



HAL
open science

Structuration des situations didactiques et continuités dans la dynamique de construction des savoirs en sciences

Laurence Marty, Florence Ligozat, Patrice Venturini

► **To cite this version:**

Laurence Marty, Florence Ligozat, Patrice Venturini. Structuration des situations didactiques et continuités dans la dynamique de construction des savoirs en sciences. *Éducation & Didactique*, 2023, 17 (17-2), pp.49-70. 10.4000/educationdidactique.11613 . hal-04542615

HAL Id: hal-04542615

<https://nantes-universite.hal.science/hal-04542615v1>

Submitted on 11 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Structuration des situations didactiques et continuités dans la dynamique de construction des savoirs en sciences

Laurence Marty

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'éducation, Université de Genève, Suisse

UMR EFTS, Université de Toulouse Jean-Jaurès, France, CREN, Nantes Université, laurence.marty@univ-nantes.fr, Identifiant ORCID : 0000-0002-8455-3889

Florence Ligozat

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'éducation, Université de Genève, Suisse, Identifiant ORCID : 0000-0002-5195-5494

Patrice Venturini

UMR EFTS, Université de Toulouse Jean-Jaurès, France, Identifiant ORCID : 0000-0003-4593-5996

action conjointe, rapport aux objets, situation didactique, continuité, modélisation scientifique
joint action, meaning-making, properties of matter, continuity, scientific models

De nombreuses études mettent en lumière une faible prise en compte par les enseignants des propositions des élèves, et donc une faible participation de ceux-ci à la construction des savoirs en classe de sciences, y compris au sein de pratiques d'enseignement qui s'appuient sur des « démarches d'investigation ». Pour renouveler l'interprétation de ce phénomène, nous choisissons de porter notre attention sur les situations didactiques qui médiatisent la relation entre l'enseignant et les élèves et sur les opportunités que ces situations offrent en termes de dynamique de construction des savoirs. Nous exposons deux études de cas, une au primaire (France) et l'autre au secondaire (Suisse romande), analysées à l'aide d'un cadre théorique qui articule une modélisation de l'action didactique considérée comme une action conjointe, d'une part et une approche pragmatiste de la construction des significations dans les discours en classe, d'autre part. Nos résultats tendent à montrer que l'introduction précoce d'éléments de modélisation scientifique, qui acquièrent progressivement une signification au fur et à mesure de leur confrontation avec une succession organisée de phénomènes physiques est susceptible de favoriser une dynamique de construction des savoirs dans laquelle l'enseignant prend en compte et s'appuie sur les significations construites par les élèves pour faire avancer les savoirs.

A substantial body of literature in science education and didactics shows that teachers do not manage to take students' ideas into account, including within teaching practices that aim to promote inquiry-based learning. In order to understand this phenomenon, we choose to focus on the teaching activities and on the opportunities given by these activities in terms of meaning-making processes as shown in the teacher and students' discourse in science classrooms. Our theoretical framework combines two conceptual systems : the model of teacher's and students' joint action in didactics built in the French-speaking research in comparative didactics, and the pragmatist approach to classroom discourse built in the Swedish research in science education. In this framework, the meanings made about certain particular "objects" in the learning environment ("milieu") is developed through the interactions that students have with these objects, on the basis of their previous experiences (*e.g.*, family, school, outdoors, etc.). We present two case studies, the first one in primary education (France) and the second one in secondary education (Western-Switzerland). Our results show that activities in which scientific models are given to students at the beginning of the unit and then used to explain an organized succession of physical phenomena are likely to induce a meaning-making process in which teacher manages to take into account and use students' ideas.

Article soumis le 03/02/2021 et accepté le 04/04/2022

« Rendre les élèves acteurs de leurs propres apprentissages » : une nécessaire (re)problématisation

Depuis quelques décennies, l'enseignement des sciences à l'école obligatoire connaît des réformes majeures, aussi bien au niveau des contenus que des méthodes et des stratégies d'enseignement. Sur le plan des contenus, il ne s'agit plus seulement de former de futurs scientifiques, à même de soutenir le développement scientifique et technologique de nos sociétés, mais aussi de faire en sorte que chacun dispose d'une culture scientifique suffisante pour comprendre les enjeux et les retombées de la recherche scientifique et de ses applications, et participer aux décisions qui concernent l'évolution de la société tout entière.

Du point de vue des méthodes et stratégies d'enseignement, ce renouvellement se fonde, entre autres, sur des approches pédagogiques qui défendent une vision émancipatrice de l'apprentissage, épaulées par des épistémologies qui prennent pour modèle les pratiques sociales des scientifiques. L'entrée pédagogique promeut l'exploration du réel par le questionnement personnel, la recherche autonome, la prise d'initiative, la formulation d'explications, le tâtonnement expérimental ; par contraste avec un enseignement transmissif où l'élève serait récepteur de savoirs à apprendre, c'est l'action menée par l'élève qui doit permettre de construire les connaissances et la mission de l'enseignant est d'organiser et de faciliter cette action. Quant à l'entrée épistémologique, elle défend l'idée que les savoirs scientifiques ont tout intérêt à être appris selon des procédures analogues à celles de la production des savoirs dans les communautés scientifiques de référence : dans ce cadre, l'émission d'hypothèses, la préparation et la réalisation de protocoles expérimentaux, la communication des résultats, le débat sur leur validité se présentent comme les activités typiques de la classe de sciences. Au croisement de ces deux approches, les enseignants sont donc censés renoncer à transmettre directement des savoirs propositionnels et des démarches standardisées afin que les élèves puissent s'engager avec leur aide dans une posture active de découverte et d'exploration du monde, au plus proche des procédures mises en œuvre par les scientifiques pour élaborer de nouvelles connaissances. Depuis de nombreuses d'années, cette perspective trouve un écho favorable tant au niveau des textes curriculaires que des ressources pédagogiques développées par les institutions officielles ou par les enseignants : par exemple, en France, dans les programmes de physique-chimie du collège (2015), les élèves doivent « pratiquer, avec l'aide des professeurs, quelques moments d'une *démarche d'investigation* : questionnement, observation, expérience, description, raisonnement, conclusion. » (p. 63) ; en Suisse romande, dans le Plan d'études (2012) du cycle d'orientation (Cycle 3 : 13-15 ans), il s'agit d'« analyser des phénomènes naturels et des technologies à l'aide de *démarches caractéristiques des sciences expérimentales* » (p. 9).

Pourtant, au niveau des recherches sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences, force est de constater que des doutes persistent vis-à-vis de la capacité de ces nouvelles méthodes de l'enseignement des sciences à atteindre leurs objectifs, et notamment celui de « rendre les élèves acteurs de leurs propres apprentissages ». En s'appuyant sur des études de cas de la mise en œuvre de démarches d'investigation en France, un phénomène didactique remarquable a été répertorié à de nombreuses reprises : Venturini et Tiberghien (2012) montrent que le professeur « n'exploite pas le travail que les élèves viennent de faire en binôme pour faire avancer le savoir » et que « la dévolution tentée ne s'opère pas » (p. 106) ; Marlot (2016b) établit que le professeur se retrouve en posture de « meneur de jeu » et « balise la tâche des élèves de manière à ce que le temps de l'horloge avance » et que « les savoirs en jeu (...) ne sont pas l'objet de transactions didactiques lors des phases collectives de synthèse » (p. 178) ; Triquet et Guillaud (2016) remarquent

que « devant le foisonnement des propositions des élèves (...) l'enseignant[e] retient seulement celles attendues, opérant une restriction sans véritable concertation » et que « c'est au moyen d'un guidage appuyé qu'elle opère, privant les élèves des possibilités de s'en sortir par eux-mêmes (p. 108) ; au niveau institutionnel, dans le texte qui dresse le bilan de la mise en œuvre des programmes issus de la réforme de l'école primaire de 2008 en France, le rapport de l'IGEN de 2013 conclut, quant à lui, que « les propositions (ou hypothèses) des élèves sont peu prises en compte » (p. 50). Autrement dit, la participation des élèves à la construction des savoirs en classe reste minime, voire inexistante, alors même que les pratiques d'enseignement investiguées s'appuient sur des démarches d'investigation au sein desquelles les élèves sont supposés prendre de nouvelles responsabilités en termes de raisonnement scientifique et d'élaboration de savoirs. Dans la littérature, l'origine de ce paradoxe a principalement été recherchée du côté de la professionnalité des enseignants, explicitée en termes d'épistémologie pratique, de rapports aux savoirs ou encore de normes professionnelles doxiques ; ont notamment été mis en avant la posture épistémologique des enseignants (inductiviste ou empiriste), leurs difficultés à appréhender le déplacement des rôles de l'élève et de l'enseignant (par rapport à un enseignement transmissif) et à gérer l'incertitude qui en découle, leur compréhension erronée de la démarche d'investigation, des défaillances dans leur formation initiale, etc. (Marlot, 2016a ; Cross et Grangeat, 2014 ; Marlot et Morge, 2015 ; Calmettes, 2009 ; Molvinger, 2017).

Pour notre part, sans nier l'importance cruciale des facteurs liés à l'enseignant, nous proposons dans cet article un renouvellement de la perspective adoptée sur le phénomène didactique mis en lumière dans les études précédentes. Tout d'abord, nous proposons de distinguer clairement trois niveaux d'analyse : i) la responsabilité des élèves telle qu'elle est anticipée par l'enseignant et/ou la ressource dont il se sert (ce que les élèves sont supposés prendre en charge vis-à-vis des savoirs à construire au sein de la situation didactique projetée) ; ii) l'activité des élèves (ce qu'ils font et ce qu'ils disent au sein de la situation didactique effective) ; et iii) le « degré » de prise en compte des produits de l'activité des élèves par l'enseignant (ce que l'enseignant est en mesure d'utiliser de ce que les élèves font et disent pour élaborer les savoirs scientifiques scolaires).

La caractérisation de ces trois niveaux exige de recourir à des outils spécifiques :

- L'étude de la transition du premier au deuxième niveau nécessite notamment de recourir à des références épistémologiques : pour donner un exemple très usuel, si les élèves sont censés émettre des hypothèses dans la situation didactique projetée, il s'agit de trouver des critères qui nous permettent d'attester que ce qu'ils disent *in situ* relève bien d'une hypothèse au sens épistémologique du terme, et pas d'une proposition, d'une explication ou d'une prédiction, comme c'est souvent le cas (Molvinger, 2017 ; Mathé, Méheut et De Hosson, 2008).
- L'étude de la transition du deuxième au troisième niveau nécessite de faire appel à des cadres théoriques permettant de caractériser l'action humaine en contexte d'enseignement et d'apprentissage : en particulier, il s'agit de mobiliser des outils qui permettent de déterminer si les significations construites par les élèves *in situ* trouvent leur place dans la dynamique de construction des savoirs, ou bien si elles sont juxtaposées sans être réellement traitées, ou encore dénaturées et réduites à d'autres significations mieux appréhendables par l'enseignant au regard de son projet d'enseignement, etc.

