{x^2}=x$<input type="checkbox"/> $\sqrt{x^2}=x$<input type="checkbox"/> $\sqrt{x^2}=-x$<input type="checkbox"/> l'inéquation $x < x^2$ est toujours vraie<input type="checkbox"/> si x est aussi non nul, l'inéquation $> \frac{1}{x}$ est toujours vraie<input type="checkbox"/> l'inéquation $x < 2x$ est toujours vraie
---	--

Tableau 1 : Exercices de mathématiques extraits du test et proposés aux participants

Une analyse rapide nous amène à constater que pour l'exercice 1, les bonnes réponses peuvent être trouvées en éliminant les distracteurs, sans mobiliser les savoirs qui étaient *a priori* évalués (structure d'une expression, propriété de distributivité pour les types de tâches « développer et factoriser une expression algébrique ») comme explicité dans le paragraphe *Problématique* en lien avec une analyse praxéologique. Ainsi, en remplaçant a par 0 dans l'expression initiale, les distracteurs 1 et 2 peuvent être écartés ; si l'élève coche ensuite les deux autres réponses, sa réponse est correcte alors qu'il n'a peut-être ni développé ni factorisé et que son raisonnement est peut-être incorrect (le test sur une valeur numérique ne permettant pas de retenir les deux bonnes réponses, une preuve générale étant

nécessaire). D'autres techniques sont également envisageables : écarter les deux premiers distracteurs en cherchant la valeur de la constante à partir d'un développement partiel des expressions ou encore écarter le 2^{ème} distracteur en étudiant uniquement le signe du coefficient de a^3 . Il est également possible de déterminer les techniques erronées qui conduiraient au 1^{er} distracteur (oubli d'un facteur 1 lors de la factorisation) et au 2^{ème} (pas de prise en compte de l'opposé de la deuxième partie de l'expression initiale lors du développement).

L'exercice 2 a permis de montrer la pluralité des objets qui pouvaient être évalués dans un même exercice avec la difficulté de déterminer ce qui était finalement évalué. Dans les deux cas, la question du codage et du calcul du score a été abordée : les exercices sont codés comme des QCM bien que l'exercice 2 est à réponse unique. Les points sont répartis entre les bonnes réponses et les erreurs sont pénalisées (de façon variable selon les erreurs pour l'exercice 2).

La synthèse réalisée à partir des propositions des participants a permis de soulever la question de la validité d'une tâche d'évaluation, à savoir « est-ce qu'elle évalue bien ce que l'on souhaite évaluer ? » et ainsi à introduire la façon dont nous la considérons dans une approche didactique.

Problématique

La méthodologie, que nous présentons succinctement ici, repose sur une analyse épistémologique des savoirs en jeu dans l'évaluation et est réalisée dans un cadre anthropologique et cognitif (Grapin & Grugeon-Allys, 2018). La définition d'une praxéologie de référence (Chevallard, 1999 ; Bosch & Gascon, 2005) permet en situation d'évaluation de mettre en perspective les praxéologies développées par les élèves avec celles à enseigner et enseignées. Ainsi, pour une tâche d'évaluation donnée relevant d'un certain type de tâche, il est possible de décrire *a priori* les techniques possibles, les éléments technologico-théoriques qui justifient ces techniques ainsi que la complexité de la tâche.

La méthodologie d'analyse se décompose en deux étapes correspondant à la conception et sélection des tâches (1) puis à l'analyse des résultats (2). Pour chaque étape, une analyse est menée tâche par tâche (niveau local) et sur l'ensemble du test (niveau global) au regard de la praxéologie de référence. Lors de l'étape 1 de sélection des tâches, les concepteurs pourront par exemple s'assurer d'avoir une couverture du domaine, une certaine hiérarchie sur les techniques ainsi que des niveaux de complexité variés ; ce classement des exercices selon les praxéologies évaluées au regard des notions du domaine (type de tâches, technique, raisonnement les justifiant) et selon leur complexité pourront ainsi être mis en perspective avec les scores de réussite après la passation de l'évaluation (étape 2).

Sur les exercices du test relevant du domaine algébrique, nous avons pu par exemple observer que les distracteurs étaient conçus pour repérer l'utilisation de techniques erronées mais que bien souvent, des techniques différentes pouvaient permettre de résoudre l'exercice et que par conséquent, il était difficile de déterminer les savoirs mis en jeu par l'élève. Au niveau global, la couverture du domaine algébrique n'est pas assurée et des exercices apparaissent comme redondants.

Cette méthodologie a montré son intérêt pour l'étude et la conception des évaluations CEDRE en fin d'école et en fin de collège (Grapin & Grugeon-Allys, 2018) et son transfert en géométrie a permis la conception de parcours d'apprentissage au collège (Jolivet & al., 2021) ; pour la recherche en cours, elle permet également d'interroger la validité de certains exercices dans le domaine algébrique.

Nous pouvons alors supposer que les deux étapes et les deux niveaux qui structurent la méthodologie ainsi que certains éléments généraux d'analyse, notamment l'analyse *a priori* des tâches, sont transférables à d'autres disciplines. Afin de mieux cerner les questions qui apparaissent lors de ce

transfert, nous avons proposé lors de l'atelier, d'étudier des exercices issus du test dans d'autres disciplines scientifiques. Une analyse *a priori*, conduisant à lister les différentes techniques de résolution et les savoirs que les élèves doivent mobiliser pour donner la réponse devrait ainsi permettre de déterminer si l'exercice est en adéquation avec l'objectif d'évaluation qui lui est assigné. Ces exemples nous conduiront ensuite, dans la partie discussion, à cerner les questions d'ordre didactique et méthodologique que pose le transfert de la méthodologie.

Transfert de la méthodologie en sciences

Comme pour les mathématiques, nous avons extrait du test 4 exercices de physique, 4 de chimie et 3 de biologie (dont certains sont repris dans les tableaux 2 et 3 ci-après). Il a été demandé aux participants de résoudre ces exercices et de noter leur procédure.

En physique – chimie

<p>Exercice 1 (physique) Le changement d'un état d'un corps pur se caractérise par : Veuillez choisir au moins une réponse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> une température constante, un volume constant et une masse constante <input type="checkbox"/> une température constante, une masse constante et un volume différent <input type="checkbox"/> une température constante, un volume constant et une masse différente <input type="checkbox"/> une température constante, un volume différent et une masse différente 	<p>Exercice 2 (chimie) Lorsque l'on dilue une solution, Veuillez choisir au moins une réponse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> la masse se conserve <input type="checkbox"/> la concentration se conserve <input type="checkbox"/> la quantité de matière se conserve <input type="checkbox"/> rien ne se conserve
--	--

Tableau 2 : Exercices de physique et de chimie extraits du test et proposés aux participants

Dans les deux cas, la bonne réponse peut être donnée directement si l'étudiant dispose de ce savoir. Si ce n'est pas le cas, nous avons pu observer avec les participants que l'étudiant pouvait imaginer une situation connue ou vécue et supposer qu'elle est représentative du cas général évoqué dans la question. Par exemple, pour l'exercice 1, l'étudiant peut prendre l'eau pour exemple et imaginer ce qui se passe lorsqu'il place une bouteille d'eau fermée au réfrigérateur. Ainsi, selon la stratégie mise en œuvre, les savoirs mobilisés ne sont pas les mêmes que ceux attendus, ce qui questionne la validité de ces deux exercices.

