

KARINE BECU-ROBINAULT, LUIS RADFORD

APPROCHES SEMIOTIQUES ET LANGAGIERES EN PHYSIQUE ET EN MATHEMATIQUES

Abstract. Semiotic and linguistic approaches to physics and mathematics. In physics and mathematics, there is a growing interest in studying the meanings that teachers and students construct through the mobilization of several semiotic systems, including embodied action, such as gestures, body postures, rhythm and speech. In this article, we propose a comparison of two approaches, developed in parallel in each of these disciplines. In physics, it is the function of models in the scientific community of physicists that guides the consideration of semiotic systems to account for the reciprocal meaning of material situations and taught concepts. In mathematics, it is the very nature of activity - considered at the same time as ideal, material and sensible - which leads to a consideration of the semiotic systems which underlie it, a consideration which allows us to shed new light on the processes of teaching and learning

Keywords. semiotics, language, embodiment, gestures, multimodality

Résumé. En physique et en mathématiques, on constate un intérêt croissant pour l'étude des significations que les enseignants et les élèves construisent à partir de la mobilisation de plusieurs systèmes sémiotiques, incluant l'action incarnée, tels les gestes, les postures corporelles, le rythme et la parole. Dans cet article, nous proposons une mise en regard de deux approches, développées en parallèle dans chacune de ces deux disciplines. En physique c'est la fonction des modèles dans la communauté scientifique des physiciens qui oriente la prise en compte des systèmes sémiotiques pour rendre compte de la signification réciproque des situations matérielles et des concepts enseignés. En mathématiques, c'est la nature même de l'activité — considérée à la fois idéale, matérielle et sensible — qui amène à une prise en compte des systèmes sémiotiques qui la sous-tendent, prise en compte qui permet de jeter un nouvel éclairage sur les processus d'enseignement et d'apprentissage.

Mots-clés. sémiotique, langage, corporalité, gestes, multimodalité

Suite au colloque Rendez-vous en didactique organisé par le Laboratoire de Didactique Andrée Revuz en juin 2022, cet article se donne pour objectif de présenter et mettre en regard deux approches langagières et sémiotiques en didactique de la physique et des mathématiques qui se sont développées de manière parallèle depuis les années 1990. Si des références communes ont été initialement mobilisées dans chacune de ces disciplines, la volonté d'étudier le rôle des gestes dans l'apprentissage a progressivement conduit les auteurs de cet article à

ANNALES de DIDACTIQUE et de SCIENCES COGNITIVES, numéro thématique 2, p. 21 - 51 © 2024, IREM de STRASBOURG.

développer de nouvelles approches. A partir d'une revue de littérature donnant à voir les contextes d'émergence de deux approches intégrant la sémiotique en didactique des mathématiques et en didactique de la physique, nous présenterons des études de cas pour chacune de ces disciplines qui illustreront et ouvriront à la discussion. Nous préciserons en conclusion en quoi ces approches nous invitent au dialogue. Nous discuterons en particulier en quoi l'approche épistémo-sémiotique et la cognition sensible apportent des perspectives complémentaires et cohérentes sur l'apprentissage.

1. Langage et sémiotique en didactique de la physique

Avant toute chose, il convient de questionner la pertinence d'une focale sur le langage pour engager des recherches en didactique, et par là-même la place accordée aux questions linguistiques dans l'enseignement des sciences. En France, dès le collège, on trouve parmi les compétences travaillées en sciences et technologie : « pratiquer des langages »¹. La recherche en didactique des sciences s'intéresse à la manière dont les élèves mobilisent des connaissances, scientifiques ou quotidiennes, en situation d'étude en sciences ainsi qu'aux savoirs en jeu dans les relations d'enseignement. Si les approches mobilisées ont toutes en commun de prendre en considération la spécificité des savoirs en jeu, nombre de travaux ont montré que les activités langagières contribuent à la construction des connaissances scientifiques et qu'il convient donc de leur accorder une attention particulière dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences (Perterfalvi et Jacobi, 2003 ; Schneeberger et Vérin, 2009). La didactique des sciences s'est ainsi naturellement penchée sur l'écrit puis l'oral avec pour objectif de rendre compte du rôle des interactions langagières dans la construction des connaissances scientifiques. La compréhension des savoirs scientifiques scolaires ou encore l'accès aux savoirs élaborés par la communauté des scientifiques sont progressivement devenus indissociables des compétences langagières. Ce rôle croissant du langage dans les recherches en didactique des sciences a évolué en parallèle des modèles retenus pour rendre compte des apprentissages des sciences, les modèles socio-constructivistes se substituant peu à peu au modèle inductiviste.

1.1. La place du langage dans la recherche en didactique des sciences

Une des particularités des approches en didactique des sciences consiste à étudier les situations d'enseignement et d'apprentissage en portant une vigilance particulière aux modalités de production et de validation des savoirs scientifiques. Or, l'activité scientifique s'inscrit dans un processus historique et collectif qui entretient des liens étroits avec les questions sociales. Aussi, dans une perspective