De plus, nous faisons un pas de côté par rapport aux explications privilégiées jusque-là pour rendre compte des difficultés de mise en œuvre de la « démarche d'investigation » en nous centrant, non plus sur les caractéristiques des enseignants, mais sur celles des situa-

tions didactiques et sur les opportunités que ces situations offrent en termes de dynamique de construction des savoirs en classe. Nous définissons une situation didactique comme la conjonction d'un milieu initial (constitué par l'ensemble des consignes et objets¹ proposés par l'enseignant pour engager les élèves dans une tâche) et des usages habituels développés vis-à-vis des éléments du milieu, que ces usages proviennent de la classe ou d'institutions externes à la classe (famille, par exemple). Dans ce cadre, il s'agit de spécifier en quoi les conditions arborées par certaines situations didactiques ont une incidence aux deux derniers niveaux d'analyse développés ci-dessus : ce que les élèves font et disent, d'une part ; et ce que l'enseignant est en mesure de prendre en compte par rapport à ce que les élèves font et disent pour construire les savoirs, d'autre part.

Notre article se fonde sur un travail de thèse (Marty, 2019) qui s'est inscrit dans un projet de recherche international (« Teaching traditions and learning. Comparative didactic analysis of science education and physical education and health in Sweden, Switzerland and France »). Cet article se propose de montrer que cette perspective permet de donner une nouvelle interprétation aux échecs des pratiques d'enseignement qui mettent en œuvre des démarches d'investigation mais aussi au niveau de la recherche, de faire émerger de nouvelles formes d'enquête, qui vise à modéliser les situations didactiques en fonction de leurs potentialités en termes de dynamique de construction des savoirs, et cela à partir d'une analyse ascendante et pragmatiste des pratiques didactiques ordinaires.

Action didactique conjointe du professeur et des élèves et construction de significations

Le cadre théorique dans lequel nous nous situons articule une modélisation de l'action du professeur et des élèves, considérée comme une action didactique conjointe, d'une part et une approche pragmatiste de la construction des significations dans les discours en classe, d'autre part.

La modélisation de l'action didactique conjointe du professeur et des élèves telle que développée par Sensevy et Mercier (Éds) (2007) à partir d'un modèle de l'action du professeur (Sensevy, Mercier et Schubauer-Leoni, 2000) fonde l'étude des pratiques d'enseignement et d'apprentissage sur le principe d'indissociabilité des instances du système didactique. L'action du professeur ne peut se comprendre sans prendre en charge celle des élèves (et inversement), mais également l'enjeu de savoir qui les relie. Cette perspective trouve ses fondements dans le paradigme interactionniste-social de compréhension de l'action humaine, selon lequel l'action d'un sujet n'est jamais exécutée de façon isolée mais est sous-tendue par un processus d'interprétation du sens des actions d'autrui (Schubauer-Leoni et Leutenegger, 2005 ; Schubauer-Leoni, Leutenegger, Ligozat et Fluckiger, 2007). Dans cette modélisation, l'enseignant et les élèves ajustent chacun leurs propres lignes d'action, en interprétant celle de l'autre depuis les postures dissymétriques qui les caractérisent vis-à-vis des savoirs en jeu (Chevallard, 1985/1991)².

Afin de comprendre le processus de construction des significations, et donc ce qui s'apprend du point de vue des sujets, cette modélisation de l'action didactique considérée comme conjointe tire profit à être complétée par une approche pragmatiste des discours en classe, soit une analyse de l'épistémologie pratique des élèves et de l'enseignant (Practical

¹ La notion d'objet est prise dans un sens très large ici : un objet peut notamment être matériel, symbolique, langagier, etc.

² Il existe en effet une dissymétrie fondamentale entre l'enseignant et les élèves vis-à-vis des savoirs : c'est à l'enseignant que revient la responsabilité de choisir les savoirs à l'étude, de planifier les situations à travers lesquelles les élèves rencontrent ces savoirs et de prévoir le rôle des élèves au sein de ces situations.

Epistemology Analysis) (Wickman et Östman, 2002 ; Wickman, 2004 ; Hamza et Wickman, 2009). Cette approche se fonde sur deux idées centrales. D'abord, le sens des mots ne découle pas de l'application de règles définies à l'avance mais il se construit progressivement dans les usages que les personnes développent face à des situations sans cesse inédites (Wittgenstein, 1965) : cela signifie, entre autres, que le sens des mots évolue, du point de vue des personnes, au fil des situations qu'elles rencontrent. Ensuite, le flux de l'action des personnes dans leur environnement caractérise leur expérience. Cette expérience est continue tant que la personne peut articuler les moyens à sa disposition avec les buts qu'elle identifie dans la situation. Lorsque ce n'est plus possible, l'action est arrêtée et une enquête est nécessaire pour rétablir la continuité (Dewey, 1938). À cette occasion, de nouvelles significations sont construites, identifiables à travers les systèmes de désignation utilisés (les mots, les traces symboliques, les gestes de pointage, etc.). Les processus d'enquête incarnent des moments spécifiques dans l'expérience, au cours desquels une continuité entre l'ancien et le nouveau est établie :

[E]xperience is continually transformed by the transactions taking place between an individual and his environment. Subjects build continuity between past and present experiences so that experience earned in a given situation becomes an instrument for understanding and dealing with the situations which follow³. (Ligozat, Wickman et Hamza, 2011, p. 2472-2473)

Selon cette approche, il est alors possible d'analyser quelles significations se construisent « pratiquement » (« Practical epistemology analysis »), au regard des enjeux (« Purposes ») que les sujets (enseignant ou élèves) assignent aux situations qu'ils rencontrent. Cette approche permet de se placer à la hauteur de la lecture de la situation par le sujet, sans préjuger de ce qui est juste ou faux. Toutefois, si l'on replace cette analyse de la construction de significations dans une théorisation des systèmes didactiques qui assume la dissymétrie épistémologique entre le professeur et les élèves, il peut s'avérer que les significations construites par les élèves soient compatibles ou incompatibles avec le savoir savant ou bien plus concrètement, avec les attentes de l'enseignant.

De plus, nous considérons que cette approche pragmatiste de la construction des significations en situation scolaire présente des points de convergence avec la notion de « rapport aux objets », telle que développée par Chevallard dans sa théorisation du fonctionnement des institutions didactiques. Selon Chevallard (2003, p. 81), le rapport personnel d'un individu à un objet représente « le système de toutes les interactions que l'individu peut avoir avec cet objet – que le sujet le manipule, l'utilise, en parle, en rêve, etc. ». Connaître un objet signifie avoir un certain rapport à cet objet, quelle que soit la nature de ce rapport. Lorsqu'un objet vit au sein de plusieurs institutions⁴, celles-ci imposent chacune à leurs sujets un rapport institutionnel idéal à cet objet : le rapport personnel d'un individu à un objet se transforme au gré de ses assujettissements au sein de toutes les institutions dans lesquelles cet objet possède une existence. Puisque certains rapports institutionnels sont susceptibles de rentrer en concurrence, on ne peut pas dire d'un individu qu'il connaît ou ne connaît pas un objet, mais seulement qu'il connaît (ou non) cet objet dans les termes

³ « L'expérience [subjective, en première personne] est continuellement transformée par les transactions qui ont lieu entre un individu et son environnement. Les sujets construisent une continuité entre les expériences passées et présentes de sorte que l'expérience acquise dans une situation donnée devient un instrument pour comprendre et traiter les situations qui suivent. » (notre traduction)

⁴ La famille, l'école, la classe de physique ou celle de biologie, ou encore le groupe de travaux pratiques sont des exemples d'institutions auxquels sont assujettis les élèves.

d'une institution particulière⁵. La personne est « un émergent de ses assujettissements passés et présents, auxquels on ne saurait donc jamais la réduire » (Chevallard, 2003, p. 84). De notre point de vue, le doublet « rapport personnel/rapport institutionnel » permet de caractériser les significations construites par les élèves (à la manière de l'analyse des épistémologies pratiques développée dans les travaux de Wickman et ses collaborateurs), mais encore il permet de caractériser l'effet d'une institution didactique sur l'évolution de ces significations.

L'analyse de la compatibilité entre les approches basées sur la modélisation de l'action didactique conjointe et l'approche pragmatiste de construction des significations des discours en classe a déjà été menée ailleurs (Ligozat, Wickman et Hamza, 2011 ; Ligozat, Lundqvist et Amade-Escot, 2018). Pour notre part, nous considérons que ces deux approches nous permettent de proposer une description de la dynamique de construction des savoirs en contexte scolaire, qui fait appel à deux formes de continuité :

- Au sein des situations que l'enseignant lui propose et qui, du point de vue de l'élève, sont toujours inédites, ce dernier construit de nouvelles significations en faisant émerger des connexions entre certains objets de la situation et l'ensemble des rapports antérieurs qu'il a construits vis-à-vis de ces objets, dans les diverses institutions où ces objets possèdent une existence (pour l'élève). C'est la première forme de continuité, caractéristique de la gestion cognitive de la dialectique ancien-nouveau, et déjà explorée en psychologie de l'apprentissage, notamment à travers l'étude des processus d'analogie (Hofstadter et Sander, 2013 ; Gentner et Medina, 1998).
- Si les nouvelles significations construites par les élèves se diffusent au sein de la classe, elles donnent lieu à une négociation au cours de laquelle l'enseignant les oriente, les modifie ou en écarte certains en fonction des enjeux de savoir qu'il est le seul à connaître à l'avance. Cette négociation⁶ peut conduire à des ruptures ou des continuités plus ou moins importantes entre les significations construites par les élèves et les savoirs qui ont vocation à être institués par l'enseignant⁷. Autrement dit, ce que les élèves font et disent est susceptible de trouver plus ou moins sa place dans la dynamique de construction des savoirs, dynamique ultimement pilotée par l'enseignant. C'est la deuxième forme de (dis)continuité, qui résulte du travail de l'enseignant sur les significations des élèves au sein de l'action didactique conjointe.

Dans ce cadre, les concepts de mésogenèse, topogenèse et chronogenèse constituent les descripteurs privilégiés de la dynamique de construction des savoirs, sous couvert de contrat didactique. La mésogenèse décrit la dynamique du milieu, le milieu étant élargi « à la contingence des objets convoqués et des significations construites par les sujets, au fil de l'action dans la situation » (Ligozat, 2015, p. 19). La topogenèse décrit l'évolution du

⁵ Du côté de l'approche pragmatiste développée par Wickman et ses collaborateurs, cela nous ramène au fait que le sens des mots utilisés dans les échanges en classe change en fonction des buts identifiés dans la situation par les participants. Ces buts (*purposes*) sont dépendants de enjeux du contrat didactique rendus visibles (ou pas) pour les sujets des institutions didactiques.

⁶ Afin d'échapper au présupposé constructiviste présent dans de nombreuses théorisations de l'enseignement/apprentissage (tel que dénoncé par Radford, 2019, par exemple), il est important de noter que la négociation se joue au niveau de la construction des significations du point de vue de sujets, et non pas au niveau des savoirs qui sont visés par l'enseignant. La combinaison des deux approches mentionnées permet d'éclairer une prise de position sur le sens du concept de contrat didactique dans la modélisation de l'action didactique considérée comme conjointe, que l'une de nous a défendu il y a quelques années déjà (Ligozat et Schubauer-Leoni, 2010).