En biologie

<p>Exercice 1 Les lipides Veuillez choisir au moins une réponse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> est le nom donné aux corps gras <input type="checkbox"/> sont absents chez les végétaux <input type="checkbox"/> sont fortement présents dans la membrane des cellules <input type="checkbox"/> ne se retrouvent que dans les organes dits de réserve 	<p>Exercice 2 La matière vivante est constituée Veuillez choisir au moins une réponse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> d'éléments chimiques présents dans le monde inerte, tous en proportion équivalente <input type="checkbox"/> d'éléments chimiques présents dans le monde inerte, mais dans des proportions variables <input type="checkbox"/> uniquement de C, H, O et N <input type="checkbox"/> de C, H, O et N en majorité et d'autres éléments en faible quantité
--	---

Tableau 3 : Exercices de biologie extraits du test et proposés aux participants

Dans les deux cas, les bonnes réponses peuvent être données directement si l'étudiant dispose des savoirs faisant appel aux définitions des catégories biochimiques et/ou aux propriétés chimiques des

êtres vivants. Si dans l'exercice 2, les réponses s'excluent mutuellement deux à deux, ce n'est que partiellement le cas dans l'exercice 1 : puisque les lipides sont fortement présents dans la membrane des cellules (vrai pour toutes les cellules), alors cela implique qu'ils sont présents chez les végétaux (constitués de cellules) et dans tous les organes (structures organisant les êtres vivants pluricellulaires). Ces exclusions partielles mettent en jeu des raisonnements d'implication non réciproques fréquents en biologie à partir de savoirs connexes vis-à-vis des savoirs visés. L'étudiant peut imaginer des situations connues et supposer qu'elles sont représentatives du cas général évoqué, ce qui amène à faire un traitement des propositions une à une, indépendamment. Par exemple, l'huile est un lipide et peut être fabriquée à partir d'olive qui est un végétal.

Discussion

Les échanges avec les participants ont notamment porté sur les savoirs qui étaient évalués par les questions retenues, mais les discussions autour de la validité ont également porté sur la formulation de l'énoncé et des questions. Par exemple, dans l'exercice 2 de chimie (tableau 2), il est implicite qu'on s'intéresse aux propriétés du soluté et non à celles de l'ensemble « soluté + solvant ».

Les formulations utilisées en biologie peuvent aussi être ambiguës : « matière vivante » (exercice 2, Tableau 3) est un abus de langue pour parler soit de la matière qui constitue les êtres vivants, soit pour parler uniquement de la matière organique (ici cela ne change pas les réponses à cocher) ; le terme « équivalente » (même exercice) peut provenir de la comparaison des proportions entre éléments chimiques (autant de carbone que d'azote), pour un élément donné entre monde inerte et matière vivante, ou pour un élément donné entre êtres vivants. Quelle que soit l'interprétation, la phrase est incorrecte, cependant ce sont trois savoirs différents qui sont en jeu dans chacune de ces interprétations.

Conclusion

En complément de considérations didactiques que nous avons en partie présentées précédemment, les échanges avec les participants ont pointé d'autres éléments nécessaires à considérer lors de l'analyse d'une évaluation, en particulier : la formulation des consignes, la présentation des tâches (lisibilité par exemple), la rigueur de l'énoncé mais aussi la taille de l'échantillon qui participe à l'évaluation (dans notre cas, le nombre faible d'étudiants répondant à certaines questions empêche tout traitement statistique) et la pertinence du tirage aléatoire des questions (complexité différente, savoirs évalués différents, etc.). Nous avons également échangé autour de la complexité des tâches et de la façon dont nous l'appréhendions en mathématiques au regard du modèle élaboré en sciences par Duclos & al. (2021) visant à établir *a priori* différentes caractéristiques d'exercices qui permettent d'expliquer les difficultés rencontrées par les élèves pour y répondre.

Les participants ont également pu constater (en particulier sur les questions de sciences) que, lorsqu'ils ne disposaient pas de connaissance pour répondre, ils mobilisaient des raisonnements par généralisation à partir d'exemples particuliers ou par recherche de contre-exemples. Ce qui interroge d'une part le domaine de validité de tels raisonnements et d'autre part le type de connaissance qui est évalué par l'exercice.

Enfin, Caussarieu (2020) a montré qu'il était possible, en croisant la théorie anthropologique et le cycle de modélisation, de définir des praxéologies permettant d'analyser les savoirs mathématiques présents dans des situations d'exercices en physique. Cependant pour étudier la validité de situations d'évaluation en sciences moins procédurales ou mathématisées et plus textuelles, le transfert de la

méthodologie demanderait certes la définition d'une praxéologie de référence et donc de redéfinir les types de tâches, techniques et technologies associées aux savoirs disciplinaires, mais procéder ainsi est-il adapté pour analyser la validité des exercices en sciences ? d'autres méthodologies sont-elles alors envisageables ?

Bibliographie

Bodin A., De Hosson, C. Decamp N., Grapin N., Vrignaud P. (2016). Comparaison des évaluations PISA et TIMSS. Acquis des élèves : comprendre les évaluations internationales. Rapport scientifique à l'initiative du CNESCO, Volume 2.

Bosch, M. & Gascon, J. (2005). La praxéologie comme unité d'analyse des processus didactiques. Dans A. Mercier et C. Margolinas (dir.) *Balises pour la didactique des mathématiques* (pp. 197-122). Grenoble: La Pensée Sauvage.

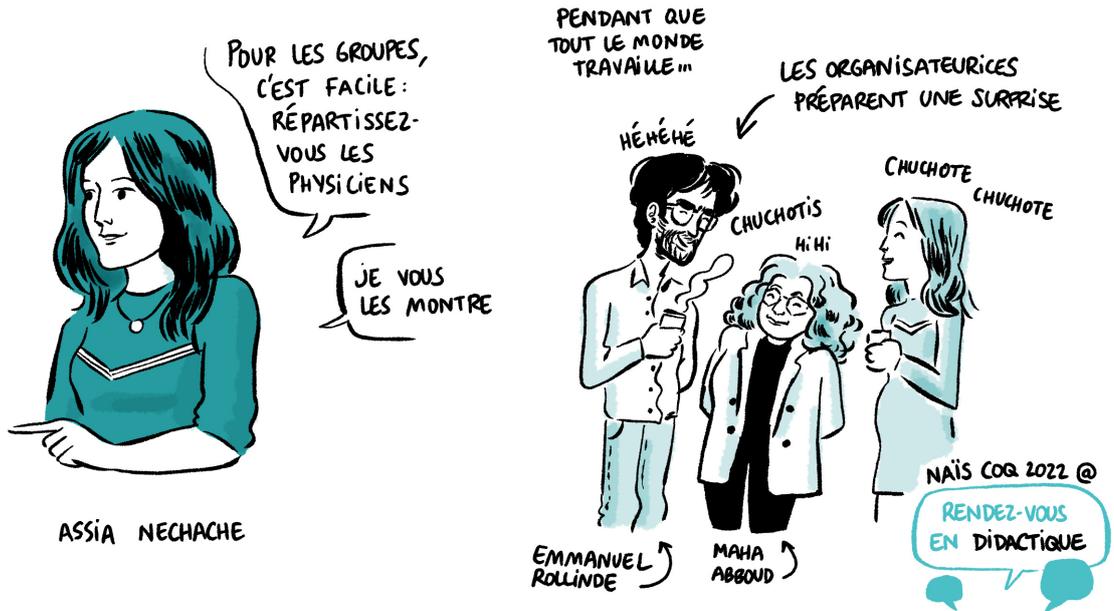
Caussarieu, A. (2020). Classer des exercices de mathématiques pour la physique. Une approche orientée par la conception de ressources. Dans M-N. Hindryckx & C. Poffé (dirs), *Actes des Onzièmes rencontres Scientifiques de l'Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et Technologies* (pp. 131 – 137).

Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19(2), 221-266.

Duclos, M., Le Hebel, F., Tiberghien, A., Montpied, P., Fontanieu, V. (2021). Élaboration d'un modèle de difficulté de questions évaluant la culture scientifique des élèves. *Education et didactique*, 15-3, 103-131.

Grapin, N. & Grugeon-Allys, B. (2018). Approches psychométrique et didactique de la validité d'une évaluation externe en mathématiques : quelles complémentarités ? Quelles divergences ? *Mesure et évaluation en éducation*, 41-2, 37-66.

Jolivet, S, Lesnes-Cuisiniez, E. & Grugeon-Allys, B. (2021). Conception d'une plateforme d'apprentissage en ligne en algèbre et en géométrie : prise en compte et apports de modèles didactiques. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 26, 117-156.



Former les enseignants du primaire à une démarche interdisciplinaire mathématiques-sciences dans le contexte de l'astronomie

Abboud M., Nechache A. & Rollinde E.

Résumé L'étude présentée, partagée et discutée dans cet atelier vise à identifier les difficultés des enseignants en formation initiale relatives à la conception et mise en place de situations d'apprentissage interdisciplinaire mathématiques-sciences. Elle se base sur une ingénierie de formation dans le contexte motivant de l'astronomie. Les données recueillies et analysées (traces écrites de préparation et de synthèse, entretiens réguliers, échanges pendant la formation) permettent de suivre le développement professionnel des enseignants et d'y caractériser des leviers pour pallier à ces difficultés.

Mots-clés : Interdisciplinarité, astronomie, mathématiques, sciences, formation, enseignants.

Introduction

Le but de cet atelier est d'exposer et partager avec les participants une recherche sur la conception et la mise en place d'un scénario de formation des professeurs des écoles stagiaires (PES) adoptant une approche interdisciplinaire mathématiques-sciences et l'étude de l'impact de cette formation sur le développement professionnel des stagiaires. La formation est inscrite dans un module sur la polyvalence dans la formation initiale en INSPE¹. Elle s'appuie sur l'utilisation d'un outil pédagogique, le planétaire humain (PH), qui permet d'illustrer et de « faire vivre » les mouvements des planètes du Système Solaire (Rollinde, 2019). Le scénario de formation vise à initier les enseignants-stagiaires à une démarche de croisement dans leur enseignement des mathématiques et des sciences dans le cadre d'une séquence prenant l'astronomie (Système Solaire) pour appui. Il est constitué de dix phases. Les PES sont en stage deux jours par semaine, ce qui favorise une alternance régulière entre les séances en INSPE et les mises en pratique dans les classes.

Cadres et questions de recherche

Notre travail se situe dans une dynamique entre formation et recherche. Nous cherchons à étudier tout en y intervenant, le développement professionnel des enseignants débutants relativement à une approche interdisciplinaire mathématiques-sciences. Nous partons de plusieurs constats relativement à cette problématique issus d'une étude exploratoire faite deux ans plus tôt (Abboud et al. 2021). Ce qui est au centre de nos préoccupations actuelles est la complexité pour ces enseignants de préparer et mettre en œuvre une séance engageant à la fois deux disciplines scientifiques. Toutefois, le contexte de l'astronomie leur est très motivant et les idées de situations d'apprentissage qu'ils proposent sont riches et variées. C'est plutôt la préparation minutieuse de séances prenant appui sur ces idées et leurs

¹ Institut National Supérieur du Professorat et de l'Education

mises en place effective en classe qui révèlent toute la complexité du croisement des disciplines scientifiques et, plus encore, les lacunes dans les connaissances des PES. Basées sur ces constats, trois questions de recherche structurent notre travail : Quels facteurs entrent en jeu dans la complexité liée à l'interdisciplinarité (polyvalence au 1^{er} degré) ? Quelle serait l'efficacité d'une formation à la polyvalence centrée sur les disciplines scientifiques ? Comment se construisent et se développent les premières pratiques correspondantes pendant l'année de formation ?

Une approche de la polyvalence au 1er degré

Nous considérons dans notre travail une polyvalence disciplinaire scolaire, orientée vers le contenu (Nechache et Rollinde, 2021²). Elle correspond à la mise en relation d'au moins deux disciplines scolaires visant à favoriser l'intégration des savoirs et des processus d'apprentissage chez les élèves. Cette approche est cohérente avec les programmes en vigueur à l'école qui plébiscitent le recours à l'interdisciplinarité en incitant à un travail sur les acquisitions de connaissances communes à plusieurs enseignements et la mise en lien des différents domaines du socle commun.

Organisation et déroulement de l'atelier

L'atelier ayant pour but de partager avec les participants des données issues de la formation mise en place et de les analyser en se basant sur les outils méthodologiques développées, il a été organisé en deux séances. Lors de la première, nous avons présenté le scénario de formation et ses appuis théoriques pour ensuite travailler sur les données d'un binôme de PES ayant construit et mis en place la même situation d'apprentissage. Pour la deuxième séance le choix fait a été de montrer deux mises en œuvre basées sur l'utilisation du PH, la première toujours dans le cadre de la formation initiale et la deuxième extraite d'une situation construite suite à une formation continue.

Description du scénario de formation

Nous avons construit et mis en place un dispositif de formation visant à initier les étudiants de deuxième année du MEEF³ 1^{er} degré, à la pratique de la polyvalence, en mettant particulièrement le focus sur les disciplines scientifiques enseignées à l'école primaire : les mathématiques et les sciences. Ce dispositif a pris place dans une unité d'enseignement « Polyvalence/transversalités » de ce master, sous forme de 8 séances de travaux dirigés (TD) de 3h sur l'année universitaire 2021-2022. Il s'insère dans un processus de développement professionnel, et il est inspiré de celui des *Micro-Teaching Lesson Study* (Fernandez et Robinson, 2006). L'objectif est alors d'amener les PES à collaborer entre pairs pour co-construire une séance/séquence et mener des analyses (*a priori et a posteriori*) des processus d'enseignement qui participent à l'amélioration des apprentissages des élèves en intégrant des pratiques de polyvalence. En prenant appui sur les études autour des *Lesson Studies*, nous supposons que ce cycle aura un impact sur la prise de conscience par les PES de l'importance de la phase de préparation et en particulier de la prise en compte d'éléments de didactique (des mathématiques et de la physique) impliqués dans cette compréhension. Dans ce dispositif, les PES sont répartis en groupe (de 2 ou de 3) ayant le même niveau ou le même cycle d'enseignement. Ce dispositif se déroule en 10 phases (de 0 à 9 ; Figure 1). Les phases réalisées à l'INSPE ont lieu sous un format de TD de 3h avec des objectifs spécifiques. Ainsi, la phase 0 vise à établir des critères d'évaluation d'une situation d'apprentissage en termes de polyvalence. Pour cela les formateurs ont

² Communication orale. Voir également Nechache, A., Rollinde, E. (*soumis*). Développer la pratique de la polyvalence chez les professeurs des écoles débutants en France. *Recherche & Formation*.