¹ <https://www.education.gouv.fr/les-programmes-du-college-3203>

de conception ou d'analyse des situations d'enseignement et d'apprentissage, il convient de s'intéresser à ce qui se joue dans la communauté des scientifiques et d'envisager ce qui doit ou peut être transposé à la classe, notamment en ce qui concerne la discussion des savoirs, leur relation aux techniques, leur histoire... La classe ne peut être en effet considérée comme un milieu strictement identique à la communauté de professionnels, tant du point de vue de la variété des savoirs qui pourront être mobilisés que du point de vue de leur signification, de leur portée et de leurs domaines de validité. En franchissant les portes de la classe de science, les élèves intègrent une communauté discursive scientifique-scolaire au sein de laquelle se co-construisent « des savoirs scientifiques-scolaires et [...] une manière d'agir-penser-parler scientifique » (Bernié, 2002, p.82). Par ailleurs, la prise en charge de questions sociales, inscrite dans les programmes officiels, implique la confrontation de connaissances quotidiennes aux savoirs scientifiques. Les différences entre ces savoirs scientifiques et ces connaissances quotidiennes s'avèrent plus particulièrement saillantes, pour les élèves comme pour les enseignants, lors des situations d'interactions orales impliquant la négociation de la signification ou de la pertinence des savoirs à mobiliser.

Ce postulat nous a conduit, à l'instar d'autres chercheurs en didactique des langues puis des sciences, à porter une attention particulière sur le discours dans la classe (Peterfalvi et Jacobi, 2003 ; 2004 ; Schneeberger et Vérin, 2009). Ce tournant, initié à la fin des années 1990, est concomitant avec une mobilisation accrue des approches socio-constructivistes et des modèles historico-culturels de l'apprentissage qui ont progressivement conduit à s'intéresser aux processus d'apprentissage plus qu'aux productions finales des élèves.

Cette focale sur l'analyse des discours en classe de science a aussi été rendue possible par une évolution des recherches en sciences du langage, permises par les moyens d'enregistrement du son et de l'image (Trognon, 1995), proposant des modèles pragmatiques de l'analyse des conversations. Ces modèles permettent d'insérer les conditions sociales de production ou les caractéristiques individuelles de celles et ceux qui produisent des énoncés (Peterfavi et Jacobi, 2003). Les recherches sur les discours en classe de sciences ont été progressivement étoffées par des outils liés à l'argumentation (Buty et Plantin, 2008) ou la multimodalité (Kress et al., 2001 ; Rivière et Blanc, 2019).

Précisons toutefois qu'il n'est pas question d'analyser les interactions orales indépendamment des contextes et des pratiques de l'écrit en classe de sciences. En effet, il n'y a pas d'opposition binaire entre les pratiques de l'écrit et de l'oral (Nonnon, 2002), les deux s'articulant à partir du recours à une diversité de modes sémiotiques, comme nous allons l'exposer dans les paragraphes suivants.

1.2. Du langage à la sémiotique

Si l'on considère le projet de la didactique comme l'étude de toute forme d'acculturation aux sciences, il est naturel de chercher à comprendre ce qui se joue lorsqu'un savoir passe d'une culture caractérisant un contexte à une autre. Les contextes peuvent être lus comme des espaces au sein desquels les énoncés prennent des sens différents : en classe, le savoir passe d'un espace d'énonciation (celui dans lequel s'inscrit l'enseignant), qui donne à voir et organise des choix relatifs à la présentation et la représentation des savoirs, à un espace de réception (celui des élèves), dont les caractéristiques dépendent des connaissances et des compétences des individus. Lors de ce passage, des choix sont opérés, plus ou moins explicitement, sur les représentations sémiotiques appropriées en fonction des caractéristiques des savoirs, de leurs utilisations et des individus. En effet, la science ne peut être communiquée uniquement par le langage verbal et il est nécessaire d'avoir recours à d'autres représentations (Lemke, 1998). Des approches partagées en didactique, mobilisant la focale de la sémiotique pour analyser les processus d'enseignement et d'apprentissage, ont conduit à la publication récente de l'ouvrage « approches sémiotiques en didactique des sciences » (Houdement et al., 2022).

Les représentations sémiotiques, essentielles au travail des scientifiques (Latour, 2006) jouent également un rôle central dans l'enseignement de la physique, même si elles ne font pas toujours, à l'instar du langage, l'objet de leçons spécifiques. À titre d'exemple, dans les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique, la compétence « s'approprier » est associée à la compétence « représenter la situation par un schéma » et « communiquer » à « utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés » (MEN, 2019). Pour autant, dans la partie dédiée à « décrire un mouvement », si une capacité exigible est de décrire le mouvement d'un système par celui d'un point, la représentation des positions successives d'un système modélisé par un point lors d'une évolution unidimensionnelle est mentionnée dans une partie distincte, dédiée aux capacités numériques (figure 1). Ainsi, selon ces programmes, la description d'un mouvement et sa représentation sont deux capacités distinctes, prenant appui sur des systèmes sémiotiques différents.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
1. Décrire un mouvement	
Système. Échelles caractéristiques d'un système. Référentiel et relativité du mouvement.	Identifier les échelles temporelles et spatiales pertinentes de description d'un mouvement. Choisir un référentiel pour décrire le mouvement d'un système. Expliquer, dans le cas de la translation, l'influence du choix du référentiel sur la description du mouvement d'un système.
Description du mouvement d'un système par celui d'un point. Position. Trajectoire d'un point.	Décrire le mouvement d'un système par celui d'un point et caractériser cette modélisation en termes de perte d'informations. Caractériser différentes trajectoires. Capacité numérique : représenter les positions successives d'un système modélisé par un point lors d'une évolution unidimensionnelle ou bidimensionnelle à l'aide d'un langage de programmation.