⁷ Ces savoirs institués constituent une référence partagée au sein de la classe, référence qui s'accroît au fur et à mesure de la progression des savoirs.

partage des responsabilités entre les participants par rapport aux significations et aux objets introduits dans le milieu. La chronogenèse décrit la dynamique de la progression des savoirs institués au fil du temps de l'enseignement. La topogenèse et la chronogenèse, majoritairement pilotées par l'enseignant, décrivent le processus de contrôle ou de négociation du tout-venant des significations qui se construisent dans la classe : il est alors possible de dégager des techniques enseignantes de gestion du partage des responsabilités et de gestion du déploiement temporel du savoir (techniques topogénétiques et techniques chronogénétiques, au sens de Ligozat et Leutenegger, 2008). Parmi les techniques topogénétiques déjà répertoriées se trouvent notamment : se placer en retrait (lorsque l'enseignant laisse le milieu orienter seul les significations produites par les élèves) ; faire preuve de postulation mimétique (lorsqu'il fait semblant de ne pas savoir davantage que les élèves) ; se mettre en position d'accompagnement (lorsqu'il participe à la reformulation des significations introduites par les élèves) ; utiliser une coalition (lorsqu'il organise la mise en débat des différentes significations émergentes) ; se mettre en surplomb (lorsqu'il statue sur la pertinence ou la non-pertinence des significations de la mésogenèse). Parmi les techniques chronogénétiques, il est possible d'identifier : faire appel à la mémoire didactique de la classe ; anticiper/orienter des actions possibles ; ouvrir une enquête en suspendant son jugement ; instituer des objets/faire des déclarations d'avancée ; repérer des indices de fin d'activité.

À l'aide des outils que nous venons d'évoquer, il est alors possible, à travers une analyse ascendante de la transposition actualisée dans des pratiques didactiques ordinaires (Quilio, 2017 ; Ligozat, Monge et Marty, 2018/en préparation) de répondre aux interrogations suivantes :

- Au sein d'une situation didactique donnée, quelle continuité existe-t-il entre les significations construites par les élèves et les savoirs institués par l'enseignant ?
- En quoi cette continuité (ou discontinuité) est-elle reliée aux caractéristiques de la situation didactique ? Quelles sont les conditions requises au sein d'une situation didactique pour que les élèves puissent développer leur participation à la construction des savoirs ?

Analyse clinique et expérimentale des systèmes didactiques

Sur le plan méthodologique, une manière d'éprouver l'hypothèse selon laquelle la nature des situations didactiques contraint les modalités de participation des élèves à la construction des savoirs consiste à explorer une variété de situations didactiques, notamment à travers l'analyse comparative de plusieurs pratiques scolaires marquées par des projets éducatifs distincts.

Nos analyses se fondent sur la construction d'une « collection » d'études de cas⁸, qui font intervenir des observations réalisées dans deux contextes francophones (France et Suisse romande). Nous avons montré ailleurs (Marty, Venturini et Almqvist, 2018 ; Marty et Ligozat, 2019) que les textes curriculaires relatifs aux disciplines scientifiques en France et en Suisse romande exhibent des points communs et des divergences : à un niveau général, nous retrouvons dans les deux contextes l'orthodoxie éducative selon laquelle les élèves doivent s'engager dans une posture active d'exploration du monde, selon des procédures analogues à celles mises en œuvre au sein des communautés scientifiques. À un niveau plus local, le Plan d'études romand met surtout en avant la construction, l'utilisation ou

⁸ Ces études de cas ont été réunies pour les besoins de la thèse de l'une d'entre nous (Marty, 2019). Au total, une dizaine de séquences d'enseignement scientifique ont été enregistrées : 6 en Suisse Romande (4 à l'école primaire et 2 au secondaire inférieur) et 4 en France (2 à l'école primaire et 2 au secondaire inférieur).

l'enrichissement de modèles scientifiques (en suivant une approche inspirée des ingénieries didactiques construites par Larcher, Chomat et Méheut, 1990 ; Séré, 1992 ; Genzling, 1988) tandis que les programmes français développent davantage l'opérationnalisation de la démarche scientifique, souvent présentée comme une succession d'étapes de forme hypothético-déductive qui s'organisent dans le but de répondre à un problème ou une question initiale. En faisant appel à des choix de transposition différents, nous nous donnons potentiellement accès à une diversité de pratiques en termes de situations didactiques et de dynamique de construction des savoirs.

Dans cet article, nous présentons un aperçu de deux de ces études de cas : la première concerne une unité d'enseignement sur les états et les changements d'état de la matière au primaire en France (classe de Louise), et la seconde traite de la même thématique dans une classe du secondaire inférieur en Suisse romande (classe d'Esther). Chacune des enseignantes s'est appuyée sur des ressources mises à disposition par les institutions officielles de leur contexte respectif : la séquence de Louise s'adosse sur une ressource mise au point par le Centre Départemental de Ressources en Sciences de la Haute-Garonne⁹ ; quant à Esther, sa séquence s'inspire d'un moyen d'enseignement du canton de Genève¹⁰.

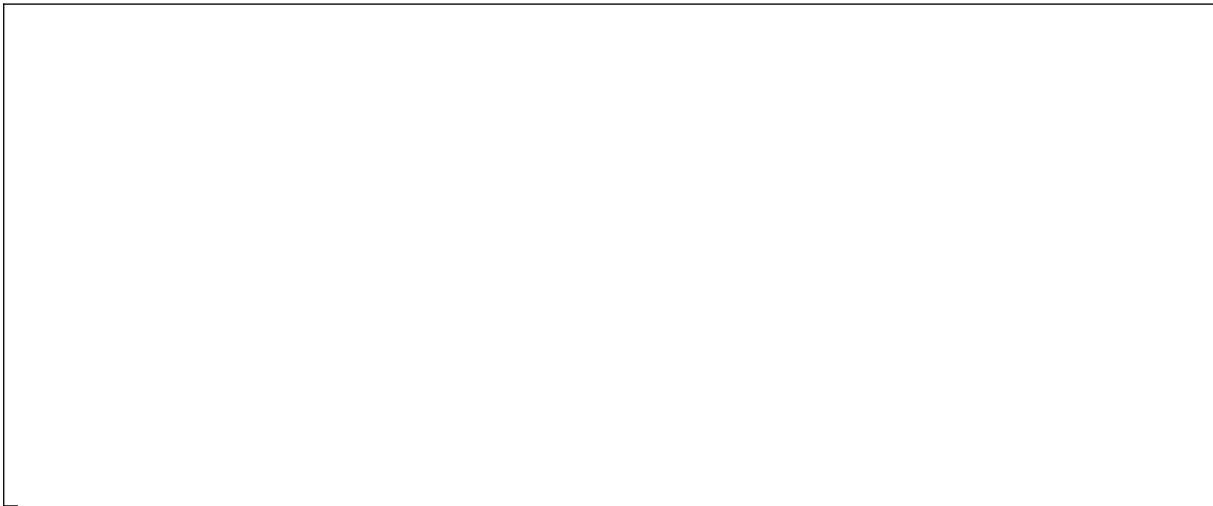
Le tableau ci-dessous expose les situations didactiques que nous avons choisi d'analyser, tel qu'elles sont anticipées dans les ressources sur lesquelles se sont appuyées les enseignantes, notamment en termes de responsabilités des élèves vis-à-vis du savoir à construire (cf. les flèches rouges dans le tableau 1).

Tableau 1 : Extrait des ressources utilisées par Louise (situation A) et Esther (situation B)

Situation A (classe de Louise)
Situation B (classe d'Esther)

⁹ Les différents modules de la ressource (guide de l'enseignant, fiches à distribuer aux élèves, etc.) sont disponibles ici : <https://edu1d.ac-toulouse.fr/politique-educative-31/mathesciences31/2018/01/29/defi-scientifique-pour-les-ce-2-cm1-cm2/>. Consulté le 19 avril 2023.

¹⁰ Dès 2016, des moyens d'enseignement communs à la Suisse romande ont été introduits mais à l'époque des enregistrements vidéos, chaque canton de la Suisse Romande (dont celui de Genève) disposaient de ses propres moyens d'enseignement.



Au sein de la situation A (classe de Louise), les élèves sont censés « écrire des hypothèses » et « choisir la méthode d’investigation adaptée » ; au sein de la situation B (classe d’Esther), les élèves sont censés « concevoir une expérience » et « expliquer au moyen du modèle moléculaire » un phénomène physique. Ce que nous voulons souligner ici est que, dans les deux contextes, les situations didactiques projetées assignent aux élèves des responsabilités importantes dans la construction des savoirs. Il s’agit dans les deux cas de relier des éléments du monde empirique (la disparition de l’eau liquide dans la situation A ; les différences de volatilité entre l’eau et l’alcool dans la situation B) et des éléments de modèle scientifique (transition eau liquide-vapeur d’eau dans la situation A ; modèle moléculaire dans la situation B).

Malgré ces similitudes, nous mettons en évidence que, d’une part, la dynamique de construction des savoirs s’avère très contrastée entre les deux situations didactiques et que, d’autre part, il est possible de rendre compte de ce contraste à l’aide d’une analyse fine de la structuration des deux situations, en montrant en quoi celle-ci a une incidence sur les logiques d’action des élèves et de l’enseignant. Sans rentrer plus en détail à ce stade, nous considérons ces deux situations comme emblématiques de certains phénomènes didactiques que nous mettons en évidence lors de l’analyse de leur mise en œuvre effective.

Pour un contexte donné, le processus d’analyse procède en deux étapes bien distinctes qui relèvent de l’approche clinique et expérimentale des systèmes didactiques (Leutenegger, 2009) :

- Un premier niveau de description consiste à décanter les caractéristiques globales de la séquence d’enseignement mise en œuvre par l’enseignante, de façon ascendante, c’est-à-dire à partir de la structure de l’action qui s’est effectivement déroulée dans la classe. Cette étape conduit à la construction de deux synopsis qui correspondent à deux échelles d’analyse : le synopsis macroscopique balaye les différents enjeux et sous-enjeux d’apprentissage ; le synopsis mésoscopique détaille, pour un sous-enjeu d’apprentissage donné, les différentes phases d’action développées pour atteindre ce sous-enjeu (cf. figure 1).
- Nous avons choisi de nous concentrer sur la dynamique de construction des savoirs, qui part de l’observation collective d’un phénomène physique (l’évaporation dans les deux cas) et qui s’achève par l’interprétation de ce phénomène (en termes de changement d’état au primaire, en termes de comportement moléculaire au secondaire). Un deuxième niveau de description, à l’échelle microscopique consiste à isoler certains événements précis au sein de l’action conjointe enseignant-élèves ;

l'ensemble des évènements collectés doit permettre de donner une représentation précise de l'articulation des moments cruciaux qui aboutissent à l'interprétation du phénomène d'évaporation (cf. figure 1). Les outils décrits dans notre cadre théorique nous permettent alors de caractériser la dynamique de construction des savoirs au fil de ces évènements.