³ Métier de l'Enseignement et de l'Education et de la Formation

proposé plusieurs situations (correspondant à différents niveaux de classe) à analyser. Les critères établis seront par la suite utilisés par les PES pour évaluer leurs propres séances. Lors des phases 1 et 2, les PES travaillent en groupe afin de concevoir leurs séances et de mener une analyse *a priori* de celles-ci. Les phases suivantes se déroulent en alternance dans la classe d'un des PES et à l'INSPE. Un premier PES au sein de chaque groupe met en œuvre dans sa classe la séance co-construite par le groupe (phase 3). Il fait un compte rendu du déroulement effectif de la séance auprès de son groupe lors de la phase 4, en prenant appui sur différents supports (des productions des élèves, des photos de tableau, etc.). Il s'agit alors de faire une analyse *a posteriori*, et d'évaluer l'écart entre ce qui a été prévu par le groupe dans l'analyse *a priori* et ce qui a été effectivement mis en place. Cela permet d'ajuster et de repenser la séance avant de l'implémenter dans une autre classe. Ainsi, un second PES du groupe met à nouveau en œuvre la séance dans sa classe (phase 5) et en fait un compte rendu en phase 6. Dans le cas d'un trinôme, le même processus a lieu pour les phases 7 et 8. Les duos continuent leur analyse lors de la phase 8. Nous précisons qu'au cours des différentes phases (Figure 1), les deux formateurs ont un rôle d'accompagnateur dans ce travail de co-construction.

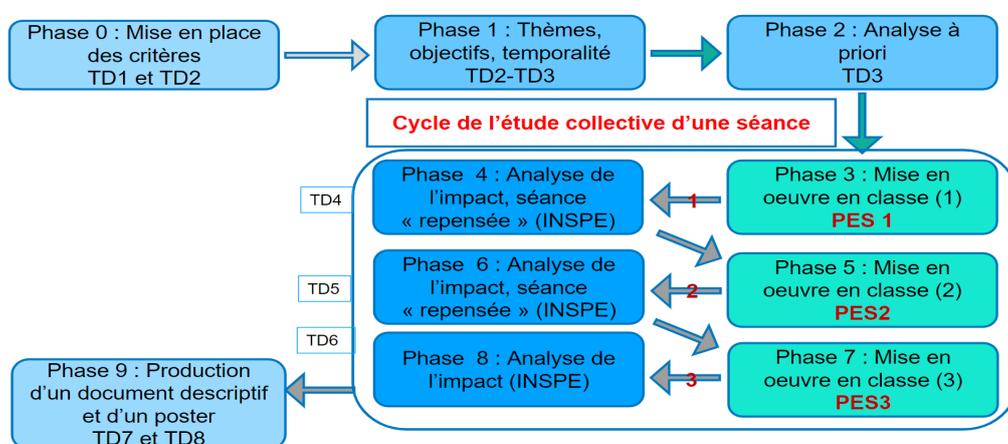


Figure 1 : Dispositif de formation à la pratique de la polyvalence (Nechache et Rollinde, 2021)

Séance 1 : Analyse des travaux d'un binôme de PES : L & J

Pour cette première séance, nous avons proposé aux participants d'étudier le parcours de deux PES, nommé L et J qui ont travaillé ensemble tout au long du cycle d'étude collective de la séance. Ces deux PES ont élaboré une séquence de trois séances (en CE1-CM1 et CM2) portant sur le thème « Alternance jour et nuit et le cycle des saisons » visant la compréhension du système Terre-Soleil. Nous avons mis à disposition : la séquence envisagée par L et J, des extraits des échanges entre L et J et/ou avec le formateur pendant les phases 4 et 6 du cycle d'étude collective de la séance. Enfin, nous avons proposé la transcription de l'entretien de L et J avec l'un des formateurs qui avait lieu à la fin de la phase 8 du cycle.

Les participants, travaillant en groupes, avaient précisément à étudier l'écart entre ce qui a été prévu *a priori* dans la séquence et ce qui a été effectivement produit dans la classe de L ou de J, mais aussi à identifier la place de la polyvalence dans la pratique effective de L ou de J, et à donner un aperçu synthétique de leurs parcours. Lors de la mise en commun, les participants ont mis en avant que la séquence proposée ne met pas en jeu l'interdisciplinarité, car les sciences y prédominent. Ils ont souligné également que les tâches proposées dans les séances 1 et 2 de L ne sont pas correctes du point de vue des savoirs disciplinaires (des sciences). Cela peut s'expliquer par la non maîtrise de L de la notion du référentiel. Concernant J, ils soulignent qu'il a bien pris conscience de l'importance

des savoirs et de leurs compréhensions fines pour permettre la mise en place des liens. Ce qui témoigne d'une potentialité pour une application effective de la polyvalence chez J. Pour terminer cette séance, les participants ont été invités à découvrir le planétaire humain (<http://planetaire.overblog.com/>) en effectuant la « danse des planètes » (Figure 2).



Figure 2 : le planétaire humain représentant les orbites des planètes internes et d'une comète (photo prise pendant l'atelier du colloque RdV)

Séance 2 : deux situations d'apprentissage utilisant le planétaire humain (PH)

La première situation proposée à l'étude correspond au travail d'un groupe de PES qui devait construire une séquence polyvalente selon les mêmes modalités que précédemment, mais en incluant la discipline des « arts plastiques ». Il s'agit d'un trio de PES (C5) qui a utilisé le PH pour faire travailler leurs classes de CE1 et CE2 sur le repérage dans le plan, et découvrir ainsi le mouvement de Mars et du Soleil tels qu'ils sont vus depuis la Terre (Figure 3). Pour suivre leur parcours, les participants à l'atelier avaient à leur disposition : une fiche rédigée par le groupe C5 décrivant les objectifs, les tâches et le déroulé des trois séances permettant de passer de la représentation centrée sur le Soleil (PH) à une représentation avec la Terre fixe ainsi que des extraits de l'entretien final avec le formateur permettant de retracer l'évolution du groupe.