Figure 1. Extrait de programme de Seconde (MEN, 2019)

La didactique de la physique s'est largement appuyée sur les travaux de Duval (1995) sur les différents registres de représentation en didactique des mathématiques. En effet, ses travaux ont été les premiers à mettre en évidence les difficultés inhérentes à la maîtrise des règles d'élaboration de chacune des représentations, au passage d'une représentation à une autre et à la nécessité d'articulation de ces représentations pour élaborer le sens des concepts. Pour cet auteur, pionnier, concernant la mobilisation des représentations sémiotiques dans des recherches en didactique, la construction des connaissances est liée à la formation des représentations sémiotiques, à leur traitement et à leur conversion.

De nombreux travaux, en France et à l'international ont donné à voir le rôle des représentations sémiotiques pour l'apprentissage. A titre d'exemple, Ainsworth et al. (2011) identifient de nombreux avantages à l'utilisation du dessin en classe de science, par exemple pour permettre aux élèves d'exprimer leurs connaissances sans être contraints par des conventions qu'ils ne maîtrisent pas ou encore sélectionner et raisonner sur des aspects spécifiques d'une situation.

1.3. Des représentations sémiotiques académiques à la multimodalité

Les recherches en didactique des mathématiques en France et à l'international se sont souvent appuyées sur les registres sémiotiques de Duval (1995). Cette approche, intéressante pour étudier la manière dont des représentations académiques, conformes à celles utilisées par les scientifiques et classiquement mises en œuvre dans les manuels scolaires ou par l'enseignant au tableau par exemple, ne permettent pas de rendre compte du rôle joué par d'autres systèmes de

signes mobilisés parfois inconsciemment au cours des interactions, et souvent non conformes aux normes académiques. En effet, ce qui fait signe dans une interaction entre élèves, ou entre élèves et enseignant, n'est pas forcément cohérent avec des représentations académiques visées par l'enseignement. De plus, les registres de Duval permettent de caractériser des représentations statiques. Qu'en est-il des représentations dynamiques permettant de mettre en évidence des évolutions d'un système, le mouvement ? Par ailleurs, si l'on s'intéresse au processus au cours duquel les élèves élaborent une signification aux objets et aux concepts en physique, il convient d'étudier ce qu'il se passe lors des interactions des élèves avec les objets matériels et les outils sémiotiques constitutifs du milieu, mais aussi avec les autres élèves et l'enseignant. Au cours de ces interactions avec le milieu matériel et social, les gestes contribuent à la construction d'un sens commun. Ces gestes ne sont pas tous produits consciemment. Or, les représentations sémiotiques introduites par Duval sont des représentations intentionnelles. Pour étudier le rôle de l'ensemble des signes mobilisés dans la compréhension des savoirs, y compris les signes non nécessairement produits consciemment, une approche élargissant celle des registres sémiotiques de Duval aux modes sémiotiques tels que présentés par Kress et al. (2001) est nécessaire. Notons par ailleurs que le geste ne peut être assimilé à un registre sémiotique à lui seul, car il est co-produit avec un autre registre sémiotique, la langue naturelle. Il est donc analysé comme un mode sémiotique, défini comme une ressource abstraite non matérielle avec laquelle nous faisons sens.

Les approches multimodales permettent en partie de répondre à cette question de ce qui fait signe et sens dans les interactions à visée d'enseignement ou d'apprentissage. En effet, la multimodalité postule que le langage n'est pas suffisant pour construire ou pour comprendre l'ensemble des significations élaborées. Elle s'intéresse aux modes qui produisent du sens dans une communauté donnée et précise leurs caractéristiques majeures. Le sens global d'un message est le résultat d'une combinaison de significations à laquelle ont contribué tous les modes utilisés pour transmettre ce message. Chaque mode contribue au sens global du message de façon à la fois spécifique (il met en lumière certains aspects du sens) et partielle (il ne peut séparément rendre compte de tous les aspects du sens). On peut donc caractériser l'activité scientifique en classe comme multimodale et plurisémiotique. Le terme multimodalité est associé au langage oral et aux modalités signifiantes qui lui sont attachées, telles que la prosodie, les regards, les postures mimo-gestuelles ; le terme plurisémioticit  englobe davantage les supports écrits, iconiques, audios et vidéos, numériques (Rivière et Blanc, 2019).

Les recherches en sciences de l'éducation conduites sur les interactions en classe étaient initialement centrées sur l'activité verbale en classe. Elles se sont progressivement tournées vers la dimension multimodale afin de prendre en charge

les apports spécifiques et complémentaires des canaux de communication mobilisés. Les chercheurs ont ainsi manifesté un intérêt croissant pour les gestes, le corps et la voix de l'enseignant (Duvillard, 2014), la proxémie dans les interactions didactiques (Forest, 2006) ou encore le rôle du regard pour la mise au travail en classe (Dominguez et Rivière, 2015). Dans la suite de cet article, nous nous intéresserons plus particulièrement aux gestes.

Une des particularités du mode sémiotique « geste », par rapport aux représentations sémiotiques plus conformes aux attentes académiques et usuellement étudiées en didactique, est de donner à voir la dynamique des événements perçue ou exposée. Cette dynamique ne peut être traduite uniquement sur la base d'activités langagières ou scripturales. En ce sens, la sémiotique sociale multimodale élaborée par Kress et al. (2001) nous est apparue comme particulièrement intéressante. La pluralité des registres sémiotiques et des modalités de communication (et non un registre ou une modalité spécifique) contribue à l'enrichissement de la signification et donc à la compréhension des phénomènes à étudier. En sémiotique sociale, ces caractéristiques des modes sont traitées par la catégorie d'affordance (Gibson, 1977) : les modes ont chacun des potentialités et des limites dans la production de sens, du fait de la combinaison entre leur matérialité et leur contexte socio-historique d'usage.