Figure 1 : Articulation des échelles d'analyse dans l'analyse clinique et expérimentale des systèmes didactiques (Ev = Évènement)

Étude de cas dans la classe de Louise : Situation A

La classe de Louise correspond au niveau CM1 (élèves âgés de 9 à 10 ans) et comprend 23 élèves. L'école primaire à laquelle elle appartient se situe à la périphérie d'une métropole régionale et appartient au Réseau d'Éducation Prioritaire renforcé (REP+). L'enseignante enseigne à l'école primaire depuis quinze ans et est devenue maître-formatrice l'année précédant la prise de données. Elle est également titulaire d'un Master en sciences de l'éducation (parcours : formation de formateurs d'enseignants) obtenu deux années auparavant.

Présentation de la séquence d'enseignement de la classe de Louise

La séquence de Louise s'ouvre sur la présentation d'un défi lancé aux élèves (« défi GrandSoif ») qui met en scène un personnage imaginaire échoué sur une île déserte (GrandSoif) et pour lequel il s'agit de transformer l'eau salée de la mer en eau potable. Le défi GrandSoif constitue un prétexte pour l'ensemble des explorations de la matière qui suit son introduction : elles concernent les phénomènes d'évaporation et de condensation, les facteurs d'accélération de l'évaporation et les propriétés des mélanges aqueux. À la fin de la séquence d'enseignement, divers montages expérimentaux censés pourvoir GrandSoif en eau potable sont construits, la plupart se fondant sur une évaporation de l'eau salée (accélérée par la chaleur) suivie de la condensation de l'eau dessalée à l'aide d'un mécanisme de refroidissement (cf. figure 2).

Figure 2 : synopsis macroscopique de la séquence de Louise

Nous nous intéressons ici à l'étude des phénomènes d'évaporation et de condensation. Celle-ci est amorcée par la mise en évidence d'une « disparition » de l'eau liquide laissée à l'air libre : en effet, l'enseignante a placé une éprouvette remplie d'eau en hauteur dans un coin de la classe et le lendemain, celle-ci a constaté que le niveau de l'eau avait baissé et donc qu'une certaine quantité d'eau liquide avait « disparu ». Louise demande alors aux élèves de déterminer ce qu'est devenue l'eau « disparue ». Puis, elle recueille et met en commun les explications des élèves et introduit un document écrit qui expose les notions d'évaporation et de condensation (cf. figure 3). Nous soulignons que dans la classe de Louise, les enjeux de savoir visés par l'activité sont orientés vers l'identification et la reconnaissance du changement d'état que subit l'eau, de la forme liquide à la forme vapeur.

Figure 3 : synopsis mésoscopique correspondant au sous-enjeu « Interprétation de la disparition de l'eau liquide »

Nous cherchons à caractériser la dynamique de construction de savoirs, depuis la constatation de la « disparition » de l'eau liquide jusqu'à l'institutionnalisation des notions-clé de vapeur d'eau et d'évaporation, en nous centrant sur l'expérience d'apprentissage des

élèves, c'est-à-dire les ruptures et continuités qui apparaissent si on adopte leur point de vue.

De la « disparition » de l'eau à la notion de vapeur d'eau : dynamique de construction des savoirs

Après un travail individuel de production d'explications au sujet de l'eau disparue, Louise diffuse les idées des élèves :

Extrait L1 : Louise diffuse les différentes explications relatives à la disparition de l'eau liquide

Ens : (à tous) allez ! Alors on vous a demandé comme question : qu'est devenue l'eau qui n'est plus dans l'éprouvette ? Alors Farel qu'est-ce que tu penses ?

Far : l'eau qui était dans le verre, avec la chaleur elle est partie dans les sphères du verre. Y a des petits trous dans les verres...

Ens : où y a des petits trous ?

Far : dans le plastique là...

Ens : donc ça veut dire que le récipient l'a absorbé. Bon, alors qu'est-ce que vous en pensez les autres ?

You : elle a peut-être fondu ou elle s'est évaporée dans le ciel (...). C'est le soleil qui prend l'eau. Y a les rayons qui passent sur l'eau (xxx) et ça chauffe. Après ben ça part...

Ens : ce qu'on se demande, c'est où est-ce que ça part ? chut ! on lève le doigt !

Bap : dans la terre (...).

Aar : moi je pense que c'est l'évaporation mais je suis pas tout à fait d'accord avec Farel : je crois pas que ça reste dans le plastique, je pense que ça évapore dans l'air.

Ens : donc y en a plusieurs qui m'ont mis ça. Qui est-ce qui m'a mis ça s'évapore ? Que ça part dans l'air ?

Meh : ça part dans les nuages...

Ens : donc ça veut dire que...on récapitule : y en a qui pensent que l'eau elle s'évapore. Pas mal d'entre vous ont dit qu'elle s'évapore par rapport à la chaleur, au soleil. Et y en a plein qui m'ont dit soit dans le ciel soit dans l'air et là Mehdi dit dans les nuages (...). Où est-ce qu'on va aller voir pour savoir ce que c'est la vapeur ? L'évaporation ? (Silence) Dans les documentaires. En fait je vous ai photocopié des documentaires qui expliquent un petit peu ces phénomènes donc on va commencer à les lire.

L'analyse de la mésogenèse nous permet de catégoriser la diversité des rapports qui s'établissent vis-à-vis du phénomène de « disparition » de l'eau liquide au cours de cet extrait :

- Certains élèves procèdent à un « étiquetage » de la disparition de l'eau, sans se risquer à une explication : « l'eau a fondu » (TdP 6), « l'eau évapore » (TdP 9).
- Un élève évoque une « absorption » (TdP 5) de l'eau liquide par les « petits trous du plastique » de l'éprouvette (TdP 2 et 4).
- D'autres élèves se concentrent sur un lieu supposé de la présence de l'eau : « l'eau est partie dans la terre » (TdP 8), « dans les nuages » (TdP 11), « dans l'air » (TdP 9), « dans le ciel » (TdP 6). Notons que ce dernier type d'explications est fa-

vorisé par les propos de l'enseignante dès le TdP 7 puisqu'elle demande aux élèves de déterminer où l'eau a disparu (ce qui incite à se focaliser sur un endroit particulier de l'espace) et non pas ce que l'eau est devenue, comme dans la consigne orale initiale (TdP 1) ou sur la fiche distribuée aux élèves (ce qui aurait pu inciter à s'interroger sur le changement de nature qu'elle subit).

Louise se maintient dans une position topogénétique basse caractérisée par un accompagnement distancié des propositions d'élèves. Cet accompagnement procède par des échos (« on récapitule (...) dans les nuages », TdP 12), des reformulations (« ça veut dire que le récipient l'a absorbée », TdP 5), des regroupements de propositions similaires (« y'en a plusieurs qui ont mis ça, TdP 10) et des demandes d'approfondissement (« qu'est-ce que vous en pensez les autres ? », TdP 5). De façon générale, les techniques topogénétiques déployées contribuent à la suspension du jugement de la part de l'enseignante : l'enseignante ne s'engage pas dans l'évaluation de la pertinence des explications des élèves par rapport au phénomène étudié. La topogénèse est alors caractérisée par une part de responsabilité importante octroyée aux élèves dans la construction de nouvelles significations et la chronogénèse par une suspension de l'avancée des savoirs.

Mais cette suspension n'est que temporaire et il est intéressant de relever la bascule topogénétique et chronogénétique de l'enseignante à la fin de l'extrait et d'analyser ses implications sur la dynamique de construction des savoirs : une fois résumées les positions des élèves, c'est Louise qui recentre la discussion sur les notions d'évaporation et de vapeur (c'est d'ailleurs l'enseignante qui introduit ce dernier terme pour la première fois dans le milieu) et qui, devant le silence persistant des élèves, formule elle-même la règle d'action pertinente pour en savoir plus sur ces notions (« se reporter à la lecture de documentaires scientifiques », TdP 12). En fait, ces « documentaires scientifiques » désignent des fiches écrites préparées par Louise en amont, qui dévoilent la plupart des traits pertinents relatifs au phénomène étudié :

Figure 4 : Extrait du « documentaire scientifique » sur l'évaporation préparé par Louise et distribué aux élèves

Le « documentaire scientifique » expose l'ensemble des savoirs visés au sujet de l'évaporation et de la condensation, tant au niveau de la description des phénomènes eux-mêmes que des modélisations qui les interprètent. À propos de l'évaporation, deux événements sont mentionnés : l'eau liquide qui disparaît d'un récipient et le linge qui sèche. Ces deux événements sont associés sous un vocabulaire commun (« s'est évaporée », « s'évapore », « l'évaporation de l'eau ») et sont censés relever de la même modélisation : l'évaporation correspond à « la transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau », un « gaz invisible et sans odeur ».

Une lecture collective de la fiche, sous la houlette de l'enseignante, aboutit à une stabilisation de l'interprétation de la « disparition » de l'eau liquide sous la forme d'une institutionnalisation du changement d'état qu'elle subit : l'eau liquide se change en vapeur d'eau, la vapeur d'eau étant une nouvelle « forme d'eau », non perceptible directement par les sens.

Lien entre la dynamique de construction des savoirs et la structuration de la situation

En résumé, dans un premier temps, Louise recueille et diffuse les rapports à la « disparition » de l'eau liquide que les élèves ont construits ou construisent *in situ* en réponse à ses sollicitations. Une diversité de points de vue s'établit dans le milieu d'étude : « étiquetage » du phénomène (« l'eau s'évapore », « fond »), nouvelle localisation de l'eau (« l'eau est absorbée dans le plastique », « partie dans la terre », « le ciel » ; etc.). Puis, Louise introduit et institue de son propre chef l'ensemble des traits pertinents relatifs à la « disparition » de l'eau en introduisant un document écrit qui expose la notion de vapeur d'eau et les modèles macroscopiques de l'évaporation et de la condensation. Ce second temps de la discussion est marqué par une absence de retour sur les significations construites par les élèves, à l'exception d'un épisode très bref dans lequel l'enseignante décrète qu'« on sait maintenant que l'eau n'a pas fondu ».

Au final, les différentes propositions des élèves sont simplement juxtaposées sans être négociées. Elles n'ont pas été intégrées à la dynamique de construction des savoirs et ne participent pas à leur avancée. Depuis la perspective des élèves, ceux qui ont eu l'opportunité de diffuser leur rapport à la « disparition » de l'eau liquide dans le collectif, encouragés en cela par la position topogénétique d'accompagnement de l'enseignante, voient se refermer sur eux les caractéristiques du modèle théorique visé : il existe une discontinuité importante entre les rapports que les élèves ont construits vis-à-vis de la « disparition » de l'eau dans l'éprouvette et ce qu'en dit le document de référence. Par exemple, Farel qui défendait l'idée que l'évaporation de l'eau équivalait à son absorption par les « petits trous » du plastique de l'éprouvette ou bien Baptiste qui pensait que l'eau allait dans la terre doivent se conformer à une autre manière de concevoir la « disparition » de l'eau liquide, qui se fonde des notions plus abstraites, telles une nouvelle forme d'eau imperceptible (« la vapeur d'eau ») et un changement d'état (c'est-à-dire de forme) de l'eau¹¹.