Figure 3 : poster conçu par le groupe C5 qui montre les différentes étapes suivies pour passer d'une représentation centrée sur le Soleil (gauche) à une représentation centrée sur la Terre (droite) et finalisée par une production artistique (à droite en haut)

Dans la seconde situation, un enseignant de CE1 (V), ayant une solide formation en astronomie, une longue expérience d'enseignant, et ayant suivi une formation continue sur le PH, a utilisé les orbites des planètes pour illustrer les différentes unités de temps basées sur les années vécues sur chaque planète. Ses élèves avancent sur différentes orbites jusqu'à ce que l'élève situé sur la Terre ait fêté son cinquième anniversaire. Chaque élève compte le nombre de tours effectués. Ainsi, l'élève sur Terre doit compter cinq tours (années terrestres). La période orbitale (durée pour faire un tour) étant différente pour chaque planète, chaque élève va compter un nombre de tours différent. Ainsi, la planète la plus proche du Soleil, Mercure, aura fait 20 tours (années mercuriennes), tandis que Mars n'aura fait que 2 tours (années martiennes). La durée du déplacement (identique pour tous) est alors exprimée différemment selon l'orbite choisie (vingt années mercuriennes ou cinq années terrestres ou encore deux années martiennes). Pour analyser la séance mise en place, les participants avaient à leur disposition : la fiche de préparation avec les étapes de la séance ; des extraits d'une interview menée avec V après la séance ; des extraits d'un entretien avec un élève.

En comparant les deux situations, les participants ont noté que la médiation des formateurs disciplinaires (mobilisation et opérationnalisation des connaissances disciplinaires) est indispensable et apparaît bien dans les entretiens. Cette médiation est plus importante pour les PES, mais apparaît aussi pour V. Les participants ont noté le choix de confronter plusieurs modèles, au sens large de représentation d'une réalité, dans les deux situations. Pour les PES, le mouvement du Soleil et de Mars sont observés dans la réalité (pour le Soleil), sur le PH, et sur une deuxième carte reconstruite. Pour V, l'unité de durée est mise en lien avec le vécu de l'anniversaire. Cet aspect a favorisé le dialogue entre mathématiques et sciences. Les participants ont également noté l'apport positif de l'aspect artistique qui a enrichi les tâches proposées par les PES.

Bilan

Les analyses et débats au cours de l'atelier ont mis en évidence que le contexte de l'astronomie, et l'utilisation du PH, engendre un foisonnement d'idées de séances de polyvalence chez les enseignants débutants. Mais la confrontation de ces idées, *a priori*, avec une mise en place effective dans les classes les amènent d'une part à prendre conscience de leur déficit, ou non maîtrise, des connaissances disciplinaires et d'autre part à négocier à la baisse leurs objectifs interdisciplinaires. Nous observons ainsi la prédominance d'une discipline (en général les sciences) par rapport à l'autre pendant les déroulements dans les classes alors que dans les fiches de préparation, il y avait une réelle volonté de mettre en œuvre des apprentissages relevant des deux disciplines. Lors des retours sur expériences, les PES rendent d'abord compte d'éléments pédagogiques de gestion de la classe, mais arrivent rapidement à interpeler les formateurs sur des questions relatives à leurs connaissances physiques et mathématiques qui leur paraissent incertaines et confuses. Les interventions des formateurs pour combler ces manques, dont la prise de conscience s'est faite *a posteriori*, sont alors indispensables pour que les PES poursuivent le cycle de formation. Pour certains PES, ces manques ne sont pas identifiés en tant que tels et ils les compensent (ou pensent le faire) par des ajustements sur le plan pédagogique et un renforcement du guidage des élèves sur le plan didactique, ne laissant ainsi pas de place à des questions-élèves inattendues ou non préparées à l'avance par l'enseignant. Ces deux types de développement de pratiques chez les PES, semblent liés à leurs profils et leurs cursus universitaires antérieurs. Ainsi les apports de la formation sont évidents quant à la mobilisation et au questionnement de certaines de leurs connaissances disciplinaires, mais cette mobilisation n'entraîne pas toujours des apprentissages sur le plan didactique de mise en place de la polyvalence.

Les discussions et débat au cours de l’atelier sont allés au-delà de cette recherche ponctuelle pour évoquer et présenter des éléments issus du projet plus global dans lequel elle est inscrite, le projet ESMEA (“Enacted Science and Mathematics Education through Astronomy”, <https://www.ildar.website/esmea>).

Bibliographie

Abboud, M., Rollinde, E. et Nechache, A. (2021). How to introduce pre-service teachers to mathematics and science subjects: the use of Human Orrery in teacher training. In P. S.

Bretones, U. Eriksson & P. Russo (Eds.) *Proceedings of the Astronomy Education Conference: Bridging Research & Practice* (pp. 95-104). IAU-ESO- Universiteit Leiden - The Netherlands

Fernandez, M. L., et Robinson, M. (2006). Prospective Teachers’ Perspectives on Micro-Teaching Lesson Study. *Education*, 127 (2), 203-215.

Nechache, A., Rollinde, E. (2021). Former à la pratique de la polyvalence à l’école primaire par la co-construction entre pair : un dispositif de formation. [Communication orale]. Colloque “l’école primaire au 21^e siècle », Cergy, octobre 2021.

Rollinde. E. (2019). Learning Science Through Enacted Astronomy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17, 237-252.

Pratiques *in situ* d'enseignants-chercheurs et confrontation avec le vécu des étudiants : une étude de cas en mathématiques et en physique

S. Bridoux, N. Grenier-Boley et N. Lebrun

Résumé : Dans cette communication, nous abordons la question des liens entre enseignement et apprentissage au sein de l'enseignement supérieur. Pour ce faire, nous présentons tout d'abord une étude des pratiques déclarées d'enseignants-chercheurs en utilisant la notion sociologique d'identité professionnelle. Nous mettons ensuite en relation cette étude avec le vécu de leurs étudiants.

Mots-clés : pratiques déclarées, enseignement universitaire, identité professionnelle, vécu des étudiants, épistémologie.

Contexte du travail

Nous présentons ici une recherche en cours sur les pratiques des enseignants-chercheurs à l'université, notés EC par la suite, en abordant la question des liens entre « ce qui s'enseigne » et « ce qui s'apprend ». Celle-ci prend appui sur les travaux du groupe de travail « enseignants du supérieur » du Laboratoire de Didactique André Revuz qui traitent des pratiques des EC en prenant pour entrée leur spécificité disciplinaire (Bridoux *et al.*, 2018). Ce choix est motivé par le fait que peu de recherches en éducation traitent des pratiques du supérieur en prenant en compte la discipline alors que celle-ci apparaît pourtant comme un élément essentiel des pratiques des EC (Becher, 1994). Becher (*ibid.*) souligne aussi que les EC partagent une « culture disciplinaire », « un même ensemble de valeurs intellectuelles » et « un même territoire cognitif ». Dans ce contexte, nous avons choisi d'étudier les pratiques des EC en mobilisant la notion sociologique d'identité professionnelle (Blin, 1997), notée IP par la suite, qui renvoie au sentiment d'appartenance d'un travailleur à son groupe professionnel. Cette notion a ensuite été spécifiée par Cattonar (2001, p.5) qui la définit comme

les caractéristiques qui l'identifient en tant qu'enseignant et que l'enseignant partage, qu'il a en commun avec d'autres enseignants du fait d'appartenir au même groupe professionnel.

À partir d'une trentaine d'entretiens menés avec des EC de différentes disciplines (chimie, géographie, mathématiques et physique), nous avons mis en évidence trois marqueurs qui caractérisent leurs pratiques enseignantes et leurs liens avec l'apprentissage des étudiants, ce qui nous a permis d'inférer des éléments sur leur IP (Bridoux *et al.*, 2018) :

- L'influence de l'épistémologie et de la culture disciplinaire : conceptions de la discipline et des objets, éléments historiques, référence aux travaux de recherche en didactique,...