Lors des interactions en classe, entre élèves ou entre élèves et enseignants, les gestes et la parole se combinent pour construire du sens aux objets et concepts. Kendon (2004) et de McNeill (1992) considèrent gestes et paroles comme deux aspects d'un seul processus d'élaboration et de communication du message. Leur thèse s'appuie sur l'observation de l'étroite intégration rythmique et communicative entre gestes et paroles, qui se manifeste tant dans la fonction référentielle que dans la fonction pragmatique du discours. Le geste est produit pendant le discours et ces deux modes sémiotiques sont co-expressifs. Le sens commun usuellement construit par le geste et le discours ont conduit Goldin-Meadow (1999) à s'intéresser aux moments où ces modes sont en décalage, ce qu'elle nomme « gesture-speech mismatch ». Si pour elle les discordances entre gestes et paroles sont des prédicats de l'apprentissage, d'autres résultats montrent que c'est la cohérence durable des modes sémiotiques mobilisés qui est la marque d'activités d'élèves en adéquation avec la physique (Lund et Bécu-Robinault, 2013). A l'instar de ces travaux, qui convergent vers la considération du geste comme mode sémiotique uniquement lorsqu'il est co-produit avec la langue naturelle, nous avons fait le choix d'étudier les gestes, en situation d'étude ou d'enseignement, conjointement à la parole.

2. Langage et sémiotique en didactique des mathématiques

2.1. Le langage

Les origines de l'intérêt porté au langage dans la didactique des mathématiques doivent être situées dans les efforts internationaux faits pour réformer l'enseignement à l'école à partir des années 1960. Cette réforme n'a pas tourné seulement autour des mathématiques. Il n'est donc pas surprenant qu'on retrouve des similarités autour de l'intérêt que le langage a suscité dans la didactique d'autres disciplines, comme la physique.

Quand on remonte aux écrits des années 1980 et 1990, on voit que le langage y apparaît sous deux problématiques différentes :

- d'un côté, le langage apparaît comme pierre angulaire de la conceptualisation² ;
- d'un autre côté, le langage apparaît comme pierre angulaire de l'interaction sociale.

Bien sûr, les deux problématiques sont interreliées. En général, elles co-existent. Dans une classe non traditionnelle de mathématiques, les élèves interagissent en vue d'apprendre. Ils utilisent le langage pour interagir et pour conceptualiser. Mais ce qu'on demande au langage d'accomplir n'est pas toujours la même chose. Avec l'abandon de l'enseignement traditionnel, apparaîtra une question qui ne cessera de tourmenter les différentes approches d'enseignement (et dont la réponse va les différencier en grande partie), à savoir la question de ce qu'il y a à dire, de comment le dire et de qui va le dire ; c'est-à-dire, la question du *contenu*, de sa *forme* et des relations de *pouvoir* toujours présentes dans une pratique discursive.

C'est surtout comme pierre angulaire de la conceptualisation que le langage apparaît dans les travaux pionniers de Laborde (Laborde, Puig et Nunes, 1996), de Duval (1995) et de Vergnaud (1990). Et c'est surtout comme pierre angulaire de l'interaction sociale qu'il apparaît dans les recherches des constructivistes nord-américains, comme Cobb et Yackel (1996), des interactionnistes allemands, comme Bauersfeld (1995) et Steinbring (2000) et des premiers chercheurs Vygotskiens, comme Bartolini Bussi (1991), Boero et al. (1998) et Lerman (1996).

Deux livres importants publiés dans les années 1990 témoignent de cet intérêt grandissant pour le langage. Le premier est *The emergence of mathematical meaning: Interaction in classroom cultures* (Cobb et Bauersfeld, 1995). L'autre est

² Par exemple, dans une entrevue conduite par Linda Gattuso à Colette Laborde à la fin des années 1980, celle-ci mentionne les problèmes langagiers qui ressortent lors de la phase de formulation où l'on « retrouve des problèmes d'expression et de formalisation qui sont très importants » (Laborde, 1988, p. 21).

Language and communication in the mathematics classroom (Steinbring, Bartolini Bussi et Sierpinska, 1998). Dans ces livres, le langage apparaît souvent comme objet d'étude en soi : il ne s'agit pas de comprendre le langage dans ses caractéristiques formelles, mais le langage comme il est utilisé par les élèves et les professeurs en mathématiques.