Il s'agit maintenant de démontrer la solidarité entre la dynamique de construction des savoirs qui vient d'être décrite (caractérisée par une discontinuité entre les rapports

¹¹ Notons que même les propositions des élèves « l'eau s'évapore » ou « l'eau est partie dans l'air », qui partagent certaines caractéristiques avec le point de vue scientifique, ne sont pas équivalentes à « l'eau se transforme en vapeur d'eau » ou « l'air contient de la vapeur d'eau ». Comme nous l'avons souligné, le cœur de l'enjeu réside bien dans l'identification et la reconnaissance du changement d'état que l'eau subit et de la nouvelle « forme d'eau » que ce changement induit. Dans ce cadre, il convient de remarquer l'absence de toute référence à la vapeur d'eau ou à un changement d'état (ou de nature) de l'eau dans les propositions d'élèves, d'où la discontinuité ressentie pour tous les élèves.

construits par les élèves et ceux institués par l'enseignante) et la nature de la situation didactique à laquelle ils sont confrontés. Rappelons qu'il leur est demandé d'expliquer ce qu'est devenue une certaine quantité d'eau liquide, qui a disparu de l'éprouvette, sans qu'aucune référence commune à la classe n'ait été établie à propos des états et/ou des changements d'état de l'eau. Plusieurs conséquences se dégagent de la structuration de la situation :

- Sans référence commune sur laquelle s'appuyer, les élèves convoquent une multiplicité de références externes à la classe de Louise pour faire sens de la tâche proposée, en fonction de la contingence des connexions qu'ils établissent entre la « disparition » de l'eau liquide et d'autres situations qu'ils connaissent déjà. Les élèves qui évoquent une absorption de l'eau (par la terre ou non) peuvent se référer à des situations familières dans lesquelles ils constatent une disparition de l'eau liquide. L'élève qui affirme que « l'eau a fondu » peut importer la manière usuelle de parler des transformations de la matière dans sa vie quotidienne (par exemple, le sucre qui disparaît en « fondant »). L'élève qui assure que « l'eau est partie dans le ciel » peut se référer aux schémas habituels du cycle de l'eau dans lesquels les flèches qui symbolisent le trajet de la vapeur d'eau montrent un trajet direct vers le ciel, etc. La diversité des significations que les élèves peuvent construire dans la mésogénèse entraîne une gestion ardue pour Louise, car cette diversité n'est pas contrôlable en amont de la situation.
- Pour l'enseignante, une négociation des significations des élèves implique d'être en mesure de produire des arguments pour renforcer et/ou de contredire leurs propos. Or, les idées des élèves, imaginées au hasard des références externes, ne sont généralement pas testables : il n'existe pas de protocole expérimental réalisable en classe qui permettrait de vérifier si l'eau « disparue » de l'éprouvette est partie dans « le ciel », dans « la terre », dans « le plastique de l'éprouvette », etc. C'est en cela que les idées des élèves diffèrent des hypothèses des scientifiques, qui sont précisément créées pour être soumises au contrôle de l'expérience. De plus, même si, pour une raison ou une autre, il était possible de conclure expérimentalement que l'eau « disparue » se retrouve bien dans « l'air » de la classe ou dans l'atmosphère, cette conclusion resterait marginale en regard des enjeux de savoirs visés à travers la tâche : l'identification du changement d'état que l'eau subit (et non sa nouvelle localisation dans l'espace).

Au final, une fois les élèves engagés sur ce type de tâche, il semble difficile pour Louise de négocier les significations qu'ils construisent : d'une certaine manière, l'enseignante est prise au piège d'une situation qui ne lui permet plus de rétroagir sur les productions des élèves. Pour faire avancer le savoir, il ne lui reste qu'une solution : recourir à une validation exogène (le « documentaire scientifique ») pour introduire et imposer la notion de vapeur d'eau et d'évaporation. Ce faisant, l'enseignante introduit malgré elle un biais épistémologique à propos de la nature des savoirs scientifiques, car la validation d'une hypothèse scientifique ne s'obtient pas en cherchant la réponse toute faite dans un document. Il est alors possible de s'interroger sur le statut des significations construites par les élèves en réponse au problème de la disparition de l'eau liquide : s'agit-il réellement d'hypothèses, comme la ressource sur laquelle Louise s'est appuyée le prétend (cf. le tableau 1) ? Sans entrer plus en détail sur ce thème qui ne constitue pas le cœur de cet article, il nous semble qu'une réflexion sur le statut épistémologique des productions des élèves telles qu'elles apparaissent *in situ*, au cœur des transactions en classe serait intéressante, surtout dans un contexte de volonté institutionnelle de rapprocher les pratiques scolaires des pratiques scientifiques de référence.

Étude de cas dans la classe d'Esther : Situation B

Contexte

La classe observée correspond au niveau 11^{ème} (demi-classe de 10 élèves âgés de 14 à 15 ans, qui sont dans la troisième et dernière année du secondaire inférieur). Elle correspond à la section LS (littéraire et scientifique), section qui accueille les élèves qui se destinent généralement à des études supérieures longues. Le cycle d'orientation est situé dans le canton de Genève.

Après un Master de physique, Esther a travaillé pendant 6 ans dans plusieurs laboratoires de physique appliquée en lien avec l'EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne). Elle s'est ensuite engagée dans le cursus de formation des enseignants du secondaire de l'Université de Genève et enseigne la physique au cycle d'orientation depuis 4 ans.

Présentation de la séquence d'enseignement de la classe d'Esther

La séquence d'Esther, qui s'étale sur un semestre d'enseignement, vise à permettre l'étude de certaines transformations de la matière en termes de comportements moléculaires (cf. figure 5). Parmi ces transformations, se trouve : la diffusion d'un gaz, les phénomènes d'équilibre et de déséquilibre des pressions des gaz, la diffusion d'un liquide dans un autre liquide, la conduction et la dilatation thermiques, la dissolution d'un solide immergé dans un liquide, les changements d'état (l'ébullition, l'évaporation, la solidification), etc.

Figure 5 : synopsis macroscopique de la séquence d'Esther

Une caractéristique majeure de la séquence d'Esther réside dans sa structuration cyclique fondée sur la modélisation. En début de séquence, Esther a présenté des éléments d'un modèle moléculaire sous la forme d'un texte écrit :

Figure 6 : Texte du modèle moléculaire introduit en début de séquence dans la classe d'Esther

À partir de la présentation de ce modèle primitif, un phénomène physique est porté à la connaissance des élèves : pour expliquer ce phénomène ou prédire son évolution, il s'agit de mettre en application le modèle primitif et, possiblement, de lui adjoindre de nouvelles caractéristiques pour en obtenir une version enrichie. Dans un second cycle, un nouveau phénomène physique est présenté aux élèves : il donne une nouvelle fois l'occasion aux élèves d'utiliser le modèle (dans sa version enrichie ou non), en ayant pour référence la manière dont il a été appliqué sur un phénomène comparable lors du premier cycle d'activité. De nouvelles caractéristiques sont parfois ajoutées au modèle, puis vient un troisième cycle, etc. La séquence est constituée par la succession de ce type de cycles dans lesquelles divers phénomènes physiques, choisis en amont par l'enseignante, permettent progressivement de mettre à l'épreuve (et d'affiner) un modèle moléculaire de la matière. Nous pouvons reconnaître ici l'influence certains travaux didactiques francophones sur la modélisation (Tiberghien, 1994 ; Séré, 1992 ; Larcher *et al.*, 1990, etc.).

Nous nous intéressons à l'étude du phénomène d'évaporation, qui se situe en fin de séquence (cf. figure 5). Cette étude débute par la mise en évidence de l'évaporation d'une goutte d'eau et d'une goutte d'alcool qui ont été déposées sur un verre de montre devant chaque binôme de la classe et par le constat que la goutte d'alcool s'évapore plus rapidement que la goutte d'eau. Une interprétation macroscopique de ce phénomène est rapidement établie : l'eau et l'alcool passent de l'état liquide à l'état gazeux. L'enseignante de-

mande alors aux élèves d'élaborer un mécanisme moléculaire de l'évaporation, qui soit capable de prendre en compte la variabilité des vitesses d'évaporation de l'eau et de l'alcool. Une discussion collective amène ensuite à une mise en perspective de certaines des explications produites par les élèves et à l'adoption d'un modèle moléculaire qui intègre les spécificités du phénomène d'évaporation (cf. figure 7). Selon ce modèle final, l'évaporation est produite par deux facteurs principaux :

- les molécules à la surface d'un liquide ont moins de liaisons intermoléculaires que celles au sein du liquide ;
- l'agitation de certaines molécules surfaciques peut être suffisante pour leur permettre de briser leurs liaisons et de s'échapper du liquide¹².

Figure 7 : synopsis mésoscopique Esther correspondant au sous-enjeu « Étude de l'évaporation »

¹² Nous constatons donc que dans la classe d'Esther, les enjeux de savoir visés par l'activité vont au-delà d'une identification du changement d'état liquide-gaz (comme dans la classe de Louise) et concernent plutôt l'établissement d'une modélisation moléculaire propre à l'évaporation. Cette progression des objectifs reste cohérente avec les niveaux scolaires observés (primaire dans la classe de Louise, secondaire dans la classe d'Esther).

Nous cherchons à caractériser la dynamique de l'avancée de savoirs, depuis la mise en évidence du changement d'état liquide-gaz des deux gouttes jusqu'à l'institutionnalisation du modèle moléculaire de l'évaporation, en nous centrant sur l'expérience d'apprentissage des élèves.

De la mise en évidence du changement d'état liquide-gaz au modèle moléculaire de l'évaporation : dynamique de construction des savoirs

Au sein du travail de groupe, plusieurs binômes sont parvenus au même mécanisme moléculaire, qui, nous le verrons, attribue aux molécules de l'air un rôle moteur dans l'évaporation. Dans la discussion collective, Esther commence par diffuser ce mécanisme dont elle a remarqué la récurrence en circulant parmi les binômes lors du travail de groupe :

Extrait E1 : Esther diffuse et négocie la proposition « Collisions », puis construit conjointement un modèle moléculaire de l'évaporation

Ens : Selma et Caroline vous avez évoqué quelque chose quand je suis passée. Quelle était votre première piste ?

Car : ben moi je pensais que c'était les molécules de l'air et tout ce qui a autour de la goutte qui faisaient bouger la goutte... enfin qui qui... voilà. (fait un geste)

Ens : alors là on va juste pas voir... Qu'est-ce que tu voulais dire par ça ? (reproduit le geste)

Car : non mais c'est genre que... elles frappent.

Sel : cognent.

Car : ouais cognent.

Ens : (en même temps) ouais utilise le monde frapper. C'est bien le mot frapper.

Car : et la goutte [d'alcool] vu qu'elle a moins de liaisons (xxx)... elle a moins de liaisons. Eh ben en bougeant le truc, ben ça se pfffiou... (fait un geste de séparation)

Ens : donc tu voudrais dire que les molécules se séparent ?