- L'adaptation au public étudiant : place des prérequis, exemples, prise en compte des difficultés des étudiants,...
- L'impact du métier de chercheur sur les pratiques enseignantes : mise en valeur d'aspects méthodologiques issus des pratiques de recherche, exemples liés au domaine de recherche, modalités d'enseignement liées à la démarche de recherche (présentations orales, travail en petits groupes,...),...

Problématique et méthodologie

Nous faisons l'hypothèse que les pratiques enseignantes des EC, en fonction de leur discipline, vont avoir des conséquences sur l'organisation des enseignements et sur ce que les EC projettent sur les étudiants. Nous considérons tout d'abord qu'une bonne adéquation entre les intentions qui portent la pratique d'un EC et la manière dont celles-ci sont perçues par les étudiants peut constituer l'un de moteurs de la réussite étudiante. D'autre part, nous postulons que la manière dont un EC expose les connaissances à ses étudiants est portée par un ensemble de convictions sur ce qui doit être su (et donc connu des étudiants) et sur la façon dont cela doit être enseigné. Dans cette perspective, notre question de recherche peut se formuler de la manière suivante : quel est l'impact des choix d'enseignement des EC sur les apprentissages des étudiants et comment les étudiants reçoivent-ils les pratiques mises en œuvre ?

Pour aborder cette problématique, nous avons interrogé cinq EC (un EC en mathématiques et quatre EC en physique) à propos de leurs cours magistraux situés en L1 au sein d'une filière scientifique. Les thématiques abordées étaient les suivantes : équations différentielles en mathématiques et, pour la physique, un cours sur le théorème de Gauss et les trois autres sur la cinématique, les lois de Newton et les forces. Pour chaque EC, nous avons tout d'abord mené un entretien (entre 30 minutes et une heure) avant l'enseignement qui portait sur la thématique du cours, les objectifs de l'EC, les difficultés pressenties chez les étudiants, ... Nous avons ensuite observé ses pratiques in situ (entre un et trois cours magistraux-d'une durée de 1h30 à 2h). À l'issue de l'enseignement des thématiques observées, nous avons demandé aux étudiants de remplir un questionnaire commun (difficultés et compréhension du cours, recours aux dessins ou aux exemples...). Les entretiens pré-cours et les observations *in situ* permettent respectivement d'analyser comment les trois marqueurs retenus caractérisent chaque EC et de confronter les propos des EC aux déroulements effectifs des cours. Les réponses des étudiants amènent à déterminer l'adéquation ou non entre les éléments précités et leur vécu.

Déroulement global de l'atelier

L'atelier proposé au colloque « Rendez-vous en didactique » LDAR consistait en deux séances, l'une de 2h, l'autre de 1h30 et a été suivi par environ 10 participants pour chacune des séances. L'objectif général de cet atelier était de permettre aux participants d'être à la fois en situation d'analyser les entretiens et les réponses des étudiants, de confronter leurs points de vue et d'engager une discussion par la mise en regard avec nos propres résultats. La première séance a été consacrée à l'analyse des entretiens des EC, la seconde séance à l'analyse des réponses aux questionnaires par les étudiants.

Lors de la première séance, nous avons positionné le contexte du travail de recherche, explicité notre problématique de recherche et présenté le corpus que l'on proposait d'analyser. Nous avons insisté sur plusieurs éléments qui nous semblaient susceptibles de permettre d'engager une analyse des entretiens puis une discussion constructive : la notion d'IP, les trois marqueurs caractérisant les pratiques enseignantes (cf. ci-dessus). Nous avons ensuite réparti les cinq entretiens avec les EC entre

les participants, chacun des participants ayant pour objectif d'entreprendre une analyse. Pour les y aider, nous leur avons également mis à disposition des catégories pouvant permettre de repérer des verbatim qui alimentent les trois marqueurs : la mention par les EC de notions antérieures, d'interactions avec les étudiants ou le recours à des exemples... Après un temps de travail individuel, chaque participant a pu faire état de son analyse, que nous avons incluse dans un tableau mettant face à face les trois marqueurs et les cinq EC. Les participants ont ainsi pu repérer certains invariants ou certaines spécificités qui nous ont permis à la fois de préciser certains éléments complémentaires issus de nos propres analyses, mais également de les enrichir au moyen des échanges.

Lors de la seconde séance, nous avons d'abord fait une synthèse des discussions de la séance précédente. Après avoir expliqué aux participants le contenu du questionnaire proposé aux étudiants, nous leur avons distribué un document comprenant, pour un cours donné, certaines des questions de ce questionnaire, agrémentées de réponses typiques d'étudiants et quelques statistiques associées à certaines questions. L'objectif était de renseigner la manière dont les étudiants ont pu recevoir les pratiques mises en œuvre dans le cours qu'ils ont suivi. Comme lors de la première séance, un temps d'analyse individuel a été suivi d'une prise de parole de chacun des participants, d'un débat entre eux, mais aussi de compléments pour expliciter telle ou telle réponse des étudiants. La séance s'est terminée par une mise en valeur des perspectives possibles apportées par ce travail de recherche.

Dans la suite, nous présentons quelques résultats issus de notre propre recherche enrichis par les discussions avec les participants lors de cet atelier.

L'identité professionnelle des enseignants-chercheurs

Pour inférer des éléments sur l'IP des cinq EC, nous avons documenté chacun des marqueurs compte tenu de certaines catégories pré-établies afin de pouvoir les repérer au sein des entretiens menés avant enseignement. Cela a permis de repérer des régularités et des variabilités concernant ces marqueurs dont nous en relatons ici quelques aspects. Concernant l'impact de la culture disciplinaire sur les pratiques, tous les EC mettent beaucoup en avant les concepts pour expliciter les objectifs de leur cours. Des allusions à l'épistémologie des disciplines ont aussi été repérées. Un seul EC de physique fait allusion dans ses propos aux travaux de recherche en didactique. On trouve aussi peu de référence aux conceptions des étudiants. Concernant l'adaptation au public étudiant, la non maîtrise des prérequis semble moins problématique en physique. Les EC s'accordent pourtant sur l'importance des mathématiques pour faire de la physique mais ils acceptent parfois de laisser certaines difficultés de côté ou d'être moins rigoureux dans l'usage des mathématiques. Les exemples sont mis en avant par tous les EC pour aider à la compréhension des étudiants. Les interactions avec les étudiants sont présentées comme importantes par les EC de physique, elles n'ont pas contre pas été évoquées chez l'EC de mathématiques. Enfin, le métier de chercheur semble influencer les pratiques : aide à la compréhension, résolution d'un problème et choix des exemples.