2.2. La sémiotique

Le passage du langage à la sémiotique dans le cas de l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques témoigne de la prise de conscience que, bien que central, le langage ne peut entièrement rendre compte des processus de signification que les élèves et les professeurs déploient en salle de classe. Le passage du langage à la sémiotique est, en fait, la réponse par un « non » à la question suivante : pour comprendre l'apprentissage, n'est-il pas suffisant de se restreindre au langage ? Cette insuffisance du langage ne relève pas seulement d'un problème cognitif. Il est symptôme d'un problème d'ordre épistémologique qui va à l'encontre de la tradition qui attribue au langage un pouvoir selon lequel le savoir peut effectivement être dit. Cette présupposition logocentrique n'est pas normalement mise en doute. Mais on peut également imaginer, comme Kurt Gödel l'a fait au sujet des systèmes formels, que les idéalités mathématiques sont plus riches que ce que le langage peut saisir. On peut faire ici appel à Lévinas (1978) et sa conception du langage. Lévinas fait une différence entre *le dire* et *le dit* : ce qu'on voudrait dire et ce qu'on dit effectivement. Il soutient que le dit n'épuise jamais ce qu'on veut dire. Tout essai de saisie des idéalités mathématiques va certainement s'appuyer sur le langage, mais va en même temps se tourner vers d'autres moyens d'expression, de communication et de conceptualisation. Le langage apparaît ainsi faisant partie d'un ensemble *plus étendu* de moyens sémiotiques qu'on utilise dans l'effort de préhension des idéalités auxquelles on a affaire. Il y a d'autres moyens non-langagiers. Le meilleur exemple est celui des gestes.

L'intérêt qu'ont suscité les gestes dans la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques depuis quelques années nous renvoie à une autre problématique, plus récente et plus générale, à savoir celle de la place du corps dans l'apprentissage et la conceptualisation.

2.3. Gestes et corps

La « découverte » de l'importance des gestes dans l'enseignement et l'apprentissage, semble corrélée à l'utilisation croissante d'une technologie d'enregistrement de leçons des mathématiques : l'enregistrement vidéo. Cette dernière offre la possibilité de revoir, parfois à vitesse réduite, ce qui se passe lors de l'interaction en grand détail. On se retrouve ainsi devant une situation d'analyse

et d'interprétation didactique à laquelle participent non seulement les signes mathématiques ordinaires (comme les formules et les graphiques) et le langage naturel, mais aussi un nouveau type de signe, un signe corporel qui, contrairement aux autres, n'a pas une syntaxe précise, c'est-à-dire un mode de production capable d'être écrite ou formulée *a priori*. C'est justement ce caractère syntactique imprécis, non-formulable, qui exclut les gestes de la définition de registre sémiotique de Duval. Ainsi, en didactique des mathématiques comme en didactique de la physique, une autre approche sémiotique s'est avérée nécessaire.

Apparaît tout de suite ici un nouveau problème : celui de l'interprétation du rôle des gestes dans l'apprentissage. Est-ce qu'on doit vraiment les prendre en compte ou les considérer comme épiphénomène de l'apprentissage, une sorte de surplus sans conséquence ? Cette question a donné lieu au débat qui a porté sur la corporalité dont les gestes apparaissent comme l'exemple paradigmatique.

Un travail pionnier sur la corporalité est celui de Lakoff et Nuñez (2000). Ce travail s'inspire de la linguistique et essaie de montrer que la racine génétique de bon nombre de concepts mathématiques élémentaires se trouve dans un système métaphorique qui exprime des actions corporelles. Par exemple, le concept d'ensemble, un concept clé dans la formalisation des mathématiques du début du 20^e siècle, trouverait ses racines dans l'action corporelle de placer des objets dans un contenant.

Le travail de Lakoff et Nuñez venait faire écho à des remarques importantes que Vygotsky et Luria avaient faites en observant les enfants résoudre des problèmes. Les chercheurs russes avaient attiré l'attention sur le fait que, souvent, les enfants parlaient à haute voix, en utilisant le langage comme organisateur et planificateur de l'action (Vygotsky et Luria, 1994). Mais la perception y était aussi pour beaucoup — non pas comme perception « brute », mais déjà intellectualisée pour ainsi dire par les effets du langage (Radford, 2022). Ces interrelations entre paroles et action ont été intégrées aux hypothèses d'apprentissage en didactique des mathématiques comme en didactique de la physique.

Piaget aussi avait attiré l'attention sur le rôle de la dimension sensorimotrice dans le développement de l'enfant. Cette focale explique en partie l'importance de la dimension expérimentale sur le développement intellectuel en physique. On comprendra aisément qu'une des questions les plus brûlantes de cette époque chez les chercheurs sur l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques était celle de trouver exactement la nouveauté. La question se formulait plus ou moins comme suit : Y a-t-il vraiment du nouveau dans les positions et les questionnements qu'apportent les discussions sur la corporalité ? En 2003, à la fin d'un forum de recherche intitulé *Perceptuo-Motor Activity and Imagination in Mathematics Learning* qui a eu lieu lors de la *27th Conference of the International*

Group for the Psychology of Mathematics Education, un participant posait la question : What is new in all this?

C'est en cherchant à comprendre la contribution et la complexité qu'apportait avec soi le courant de la corporalité (*embodiment*) qu'on voit apparaître un recours à plusieurs traditions sémiotiques dans les réflexions sur l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques.

3. Quelle sémiotique pour la didactique des mathématiques ?

Grosso modo, on peut distinguer le recours à quatre traditions sémiotiques différentes. Celle de Saussure (souvent par l'entremise de Piaget), celle de Peirce, celle de Vygotsky et, plus récemment, une tradition inspirée par le travail de la linguistique sociale de Halliday (voir Halliday et Ruqaiya, 1989 ; voir aussi Presmeg et al, 2018). Chacune de ces traditions offre une réponse différente à la question de ce que sont le signe et le langage.