Car : ouais.

Ens : d'accord. Ok. Alors c'est une première bonne hypothèse. Alyssa et William sont venus à peu près aussi là-dessus. En tout cas je les ai entendus évoquer cette première hypothèse, c'est-à-dire que, heu on aurait des molécules autour qui viennent frapper et puis qui viennent arracher au fur et à mesure des molécules du liquide... très bien (...). La première chose c'est de savoir si votre hypothèse est correcte. Alors pour faire ça, quelle expérience pourrait être faite ?

Car : la cloche à truc là...

Mat : la cloche à vide.

Car : voilà !

Ens : exactement. On pourrait mettre sous une cloche à vide. Heu là je l'ai pas avec moi parce que c'est un autre prof qui l'utilisait... donc je peux vous le dire : y a une sacrée évaporation sous cloche à vide aussi. C'est même, ça va même 5 fois ou 10 fois plus vite qu'à l'air ambiant. Donc en fait malheureusement on n'y est pas... disons que ça peut influencer d'une certaine manière les molécules qui viennent frapper mais on va voir que c'est pas tout à fait ça. C'est vraiment interne au liquide, c'est interne à ce qui se passe dans le liquide (...). Faisons un zoom dans la matière ici : je vais dessiner

quelques molécules d'un des deux liquides Exceptionnellement je vais dessiner les liaisons. Normalement on le fait pas. D'accord ? (...) Et puis on va dire que à chaque fois qu'elles sont en contact les unes avec les autres eh ben y a une liaison. D'accord ? On va faire ça comme ça, là, là, là (dessine). (...) Alors prenez cette molécule-là, là-haut (pointe une molécule à l'interface eau-air) elle en a combien [de liaisons] ?

El : deux.

Ens : une ou deux.

El : aaaah ! plus c'est dehors moins c'est [lié] ! (...)

Ens : ok. À la surface d'un liquide les molécules sont moins liées qu'à l'intérieur d'un liquide. Ça, ça va ? Facile, la démonstration ?

Cha : mais c'est parce que y en a des en-dessous et au-dessus, et là celles qui sont au-dessus, y en a pas au-dessus.

Ens : Exactement. Donc on a des molécules qui de base sont moins liées dans un liquide, c'est celles qui se trouvent à la surface. À la surface d'un liquide vous avez des molécules moins liées (...). Qu'est-ce qu'on peut dire de l'agitation ?

Car : pareil !

Ens : Exactement : elle est identique [au sein des molécules du liquide] (...). Cette molécule-là par exemple, celle qui est à l'intérieur, elle peut avoir une certaine agitation mais, vu qu'elle est relativement liée avec le reste des molécules, eh ben cette agitation n'est pas suffisante pour briser ses trois liaisons. Par contre les molécules à la surface, qui se retrouvent avec une deux peut-être trois liaisons grand maximum, disons moins en tout cas, peuvent avoir, pour une énergie équivalente, pour une agitation équivalente, la possibilité de sauter hors du liquide, donc d'avoir brisé ses liaisons et de sortir (...). C'est ça le phénomène d'évaporation.

Dès l'introduction de la proposition de Caroline et Selma (proposition « Collisions », TdP 2), Esther organise une expansion de la mésogenèse et un ralentissement chronogénétique afin de permettre à cette proposition de prendre une place privilégiée dans le milieu. Après régulation de l'enseignante (TdP 3, 7, 9, 11), la proposition « Collisions » se diffuse sous la forme suivante : les molécules de l'air viennent frapper les molécules d'alcool du liquide, ce qui leur permet de briser leurs liaisons et de les arracher du reste du liquide (TdP 9, 11). En réponse à la demande de l'enseignante (TdP 11), certains élèves (Caroline, TdP 12, 14 ; Mathias, TdP 13) évoquent un instrument scientifique qui permettrait de se prononcer sur la validité de cette proposition : la cloche à vide. L'enseignante met en tension la proposition « Collisions » avec les résultats d'une expérience imaginée d'évaporation dans le vide : « y a une sacrée évaporation sous cloche à vide aussi, ça va même 5 fois ou 10 fois plus vite qu'à l'air ambiant », TdP 15. Ce résultat lui permet d'affaiblir la proposition « Collisions » (TdP 15) et de déplacer la discussion vers une cause de l'évaporation qui soit « interne au liquide » (TdP 15).

En maintenant une posture topogénétique haute, et en s'appuyant sur une représentation symbolique des molécules d'un liquide et de leurs liaisons, elle développe un raisonnement qui aboutit à l'idée que les molécules à la surface du liquide ont moins de liaisons intermoléculaires que les autres (TdP 15,17, 19, 21), ce qui implique que, pour une agitation équivalente au reste du liquide, elles sont davantage susceptibles de briser leurs liaisons et de s'en échapper (TdP 21, 23). Certains élèves l'accompagnent au fur et à mesure du développement de ce raisonnement :

- Charlène appuie l'idée d'une quantité moindre de liaisons entre les molécules de la surface d'un liquide en affirmant au TdP 20 que « [les molécules de l'intérieur] y a des [liaisons] en-dessous et au-dessus et là celles qui sont au-dessus y en a pas au-dessus » ;
- Caroline confirme la répartition homogène de l'agitation des molécules d'un liquide (TdP 22).

Lien entre la dynamique de construction des savoirs et la structuration de la situation

En résumé, Esther met en œuvre plusieurs stratégies pour agir sur les significations construites par les élèves et faire avancer le savoir :

- Elle organise la contradiction entre la fonction de l'air telle que l'envisage la proposition « Collisions » et les résultats de l'expérience de la cloche à vide : puisque sous une cloche à vide, l'évaporation n'est pas ralentie mais au contraire accélérée, les molécules de l'air ne peuvent pas être directement à l'origine de l'évaporation. Cette caractéristique de la proposition « Collisions » doit donc être exclue d'un mécanisme moléculaire rendant compte de l'évaporation.
- La proposition « Collisions » n'en est pas pour autant entièrement invalidée : au sein de son propre raisonnement, Esther reprend l'idée d'une rupture des liaisons entre les molécules du liquide comme condition nécessaire pour le transformer en gaz, rupture que la proposition « Collisions » avait déjà mise en évidence.
- Elle introduit une nouvelle information qui enrichit le modèle moléculaire en vigueur dans la classe : les liaisons attractives entre molécules d'un liquide ne s'exercent qu'entre molécules adjacentes (« en contact les unes avec les autres »). Lorsque cette nouvelle caractéristique est couplée avec les traits déjà connus du modèle moléculaire (dans un liquide, les molécules sont rapprochées et désordonnées et l'agitation moléculaire uniforme, etc.), il est possible de conclure que les molécules de surface sont davantage susceptibles de rompre leurs liaisons intermoléculaires que les autres.

Les élèves ont été en mesure de participer à chacune des étapes de l'avancée des savoirs : ils ont construit la proposition « Collisions » dont un trait pertinent est repris dans le modèle stabilisé de l'évaporation ; ils ont proposé d'utiliser la cloche à vide comme moyen expérimental pour vérifier le rôle de l'air dans l'évaporation ; ils ont accompagné le raisonnement d'Esther lors de l'introduction de l'idée de liaisons de courte portée entre molécules d'un liquide (en s'emparant de cette idée et en l'associant pertinemment avec des éléments du modèle moléculaire déjà connus).

Au final, Esther a accordé une place centrale aux significations construites par les élèves et, surtout, elle s'en est servie comme levier pour fonder un modèle moléculaire de l'évaporation. La plupart des significations ont été négociées (dans le sens où Esther a été en

capacité de produire des arguments pour les renforcer et/ou les contredire) et intégrées à la dynamique de construction des savoirs. Le cheminement entre les significations construites par les élèves et le modèle institué de l'évaporation semble témoigner d'une continuité importante.

Il s'agit maintenant de mettre en évidence la solidarité entre la dynamique de construction des savoirs (caractérisée par une certaine continuité du point de vue des élèves) et la nature de la situation didactique à laquelle ils sont confrontés. Rappelons qu'il est demandé aux élèves de développer un mécanisme moléculaire de l'évaporation, au sein d'un milieu d'apprentissage caractérisé par une densité importante de la référence déjà instituée : en effet, lui sont intégrés un modèle moléculaire de la matière (qui a été progressivement enrichi au cours des activités précédentes) et une palette d'exemples d'application de ce modèle à divers phénomènes physiques comparables à l'évaporation (diffusion, conduction et dilatation thermiques, ébullition, etc.). Il est possible de montrer que cette référence déjà instituée qui constitue l'arrière-plan commun de la classe structure à la fois les significations construites par les élèves et la marge de négociation de l'enseignante :

- Du point de vue des élèves, la référence déjà instituée délimite les interprétations possibles de « ce qu'il y a à faire dans le milieu » et constitue un cadre à l'intérieur duquel leurs idées peuvent se développer. En pratique, les élèves se fondent sur les éléments de la référence instituée pour développer de nouvelles significations : par exemple, la proposition « Collisions » s'appuie sur certains traits du modèle moléculaire (mouvement aléatoire des molécules de l'air, liaisons intermoléculaires des molécules du liquide, etc.) et s'inspire de certains exemples d'application de ce modèle (on retrouve déjà l'idée de rupture entre les molécules dans la modélisation du phénomène d'ébullition qui vient d'être menée dans la classe). Autre exemple : la cloche à vide évoquée par les élèves pour tester la proposition « Collisions » est un instrument dont l'utilisation et la fonction ont déjà été explorées lors des expériences d'équilibre et de déséquilibre des pressions de gaz. Le fait que les habitudes de la référence instituée agissent comme des normes sur les significations développées par les élèves est susceptible d'entraîner deux effets. D'une part, il se produit une faible dispersion des propositions des élèves qui se centrent autour de certaines significations-pivot, ce qui facilite la gestion de l'enseignante qui peut les regrouper et les négocier ensemble ; ainsi, la proposition « Collisions », qui a été construite indépendamment par plusieurs groupes d'élèves peut être traitée par le même argument. D'autre part, les apports des élèves font intervenir de nombreux traits pertinents (rupture des liaisons entre molécules lors de l'évaporation, utilisation de la cloche à vide, etc.) sur lesquels l'enseignante peut s'appuyer pour faire progresser le savoir.
- Du point de vue de l'enseignante, la référence instituée lui ouvre l'accès à un éventail de possibilités de négociation des significations construites par les élèves. Par exemple, le raisonnement faisant appel à l'accélération de l'évaporation dans le vide ne peut être intégré au processus de négociation de la proposition « Collisions » que parce qu'il existe certains savoirs dans la référence déjà instituée (propriétés macroscopiques et microscopiques de l'air, notion de vide, fonctionnement d'une cloche à vide, etc.). D'autre part, lorsqu'Esther procède à la formalisation du modèle moléculaire de l'évaporation, la référence déjà instituée fournit la base de son raisonnement, sur lequel elle ne fait que rajouter un élément mineur (la courte portée des liaisons intermoléculaires). Cette re-convocation d'un arrière-plan commun assure un meilleur partage topogénétique : les élèves sont ainsi en mesure

d'accompagner son raisonnement en reprenant et reconfigurant des caractéristiques déjà connues du modèle moléculaire de la matière.