Plus précisément, nous avons donné, pour chaque EC (notés 1, 2, 3, 4 et 5) des caractéristiques associées à chaque marqueur. Nous donnons ici quelques exemples pour chaque EC. L'EC 1 est très soucieux de présenter les concepts rigoureusement et il vise une compréhension approfondie. Il dit s'adapter aux étudiants en présentant les détails mathématiques liés aux nouveaux concepts, il pense que son cours sera facile. L'EC 2 donne de l'importance à la compréhension du sens physique et à l'application des concepts définis précisément. Il dit s'adapter au public étudiant en revisitant les prérequis dont il a besoin, en donnant des exemples et en visant une interaction forte avec son public par le biais de questions et en procédant étape par étape. L'EC 3 met en avant l'aspect conceptuel des

notions, il veut poser les bases à partir des prérequis. Il dit s'adapter aux étudiants en donnant des exemples et cherche une interaction forte avec les étudiants en communiquant, en expliquant avec les mains et en utilisant un diaporama pour ne pas les perdre. L'EC 4 vise la compréhension des concepts de physique et donne de l'importance aux exemples. Il dit s'adapter aux étudiants en présentant des méthodes à retenir et en faisant le deuil de certains détails mathématiques dont il sait qu'ils sont sources de difficultés, il veut préparer les étudiants à l'évaluation. Enfin, l'EC 5 cherche à proposer des applications dans son cours et à développer un regard critique. Il dit s'adapter aux étudiants à travers des exemples et en interagissant avec eux en posant des questions et en construisant son cours en fonction de leurs réactions.

Cette brève description des marqueurs qui caractérisent chaque EC montre tout d'abord une variabilité dans leurs pratiques. Néanmoins, les exemples sont mis en valeur par tous les EC ainsi que les interactions avec les étudiants, sauf pour l'EC 1 qui ne les évoque pas.

Le vécu des étudiants

Nous avons ensuite confronté les pratiques déclarées des EC au vécu de leurs étudiants via un questionnaire anonyme donné environ 15 minutes avant la fin du cours. Les questions portaient notamment sur la difficulté de l'enseignement, le fait d'apprécier ou non les cours magistraux (par opposition aux séances d'exercices), la présence d'exemples, de dessins et d'exercices et si ceux-ci ont été ou non une aide à la compréhension. Nous avons analysé les réponses des étudiants afin d'étudier s'il y avait ou non adéquation entre les intentions des EC et leur ressenti. Nous nous sommes également appuyés sur nos observations des cours pour interpréter certaines réponses des étudiants.

Pour les EC 2, 4 et 5, nous avons mis en évidence une adéquation entre leurs intentions et la manière dont celles-ci sont reçues par leurs étudiants. La majorité des étudiants apprécie les cours de ces EC et parmi les facteurs mis en valeur par les étudiants, nous trouvons le fait que le cours est structuré et que le professeur prend le temps d'expliquer. Les étudiants apprécient aussi la présence d'exemples et les voient comme une aide à la compréhension. En revanche, pour les EC 1 et 3, il y a un malentendu entre leurs intentions et le vécu de leurs étudiants. Ces derniers apprécient peu les séances de cours magistraux parce qu'ils jugent le cours trop rapide et compliqué, ils sont perdus dans les détails et ont des difficultés à prendre des notes, ils estiment donc qu'ils n'ont pas le temps de comprendre.

Ces analyses nous ont amenés à dresser deux types de profils pour caractériser l'IP des EC. Tout d'abord, notons que la culture disciplinaire est un élément commun à chaque profil car nous en trouvons des traces chez tous les EC. Les profils se distinguent plutôt dans l'adaptation au public étudiant. Dans le profil I, les pratiques des EC ne semblent pas adaptées aux étudiants en termes de rigueur et de compréhension attendues des étudiants, également au niveau des interactions qui ne semblent pas aider à leur compréhension. Par conséquent, il y a un malentendu entre les intentions de ces EC et le vécu des étudiants. Les EC 1 et 3 ont ce type de profil. Dans le profil II, les EC acceptent de faire le deuil de certains éléments difficiles pour les étudiants (par exemple les détails mathématiques) et les interactions sont davantage productrices de sens. Ici, il y a adéquation entre les intentions des EC et le vécu de leurs étudiants. Les EC 2, 4 et 5 ont ce type de profil.

Bilan

L'atelier proposé au colloque « Rendez-vous en didactique » nous a permis de préciser à la fois nos analyses et certains de nos résultats. Il a également permis d'enrichir certaines des perspectives, dont nous relatons ici les principales.

Cette recherche, qui reste pour le moment exploratoire, montre tout d'abord que les cours magistraux ne sont pas que transmissifs comme en témoignent les interactions EC-étudiants observées dans les cours. Les réponses des étudiants au questionnaire montrent aussi qu'un grand nombre d'entre eux ne sont pas passifs durant ces enseignements. Les entretiens menés avec les EC et les observations *in situ* révèlent toutefois une grande variété dans les pratiques des EC qui nous amènera sans doute, par la suite, à préciser les deux profils mis en évidence. Nous avons également mis en valeur l'impact des exemples sur le vécu des étudiants puisqu'ils sont très nombreux à les citer comme une aide à leur compréhension. Enfin, certains propos des étudiants donnent à penser que les technologies et plus précisément l'usage d'un diaporama par l'EC ont un impact varié sur le vécu des étudiants. Celui-ci peut s'avérer un support apprécié ou au contraire un facteur bloquant pour prendre des notes et suivre en même temps le cours. Il s'agit maintenant de poursuivre ce travail avec d'autres EC, notamment pour préciser les profils I et II et peut-être pour en définir d'autres.

Bibliographie

- Becher, T. (1994). The significance of disciplinary differences. *Studies in Higher Education*, 19(2), 151-161.
- Blin, J.-F. (1997). Les représentations professionnelles : un outil d'analyse du travail. *Education permanente*, 132, 159-170.
- Bridoux, S., De Vleeschouwer, M., Grenier-Boley, N., Khanfour-Armalé, R., Lebrun, N., Mesnil, Z. & Nihoul, C. (2018). L'identité professionnelle des enseignants-chercheurs en mathématiques, chimie et physique. In M. Abboud (Ed.), *Actes du Colloque EMF 2018* (Gennevilliers, France), 531–539. Paris : IREM de Paris.
- Cattonar, B. (2001). Les identités professionnelles enseignantes. Ébauche d'un cadre d'analyse. *Cahiers de recherche du GIRSEF*, 10
- De Hosson, C., Décamp, N., Morand, É. & Robert, A. (2015). Approcher l'identité professionnelle d'enseignants universitaires de physique : un levier pour initier des changements de pratiques pédagogiques. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 11, 161-196.

Histoire des sciences dans l'enseignement : Etude d'une pratique enseignante

Renaud Chorlay, Patricia Crépin-Obert, Sophie Canac, Nicolas Décamp et Camille Roux-Goupille

L'étude des modalités d'usage de l'histoire des sciences dans l'enseignement et la formation constitue l'un des axes de travail principaux du groupe DidHisSeM (Didactique et Histoire : Sciences et Mathématiques).

L'atelier porte sur une étude de cas : conception et mise en œuvre par une enseignante de SVT d'une séquence faisant intervenir plusieurs domaines (sciences de la Terre, physique, mathématiques, histoire des sciences) dans le cadre de l'enseignement scientifique en classe de Première. Pour mieux cerner les enjeux spécifiquement liés à l'usage de sources historiques en classes, les participants seront d'abord invités à étudier une source particulière (quelques pages de Buffon sur l'âge de la Terre), selon différents axes de questionnement scientifiques et didactiques. Après avoir précisé la nature des interactions entre les chercheurs et l'enseignante, nous analyserons ensuite des données relatives à la pratique de l'enseignante : extraits d'entretiens, documents de cours, enregistrements audios ou vidéos des séances.