Saussure propose une sémiotique dans laquelle le signe a une signification dans son rapport à d'autres signes. Pour lui, le langage sert à la communication des idées. Peirce se place dans une perspective d'ordre plus logique et épistémologique. Il propose une sémiotique dynamique, processuelle. Il voit le signe comme une représentation qui s'enchaîne avec une autre représentation et ainsi de suite, dans une sémosis sans fin. Vygotsky se place dans le cadre d'une psychologie sociale, historique et culturelle. Il voit le signe de manière fonctionnelle. Pour lui, plutôt que représentation de quelque chose d'autre, le signe est vu comme moyen d'ajustement et de raffinement de l'action et de la pensée (Vygotsky et Luria, 1994). Dans ses derniers travaux, Vygotsky a mis une emphase de plus en plus importante sur la dimension significative du signe (à l'opposé, ou plutôt en complémentarité, à la dimension instrumentale). Quant à Halliday, il part d'une critique des conceptions ordinaires représentationnelles du signe. La linguistique de Halliday et ses collaborateurs vise à relier le langage et son utilisation aux structures sociales qui les sous-tendent.

La question qui se pose est celle du choix : quelle sémiotique pour la didactique des mathématiques ? Il y a probablement plusieurs points d'entrée à l'étude de la signification à partir d'une entrée sémiotique. Ici, nous nous limiterons à explorer la signification à travers deux points de vue, chacun menant à un choix différent d'approche sémiotique : d'une part, la signification conçue comme phénomène individuel et, d'autre part, la signification conçue comme phénomène social.

Dans la signification vue comme phénomène individuel, la dimension sociale n'est pas écartée. Cette signification est produite par l'élève souvent dans l'interaction avec d'autres. Mais la signification relève au fond de ce que fait l'élève, de ses actions et de ses propres pensées. En bref, il s'agit de la signification telle que

l'entend la cognition individuelle, qui s'inspire des travaux de Piaget et que les constructivistes ont poussés jusqu'à ses dernières conséquences, où la signification apparaît en fin de compte en tant qu'expression subjective. C'est cette idée qu'on trouve dans maintes approches qui conseillent qu'il faut d'abord laisser le temps à l'élève de penser et d'agir seul. Une fois qu'il a trouvé quelque chose à dire, l'élève est prêt à entrer en interaction avec d'autres. On va de l'individuel au social (pour un exemple, voir Arzac et al., 1992). Pour utiliser l'expression de Holzkamp (2013, p. 19) on traite le social « comme variable indépendante » de la signification et de la cognition de l'individu plus généralement. Se cache derrière cette idée la conception selon laquelle « les conditions sociales pour l'individu ne sont pertinentes que comme "constellations de stimuli", comme "contingences de renforcement", etc. » (Holzkamp, 2013, p. 34). Ici, le langage est conçu à la manière Saussurienne : comme communication entre émetteurs et récepteurs.

Dans la signification vue comme phénomène social, le social est considéré dans un sens fort. En fait, souvent, pour éviter des confusions avec l'idée faible du social (c'est-à-dire, le social comme stimulus reçus par un individu qui possède déjà en soi toutes ses caractéristiques propres, à la manière de la pédagogie inspirée par Piaget), on dit « sociétal », comme le fait d'ailleurs Holzkamp. Dans cette conception, la signification est toujours une signification *intersubjective* dont la substance est faite de rapports historico-culturels. La signification apparaît donc comme quelque chose qui ne vient pas (ou pas seulement) de l'élève, de ses actions et de ses propres pensées, mais comme signification que les élèves *produisent* avec le professeur collectivement dans l'interaction selon des réseaux historico-culturels structurants. Il faut entendre cette interaction non pas comme simple organisation technique d'actions des uns et des autres, mais comme un procédé qui fait plus que mettre les participants en face à face ; il s'agit d'une interaction à travers laquelle élèves et professeurs produisent des idées ensemble et se co-produisent comme humains. Contrairement à la conception individuelle de la signification et de sa conception du langage comme code au service de l'expression subjective d'émetteurs et de récepteurs, dans la conception sociale forte de la cognition, le langage est vu non pas seulement comme expression subjective, mais aussi comme porteur de significations culturelles qui pénètrent dans chacun, à son insu, par la participation dans des pratiques sociales.

Dans ce contexte, on voit apparaître plusieurs choix possibles. La sémiotique de Saussure et celle de Peirce semblent mieux répondre à la première conception de la signification, alors que la sémiotique de Vygotsky et de Halliday seraient plus propices à une approche didactique orientée par la deuxième conception de la signification. Dans un cas, comme dans l'autre, l'étude expérimentale des gestes dans l'apprentissage des mathématiques et l'interprétation théorique des gestes sont encore des problèmes à aborder.

4. Quelle sémiotique pour la didactique de la physique ?

Les approches didactiques se doivent de prendre en charge la spécificité des savoirs en jeu dans les situations d'enseignement-apprentissage. L'approche que nous mobilisons en didactique de la physique combine les modalités sémiotiques à la théorie des deux mondes. Cette théorie a été développée pour analyser l'enseignement et l'apprentissage de la physique à partir d'un point de vue épistémologique, à savoir celui de la modélisation, fondatrice de l'élaboration des savoirs en physique (Ruthven et al., 2009). Cette théorie fournit des outils permettant de distinguer ce qui relève du cadre explicatif de la physique de celui de la vie quotidienne. L'approche adoptée, que nous qualifions d'épistémosémiotique, a été développée en didactique de la physique et se donne pour objectif de rendre compte des processus de conception de situation d'enseignement et des interactions en classe (Bécu-Robinault, 2018). A l'instar des représentations sémiotiques, les modèles et la modélisation sont un fil conducteur dans les programmes de sciences physiques au lycée et au collège. La modélisation occupe par ailleurs une place croissante dans les programmes de lycée. D'un point de vue épistémologique, les processus de modélisation jouent un rôle primordial dans le développement des connaissances scientifiques (Bachelard, 1979). La construction des connaissances scolaires en physique nécessite l'articulation de deux niveaux de description d'une situation (celui des modèles et celui des objets et événements) qui s'opposent et se complètent. Les processus d'étude et d'enseignement de la physique sont analysés *via* les articulations entre ces niveaux de descriptions, combinés à des modalités sémiotiques adaptées pour décrire chacun de ces niveaux.