Au final, il est possible de conclure que la structuration de la situation didactique proposée par Esther, caractérisée par une référence déjà instituée dense permet aux élèves d'élaborer des significations sur lesquelles la marge de négociation de l'enseignante est facilitée.

Discussion : structuration des situations didactiques et dynamique de construction des savoirs

Les résultats que nous venons d'établir permettent de conforter l'intérêt de distinguer les trois niveaux que nous avons introduit au départ : i) la responsabilité des élèves telle qu'elle est anticipée par l'enseignant et/ou la ressource dont il se sert ; ii) l'activité effective des élèves ; iii) et le « degré » de prise en compte des produits de l'activité des élèves par l'enseignant pour construire les savoirs scolaires. L'étude de la deuxième forme de continuité, reflétée par la négociation que l'enseignant met en œuvre pour passer des significations construites par les élèves aux savoirs qu'il institue nous a permis de caractériser finement la transition du deuxième au troisième niveau d'analyse.

À première vue, dans les deux contextes étudiés, les élèves sont « actifs », dans le sens où ils sont amenés à proposer des idées, les discuter, etc. dans le cadre d'une « investigation » : dans la classe de Louise, les élèves ont construit une variété d'explications vis-à-vis de la disparition de l'eau liquide ; dans la classe d'Esther, ils ont construit des explications censées rendre compte de l'évaporation au niveau moléculaire. Pourtant, en dépit du fait que les élèves de la classe de Louise n'agissent pas moins que ceux de la classe d'Esther, nous avons établi qu'ils voient les savoirs scientifiques scolaires s'imposer à eux sans que les significations qu'ils ont construites ne soient prises en compte, comme le montre la négociation « discontinue » à laquelle doit se résoudre Louise pour établir les savoirs visés. Les résultats de la classe de Louise rejoignent les conclusions des études qui mettent en lumière la faible participation des élèves à la construction des savoirs, notamment au sein de pratiques d'enseignement qui s'appuient sur des démarches d'investigation (Venturini et Tiberghien, 2012 ; Marlot, 2016b ; Triquet et Guillaud, 2016)

À partir de ces résultats, et en s'éloignant de leur interprétation classique en termes de normes professionnelles enseignantes, nous avons fait l'hypothèse que c'est la structuration de la situation didactique qui contraint à la fois ce que les élèves sont en mesure de construire et ce que l'enseignante est en mesure de négocier.

En s'appuyant sur l'idée d'une première forme de continuité caractéristique de la gestion cognitive de la dialectique ancien-nouveau, nous avons supposé que l'élève construit de nouvelles significations en faisant émerger des connexions entre certains objets de la situation et l'ensemble des rapports antérieurs qu'il a construits vis-à-vis de ces objets. Pour ce faire, les références internes à la classe sont les premières accessibles aux élèves. Ainsi, dans la classe d'Esther, les élèves qui ont proposé la proposition « Collisions » ont repris l'idée de rupture entre molécules, idée déjà présente dans la modélisation du phénomène d'ébullition, qu'ils ont considérée, à juste titre, comme étant similaires avec le phénomène d'évaporation. Mais, à défaut de références internes, les élèves font émerger des analogies avec des situations externes à la classe, issues de leur vie quotidienne. C'est ce qu'il se passe dans la classe de Louise : les élèves s'inspirent du discours usuel qui porte sur des phénomènes qu'ils estiment similaires à la disparition de l'eau liquide (absorption de l'eau par la terre, sucre qui « fond » et disparaît, etc.). Mais cette similarité qui possède sa logique propre n'est pourtant pas celle que recherche l'enseignante qui la rejette au profit d'une explication faisant intervenir la vapeur d'eau.

Il s'agit alors de déterminer les conditions requises au sein d'une situation didactique pour que les analogies qu'établissent les élèves entre la situation proposée et leurs expériences précédentes leur permettent de construire des significations négociables par rapport aux enjeux de savoir poursuivis. Les résultats issus de l'étude de la classe d'Esther nous permettent de faire l'hypothèse que cet objectif est susceptible d'être atteint lorsque : i) une référence interne à la classe (des éléments de modélisation ou un référent empirique, par exemple) est fournie aux élèves relativement tôt ; et ii) les situations successives qui leur sont proposées manifestent une structure commune et admettent des méthodes de résolution analogues, de manière à ce que les élèves puissent repérer des continuités d'une activité à l'autre et réinvestir des lignes argumentatives déjà établies.

Ainsi, dans la classe d'Esther, l'enseignante propose un modèle moléculaire de la matière dès le début de la séquence, puis celle-ci est ensuite constituée de plusieurs « cycles » dans lesquels ce modèle est successivement confronté à divers phénomènes physiques similaires (diffusion, conduction et dilatation thermiques, ébullition, évaporation, etc.). Ainsi, lorsqu'ils démarrent l'étude de l'évaporation, les élèves ont à leur disposition un modèle moléculaire actualisé, une palette d'exemples d'application de ce modèle à divers phénomènes ainsi qu'une connaissance de certains instruments et outils expérimentaux liés à l'investigation des propriétés de la matière (notamment, la cloche à vide). Nous avons montré comment la densité de cette référence déjà instituée permet à la fois de contraindre productivement les significations construites par les élèves, d'une part, et d'enrichir le spectre des arguments de négociation de l'enseignant, d'autre part, ce qui aboutit à une participation importante des élèves au processus de construction des savoirs.

Il est important de noter que, dans le cas d'Esther, les éléments de modélisation fournis au départ peuvent ne pas faire sens tout de suite pour les élèves. Il est possible que, de leur point de vue, des interrogations demeurent après leur introduction : comment utiliser cette idée de particule, c'est-à-dire de « petite boule indéformable » ? Sur quel type de phénomènes ? Selon quel mode de raisonnement ? C'est la confrontation avec plusieurs phénomènes physiques, soigneusement organisés et mis en scène, qui permet aux élèves d'ajuster le sens qu'ils placent derrière les éléments du modèle : le sens du modèle va se « nourrir » des situations concrètes dans lesquelles il aura été employé. Le savoir lié au modèle, qui était savoir « inerte » au début devient alors savoir-en-acte (Chevallard, 1994), c'est-à-dire savoir qui renvoie à des pratiques, des usages, des savoir-faire qui contribuent à le définir. Il est intéressant de mettre en parallèle ce point de vue avec les réflexions du philosophe des sciences T. Kuhn, qui, en s'interrogeant sur la spécificité de l'enseignement des sciences en vient à donner un statut particulier à la notion d'« exemple paradigmatique »¹³, exemple-type sur lequel doit s'exercer tout aspirant-scientifique. Comme le note Soler (2009/2019) :

Du point de vue de Kuhn, ces exemples-types jouent un rôle crucial. On aurait tort de les considérer comme la simple mise en pratique de formules et de principes théoriques abstraits *préalablement* acquis, comme des applications facultatives, décoratives ou même purement documentaires. Car non seulement ils s'avèrent absolument indispensables *pour saisir la signification physique des lois*, mais ils contribuent de plus de manière essentielle *à la formation de bons scientifiques*. Le seul énoncé d'une loi abstraite, la seule définition d'un concept théorique, resterait vide et stérile, insiste Kuhn, si l'on

¹³ Au sein de la pensée de Kuhn, l'exemple paradigmatique contribue surtout à caractériser la notion de « paradigme », défini comme étant l'ensemble des croyances, des normes et des valeurs que partage les membres d'une communauté scientifique donnée (parmi lesquels les contenus théoriques eux-mêmes mais aussi les types de problèmes et de solutions légitimes, les méthodes de résolution acceptables, etc.).

n'apprenait pas en outre au physicien débutant à utiliser la loi ou le concept dans diverses situations concrètes. (...). La répétition de ce genre d'expériences, la fréquentation assidue de tels exemples communs, conduisent l'élève à intérioriser tout un réseau de similitudes et de différences, et finissent par le conduire presque automatiquement, et à *voir tel problème comme tel autre*, et à *élaborer de nouvelles solutions par analogie* avec les anciennes déjà rencontrées (p. 227).

Selon Kuhn, c'est l'accumulation du traitement de plusieurs situations connexes qui permet aux élèves, en intégrant progressivement tout un réseau de similitudes/différences, d'acquérir une compétence à identifier les situations qui peuvent être assimilées aux exemples paradigmatiques et être alors résolues au moyen de méthodes analogues : au fil de son apprentissage, l'élève est supposé développer un certain « voir-comme » qui ressemble à celui de l'expert. Dans ce cadre, faire travailler les élèves sur des exemples à partir d'un modèle déjà fourni ne constitue pas une « application » du modèle, mais bien une « découverte » de sa signification. Autrement dit, le modèle scientifique ne contient pas, dès son introduction, toutes les règles prédéfinies de ses mises en œuvre potentielles : son usage pertinent forme un terrain d'exploration encore ouvert pour les élèves. Nous considérons que ces réflexions, formulées au sein d'un tout autre contexte de recherche que le nôtre, vont cependant dans le même sens que nos résultats, établis à partir de l'étude ascendante de la transposition.

Conclusion

Dans cet article, nous montrons que l'étude de la dynamique de construction des savoirs en classe, à l'aide d'une approche pragmatique de la construction des significations qui se développe dans l'action didactique conjointe du professeur et des élèves, nous donne accès à certaines dimensions de l'expérience d'apprentissage des élèves. Un point important des résultats obtenus réside dans la distinction entre l'activité des élèves (ce qu'ils font et ce qu'ils disent) et la continuité de cette activité avec celle de la construction des savoirs scolaires (ce que l'enseignant est en mesure d'intégrer de ce que les élèves font et disent). À long terme, il est facile d'imaginer que si les significations construites par les élèves ne trouvent jamais leur place dans la construction collective des savoirs, cela ne peut être sans effet sur leur niveau d'engagement vis-à-vis des disciplines scientifiques. Le développement des continuités entre les expériences d'apprentissage des élèves et la (re)construction des savoirs qui caractérise tout processus didactique constitue donc un enjeu crucial de l'enseignement des sciences.

Nos résultats permettent d'envisager de nouvelles perspectives de travail, qui, à l'appui des deux formes de continuité mises en lumière, visent à explorer comment se construisent les savoirs scientifiques en classe avec un nouveau regard. Une première perspective de travail concerne la détermination du degré de généralité auquel ces résultats peuvent prétendre. Comment se déclinent-ils dans d'autres domaines des sciences ou d'autres degrés de la scolarité (au primaire notamment, où l'introduction précoce d'éléments de modélisation scientifique ne va pas de soi, même si certaines études montrent que ce n'est pas impossible (Samarapungavan, Bryan et Wills, 2017)) ?