Bibliographie

de Hosson, C. & Schneeberger, P. (2011). Orientations récentes du dialogue entre recherche en didactique et histoire des sciences. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 3, 9-20.

Buffon comte de. G-L. Leclerc. (1774). Premier mémoire. Expériences sur le progrès de la chaleur dans les corps. *Histoire naturelle, générale et particulière : supplément à l'histoire naturelle*. Tome premier. Partie expérimentale. Paris : Imprimerie royale. 143-172. url : gallica.bnf.fr

Crépin-Obert, P., Canac, S., Chorlay, R., Roux-Goupille, C., Décamp, N., Javoy, S. & Kermen, I. (2021). Analyse de séances « ordinaires » intégrant l'histoire des sciences. Regards croisés sur quatre pratiques enseignantes en sciences et en mathématiques, in. Marie-Noëlle Hindryckx & Corentin Poffé (eds), Actes des 11e rencontres de l'ARDiST (pp.55-62), Bruxelles, 31 mars - 2 avril 2021.

Ministère de l'Éducation nationale et de la jeunesse. (2019). Programme d'enseignement scientifique de première générale *Bulletin Officiel N°1 du 22 janvier 2019*.

Analyser des bandes dessinées « de sciences » - outils et enjeux

Cécile de Hosson, Sophie Canac et Julie Horoks

Depuis près de deux décennies, l'offre éditoriale de bandes dessinées de vulgarisation scientifique n'a cessé de croître. On trouve en librairie des récits plus ou moins fictionnels, plus ou moins humoristiques engageant le traitement de thématiques scientifiques variées, des biographies de savants et savantes illustres, des narrations historiques, etc. L'ambition partagée par ces albums est de rendre accessible la science (et ses démarches) en empruntant le chemin d'un média que beaucoup qualifient d'accessible et de ludique.

S'il n'existe pas de genre « bande dessinée scientifique » (vue la variété des formes mobilisées par les auteurs et les autrices) on trouve toutefois, dans ces albums, un certain nombre d'invariants visuels et narratifs. Parallèlement à ces projets, portés souvent par de grandes maisons d'éditions (Dargaud, Dupuis, Dunod, etc.), se sont également développées des initiatives que l'on pourrait qualifier d'institutionnelles qui visent à valoriser la recherche « en train de se faire ». Ainsi, le MESR et les écoles doctorales encouragent-ils les collaborations entre auteurs et jeunes chercheurs pour promouvoir leurs travaux de recherche (Bordenave & de Hosson, 2022).

La bande dessinée s'est également invitée dans les classes de sciences en tant que support de lecture mais également en tant qu'objet à construire. L'association STIMULI, pionnière dans l'accompagnement à la pratique de la bande dessinée par des élèves de collège et de lycée, est associée au LDAR depuis presque 10 ans, depuis le démarrage du projet SARABANDES (stimuler l'apprentissage et la réflexion par des ateliers BD-sciences) auquel ont succédé le projet « Les grandiloquent » et tout récemment, le projet COMPTREBANDES (comptes-rendus d'expérience en bande dessinée). Le rôle des chercheurs et des chercheuses est de développer des outils théoriques et méthodologiques pour apprécier l'impact de la pratique de création d'une bande dessinée (souvent une planche) en classe de science (de Hosson et al., 2019).

Dans cet atelier nous analyserons certaines productions d'élèves créées dans le contexte du projet SARABANDES. Nous mettrons en œuvre à cette fin les outils d'analyse développés lors du projet. Cette séance d'analyse sera précédée d'une séance d'acculturation des participants de l'atelier à la bande dessinée scientifique dites « grand public ».

Bibliographie

Bordenave, L., de Hosson, C. (2022). Les savoirs de sciences au risque de la bande-dessinée, in C. Houdement, C. de Hosson, C. Hache (eds), *Approches sémiotiques en didactique des sciences* (pp. 93-137). Londres: ISTE editions.

de Hosson, C., Bordenave, L., Daures, P. L., Décamp, N., Hache, C., Horoks, J., & Kermen, I. (2019). Quand l'élève devient auteur : analyse didactique d'ateliers BD-sciences. *Tréma*, 51, 114-140.

Chapitre 6

Liste des participants

Abboud Maha
Allard Cécile
Artigue Michèle
Barbier Charlotte
Barthes Garnier Cecile
Bécu-Robinault Karine
Benmerah Mathilde
Blat Muriel
Boilevin Jean-Marie
Bosdeveix Robin
Boulais Anne
Bridoux Stéphanie
Bruguière Catherine
Bruillard Eric
Burdin Claire
Cabrerera Alejandro
Cadeau Aurelie
Canac Sophie
Castela Corine
Caussarieu Aude
Chambris Christine
Charles Frédéric
Chekir Helmy
Chenevotot Françoise
Chirbi Myriam
Chorlay Renaud
Coq Naïs
Cotron Dorian
Couderette Michele
Crepin-Obert Patricia
De Hosson Cécile
De Vleeschouwer Martine
Décamp Nicolas
Di Fabio Alice
Djebbar Ahmed
Durand Olivier
Etevez Laure
Flores González Macarena
Fortin Corinne
Francois Guillaume
Gobert Sophie
Gosztonyi Katalin
Grapin Nadine
Grau Sylvie
Grenier-Boley Nicolas
Hache Christophe
Hahn Corinne
Hamdani - Bennour Soria
Hoppenot Philippe
Horoks Julie
Houdement Catherine
Javoy Sandra
Job Pierre
Jorge Muriel
Ketsea Evi
Khanfour-Armalé Rita
Kiwani-Zacka Michella
Kuzniak Alain
Laval Dominique
Le Hebel Florence
Lebrun Nathalie
Lecomte Aurore
Leininger-Frézal Caroline
Lesnes Elann
Martinez Barrera Luz Helena
Masselin Blandine
Montoya Elizabeth
Mounier Eric
Munier Valerie
Nechache Assia
Nihoul Céline
Orange Christian

Ouvrier-Buffer Cécile
Parisi Morgane
Parzysz Bernard
Pelé Maud
Perrin-Glorian Marie-Jeanne
Peteers Florence
Petitfour Edith
Pilet Julia
Proulx Jerome
Radford Luis
Régent-Kloeckner Myriam
Richard Philippe R.
Robert Aline
Rogalski Marc
Rogalski Janine
Rougelot Julien
Saint-Jean Michèle

Sayac Nathalie
Sayadi Zahida
Scaron Evelyne
Souplet Catherine
Sudriès Marie
Tellier Arthur
Tempier Frédérick
Tricot André
Trunkenwald Jannick
Tufféry-Rochdi Chantal
Vandebrouck Fabrice
Venant Fabienne
Vergnolle Mainar Christine
Vieque Karine
Vivier Laurent
Wilke Stéphane
Yvain-Prébiski Sonia

ISBN : 978-2-86612-403-8
IREM de Paris, 2022