Les liens entre modélisation et représentations sémiotiques ont été repérés par de nombreux auteurs intéressés par la communication et l'appropriation des savoirs scientifiques. Ainsi, certains auteurs décrivent les représentations en physique comme intimement liées au processus de modélisation « les représentations sémiotiques sont au service des activités de modélisation à des fins d'élaboration, de communication, de discussion des modèles » (Schwarz et al., 2009). D'autres indiquent que les modèles ne peuvent faire abstraction des représentations : « un modèle est un contenu qui peut être exprimé à travers différents registres sémiotiques » (De Vries, 2007) et « tous les modèles scientifiques incluent des représentations sémiotiques » (Gilbert, 2004).

Dans l'approche épistémosémiotique, les hypothèses retenues pour analyser les interactions en classe de physique prennent ainsi appui à la fois sur l'épistémologie et sur la multimodalité : un modèle ne peut être mobilisé, communiqué, sans prendre appui sur des modes sémiotiques ; la signification des modes sémiotiques dépend du modèle choisi ; pour apprendre à manipuler les modes sémiotiques en

physique, les élèves doivent comprendre les règles de représentation inhérentes au modèle utilisé et expliciter les éléments de la situation expérimentale sélectionnés (Bécu-Robinault, 2018).

Dans les sections suivantes, consacrées pour la première à l'apprentissage de la physique et la seconde à l'apprentissage des mathématiques, les approches sont illustrées à partir d'études de cas issues de ces deux disciplines. L'étude de cas permet de porter une attention à des détails qui s'avèrent importants à discuter pour mieux apprécier et mieux comprendre le rôle des gestes dans l'apprentissage.

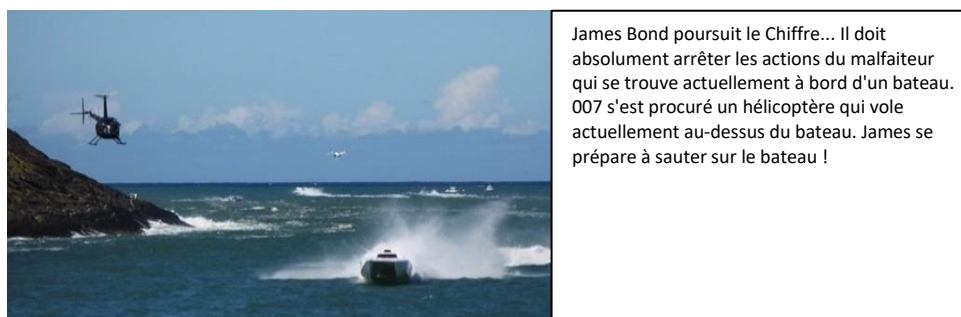
5. Ce que l'analyse des gestes nous dit de l'apprentissage de la physique

5.1. Une méthodologie adaptée à l'analyse des modes sémiotiques

Caractériser les pratiques d'enseignement et d'étude du point de vue de la modélisation et des modes sémiotiques nécessite d'élaborer une méthodologie permettant un accès et une analyse des actions, interactions et productions issues des activités conduites *in situ* par les enseignants et les élèves en classe. Il s'agit donc dans un premier temps d'envisager des collectes de données vidéo adaptées à la variété des configurations de classe (vidéos de groupes d'élèves, de la classe entière) puis de combiner ces données avec les tâches prévues par les enseignants (analyse des consignes notamment) et les différentes productions des élèves (brouillons et comptes-rendus par exemple). Pour conduire une analyse des interactions multimodales visant à rendre compte des processus d'apprentissage de la physique, nous nous appuyons dans un premier temps sur l'identification des niveaux de modélisation en jeu lors des interactions verbales, dans les ressources ou formulés dans les productions écrites. Dans un deuxième temps, ce sont les modes sémiotiques associés aux niveaux de modélisation qui sont analysés. Les analyses sémiotiques sont pilotées par celles relatives aux activités de modélisation, garantissant ainsi une perspective didactique ancrée dans la spécificité des savoirs en jeu dans les interactions.