D'autre part, nos résultats permettent d'amorcer une réflexion sur la nature et la fonction de l'analyse *a priori* pour mieux cerner la structure des situations proposées dans l'enseignement des savoirs scientifiques, au-delà de l'étude des interactions didactiques. Alors que l'analyse *a priori* est consubstantielle de nombreuses recherches en didactique des mathématiques (Mercier et Salin, 1988 ; Assude et Mercier, 2007 ; Quilio, 2017), peu

d'études se sont penchées sur l'opportunité de transposer sa fonction dans l'étude des situations d'enseignement-apprentissage d'autres domaines disciplinaires. Puisque nous avons montré que la première forme de continuité a une incidence capitale sur la nature de la négociation (continue ou discontinue) que l'enseignant est en mesure de mener, nos résultats tendent à montrer qu'en sciences physiques, l'analyse *a priori* doit se rapprocher d'une exploration quasi-anthropologique, qui se centrerait sur les significations potentielles construites par les élèves face à une situation didactique donnée, en prenant en compte les objets saillants de la situation et en essayant de les relier, du point de vue des élèves, à l'ensemble des usages et des pratiques liés à ces objets, internes ou externes à la classe. C'est une voie que nous avons commencé à explorer, et que nous exposerons dans un article suivant (Ligozat, Monge et Marty, 2018 / en préparation).

Remerciements

Nous remercions les partenaires suédois du projet TTL (« Teaching traditions and learning. Comparative didactic analysis of science education and physical education and health in Sweden, Switzerland and France) pour les nombreuses discussions que nous avons eues dans le cadre de ce projet et qui ont permis l'ouverture de notre travail sur de nouvelles formes d'investigation des pratiques d'enseignement scientifique. Notre travail de recherche a reçu le soutien financier du Conseil National Suédois de la Recherche (Subvention n° 2012-5023).

Bibliographie

Assude, T. et Mercier, A. (2007). L'action conjointe professeur-élèves dans un système didactique orienté vers les mathématiques. Dans G. Sensevy et A. Mercier, *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 153-185). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

Calmettes, B. (2009). Démarches d'investigation en physique. Des textes officiels aux pratiques en classe. *Spirale*, 43, 139-148.

Chevallard, Y. (1985/1991). *La transposition didactique*. Grenoble : La pensée sauvage.

Chevallard, Y. (1994). Les processus de transpositions didactique et leur théorisation. Dans G. Arsac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand et A. Tiberghien (Éds.) *La Transposition didactique à l'épreuve des faits* (pp. 135-180). Grenoble : La Pensée Sauvage.

Chevallard, Y. (2003). Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques. Dans S. Maury et M. Caillot (Éds.), *Rapport au savoir et didactiques* (pp. 81-104). Paris : Éditions Fabert.

Cross, D. et Grangeat, M. (2014). Démarches d'investigation : analyse des relations entre contrat et milieu didactiques. *Recherches en Didactique des Sciences et Technologies*, 10, 155-182.

Dewey, J. (2006). Logique. La théorie de l'enquête [1938]. Paris : Puf.

Gentner, D. et Medina, J. (1998). Similarity and the development of rules. *Cognition*, 65, 263-297.

Genzling, J.-C. (1988). Les modèles particuliers. *Aster*, 7, 53-70.

Hamza, K.M. et Wickman, P.-O. (2009). Beyond explanations: What else do students need to understand science? *Science Education*, 93, 1-24.

Hofstadter, D. et Sander, E. (2013). *Surfaces and essences: analogy as the fuel and fire of thinking*. New York : Basic Books.

Larcher, C., Chomat, A. et Méheut, M. (1990). À la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états. *Revue française de pédagogie*, 93(1), 51-61.

Leutenegger F. (2009) *Le temps d'instruire. Approche clinique et expérimentale du didactique ordinaire en mathématiques*. Bruxelles : Peter Lang.

Ligozat, F. (2015) L'analyse didactique des pratiques de classe : outils et démarches d'identification des logiques d'action enseignantes en mathématiques. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 18, 17-37.

Ligozat, F. et Leutenegger, F. (2008). Construction de la référence et milieux différentiels dans l'action conjointe du professeur et des élèves. Le cas d'un problème d'agrandissement de distances. *Recherches en didactique des mathématiques*, 28(3), 319-378.

Ligozat, F., Lundqvist, E. et Amade-Escot, C. (2018). Analysing the continuity of teaching and learning in classroom actions : When the joint action framework in didactics meets the pragmatist approach to classroom discourses. *European Educational Research Journal*, 17(1), 147-169.

Ligozat, F., Monge, I. et Marty, L. (2018/ en préparation). *L'articulation de l'analyse a priori et de l'analyse ascendante de la transposition dans l'observation de leçons sur les changements d'état en physique (Communication en symposium)*. 5^e Colloque International de l'ARCD, Bordeaux.

Ligozat, F. et Schubauer-Leoni, M. L. (2010). The Joint Action Theory in Didactics: Why Do We Need It in the Case of Teaching and Learning Mathematics? Dans V. Durand-Guerrier, S. Soury-Lavergne et F. Arzarello (Éds.), *Proceedings of the 6th. Congress of the European society for Research in Mathematics Education (CERME 6)* (pp. 1615-1624). INRP. Consulté le 17 avril 2023 sur <http://www.inrp.fr/editions/editions-electroniques/cerme6/>.

Ligozat F., Wickman, P-O. et Hamza, K. (2011). Using Practical Epistemology Analysis to Study the Teacher and Students' Joint Actions in the Mathematics Classroom. Dans M. Pytlak, E. Swoboda et T. Rowland (Éds.), *Proceedings of the 7th Congress of the European society for Research in Mathematics Education (CERME 7)*. (pp. 2472-2481). University of Rzeszow (Poland).

Marlot, C. (2016a). Réduire les difficultés de conception et de mise en oeuvre des séquences d'investigation scientifique et technologiques : vers une réponse collective. Dans C. Marlot et L. Morge (Éds.), *L'investigation scientifique et technologique : comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire* (pp. 331-341). Rennes, France : PUR.

Marlot, C. (2016b). L'investigation en sciences : difficultés de mise en œuvre chez un enseignant en cycle 2. Le rôle de l'épistémologie pratique. Dans C. Marlot et L. Morge (Éds.), *L'investigation scientifique et technologique : comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire* (pp. 159-189). Rennes, France : PUR.

Marlot, C. et Morge, L. (2015). Des normes professionnelles à caractère doxique aux difficultés de mise en œuvre de séquences d'investigation en classes de sciences : comprendre les déterminations de l'action. *Recherches en Education (REE)*, 2, 123-137.

Marty, L. (2019). *Continuité de l'expérience d'apprentissage et transposition didactique des savoirs dans l'enseignement de la physique. Comparaison internationale dans le cas des propriétés de la matière* [Thèse de doctorat en sciences de l'éducation], Université de Genève (Suisse) et Université de Toulouse-Jean Jaurès (France).

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.

Marty, L., Venturini, P. et Almqvist, J. (2018). Teaching traditions in science education in Switzerland, Sweden and France: A comparative analysis of three curricula. *European Educational Research Journal*, 17(1), 51-70.

Mathé, S., Méheut, M. et De Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, 41-76.

- Mercier, A. et Salin, M.-H. (1988). L'analyse *a priori*, outil pour l'observation. *Actes de l'université d'été « Didactique et formation des Maîtres à l'École Élémentaire »*. Bordeaux : IREM de Bordeaux.
- Molvinger, K. (2017). La mise en œuvre d'une démarche d'investigation à l'école élémentaire. Une étude de cas. *Spirale - Revue de Recherches en Éducation*, 59, 49-78.
- Quilio, S. (2017). Caractériser les problèmes des élèves avec le savoir pour comprendre l'espace de décisions du professeur dans le contexte d'un enseignement des nombres et de leurs usages. Dans F. Ligozat et C. Orange (Éds.), *La modélisation des savoirs dans les analyses didactiques des situations d'enseignement - Recherche en éducation* (pp. 55-71). CREN Nantes.
- Radford, L. (2019). *On Theories In Mathematics Education And Their Conceptual Differences*. Proceedings of the International Congress of Mathematicians (ICM 2018), (pp. 4037-4055). DOI : [10.1142/9789813272880_0211](https://doi.org/10.1142/9789813272880_0211).
- Samarapungavan, A., Bryan, L. et Wills, J. (2017). Second graders' emerging particle models of matter in the context of learning through model-based inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 54, 988-1023.
- Schubauer-Leoni, M.-L., et Leutenegger, F. (2005). Une relecture des phénomènes transpositifs à la lumière de la didactique comparée. *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 27(3), 407-429.
- Schubauer-Leoni, M.-L., Leutenegger, F., Ligozat, F. et Fluckiger, A. (2007). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves : les phénomènes didactiques qu'il peut/doit traiter. Dans G. Sensevy et A. Mercier (Éds.), *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 51-91). Presses Universitaires de Rennes.
- Sensevy, G. et Mercier, A. (Éds.) (2007). *Agir ensemble : Éléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Sensevy, G., Mercier, A. et Schubauer-Leoni, M.-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur : à propos de la Course à 20. *Recherches en Didactique des mathématiques*, 20(3), 263-304
- Séré, M.-G. (1992). Guider le raisonnement d'élèves de collège avec des modèles particuliers de la matière. *Aster*, 14, 77-102.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, 4(1), 71-87.
- Triquet, E. et Guillaud, J.-C. (2016). Difficultés d'enseignants débutants dans la mise en œuvre de démarches d'investigation. Dans C. Marlot et L. Morge, *L'investigation scientifique et technologique : comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire* (pp. 105-118). Rennes, France : PUR.
- Venturini, P. et Tiberghien, A. (2012). Mise en œuvre de la démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège. *Revue française de pédagogie*, 180, 95-120.
- Wickman, P.-O. (2004). The practical epistemologies of the classroom: A study of laboratory work. *Science Education*, 88, 325-344.
- Wickman, P.-O. et Ostman, L. (2002). Learning as discourse change: A sociocultural mechanism. *Science Education*, 86, 601-623.
- Wittgenstein, L. (1965). *Le cahier bleu et le cahier brun*. Paris : Gallimard,

Textes et Rapports officiels

France : ministère de l'Éducation nationale (2015). Programme de Physique-Chimie au cycle 4, BO spécial, n° 11 du 26 novembre 2015. Consulté le 17 avril 2023 sur https://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?cid_bo=94717.

France : ministère de l'Éducation nationale (2013), Bilan de la mise en œuvre des programmes issus de la réforme de l'école primaire de 2008. Rapport IGEN, n° 2013-066. Consulté le 17 avril 2023 sur <https://www.education.gouv.fr/bilan-de-la-mise-en-oeuvre-des-programmes-issus-de-la-reforme-de-l-ecole-primaire-de-2008-2237>.

France : ministère de l'Éducation nationale (2000). Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école. BO, n° 23 du 15 juin 2000. Consulté le 17 avril 2023 sur <http://www.education.gouv.fr/bo/2000/23/ensel.htm>.

Mathématiques et Sciences de la Nature (MSN) (2011). *Plan d'études romand (PER)*. Neuchâtel : CIIP. Consulté le 17 avril 2023 sur <http://www.plandetudes.ch/web/guest/sciences-de-la-nature>.