Les analyses de situations au cours desquelles les élèves travaillent les modèles tout en s'appuyant sur des ressources multimodales ont mis en évidence que la collaboration favorise le changement conceptuel, en particulier lors de la réalisation d'expériences « à plusieurs mains » (Lund et Bécu-Robinault, 2013). Cette collaboration au service des apprentissages en science a également été soulignée dans le cadre d'une recherche plus récente portant sur la résolution de problème sur le principe d'inertie en seconde (Bécu-Robinault, 2022). Dans les exemples présentés ci-après, nous souhaitons plus particulièrement mettre en évidence le rôle des gestes collaboratifs pour la compréhension, y compris en l'absence de matériel expérimental. Plusieurs séances ont été enregistrées (audio et vidéo) et nous proposons ci-dessous de nous focaliser sur les interactions au sein

d'un groupe constitué de 4 filles. La consigne donnée à la suite du texte introductif du problème (figure 2) est de « décrire les manœuvres à effectuer par le pilote de l'hélicoptère pour que James Bond saute à coup sûr sur le bateau ». La description de la situation ainsi que la question adressée aux élèves ne mentionnent aucune grandeur physique à mobiliser, conformément aux choix opérés dans ce projet. Les élèves ne disposent pas de matériel expérimental. L'enseignante a choisi de compléter cette consigne par deux documents : il s'agit des chronophotographies de la chute libre d'un chat sans vitesse initiale et de la chute libre d'un objet, lâché par un cycliste avec une vitesse initiale horizontale. Les seules représentations sémiotiques mises à disposition des élèves sont donc le langage naturel (description de la situation), des photographies (situation et chronophotographies) ainsi que les schémas fournis dans les documents complémentaires qui représentent une relation



entre les grandeurs distance, vitesse et temps ($d = V_0 \Delta t$).

Figure 2. Texte et image présentant le problème « James Bond contre Le Chiffre »

De premières analyses de cette séance ont notamment mobilisé la théorie de l'action conjointe en didactique et les activités de modélisation des élèves (Derradj et al. 2018). L'analyse spécifique de l'apport des gestes a complexifié les méthodes d'analyse, car ils ne sont pas toujours produits de manière synchrone au découpage en tour de parole, utilisé précédemment pour les analyses du discours. Cette difficulté à découper le discours est d'autant plus marquée lors d'interactions en groupe de 4 élèves, en raison des nombreux chevauchements de tours de paroles. Pour pallier cette difficulté, le recours à un logiciel adapté a été nécessaire. Dans le cadre de cette recherche, c'est le logiciel Elan, développé par le Max Plank Institute for Psycholinguistics de Nijmegen aux Pays-Bas, qui a été utilisé. Ce logiciel permet l'annotation d'enregistrements audio ou vidéo. Des lignes d'annotation synchronisées avec le son et/ou l'image sont créées puis découpées en segments temporels par le codeur. Ces lignes peuvent comporter par exemple la transcription de la parole de chaque interlocuteur, ou bien comme c'est le cas sur la figure 3, la documentation de la gestuelle des signeurs, les références mobilisées et les activités conduites par chacune des élèves.

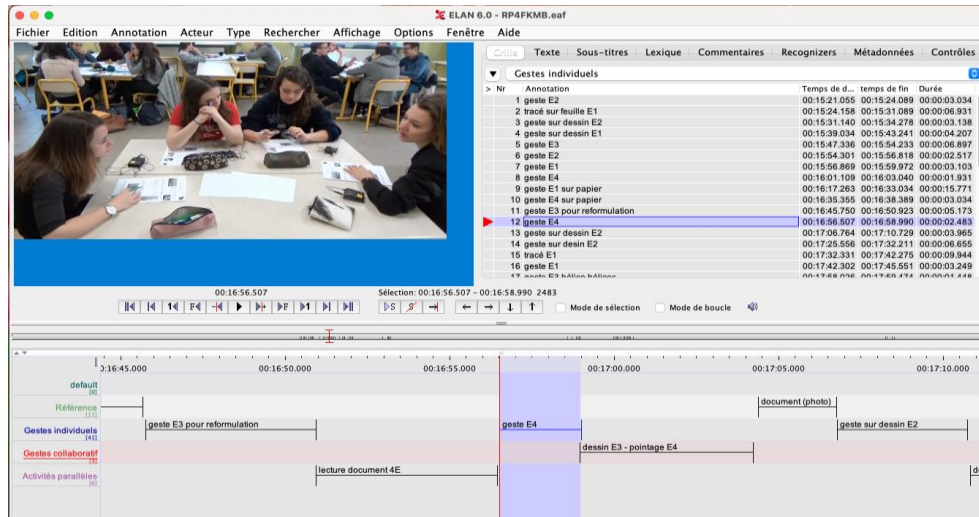


Figure 3. Copie d'écran d'une analyse de vidéo avec le logiciel ELAN

Dans la partie suivante, nous présentons 3 extraits donnant à voir la manière dont les gestes produits au sein de ce groupe d'élèves contribuent à la compréhension de la situation et à la résolution du problème. Afin d'identifier les moments pivots où les gestes jouent un rôle, nous nous sommes appuyés sur les analyses préalablement conduites. Pour cet article, nous avons sélectionné deux extraits emblématiques au cours desquels le processus de résolution s'enrichit durablement (avancée des savoirs) au regard des références à la vie quotidienne et des mouvements relatifs des objets et un extrait lié à la rédaction de la solution.

5.2. Extrait 1 : la construction d'une expérience sensorielle commune

Ce premier extrait (figure 4) fait suite à un premier quart d'heure consacré à la découverte de la situation, à l'appropriation de la question, à sa reformulation et à la recherche d'indices permettant d'articuler la situation aux documents complémentaires. Les élèves cherchent alors des pistes de solution concernant le mouvement de James Bond. Elles ne parviennent pas à s'entendre ni sur les positions des objets, ni sur les trajectoires à prendre en compte. À ce moment, les modes sémiotiques à disposition comprennent d'une part le texte de la situation et la photo, et d'autre part, dans les documents complémentaires, les relations algébriques entre grandeurs et les chronophotographies.

Les élèves invoquent alors des expériences quotidiennes qui vont ensuite constituer une référence sensorielle commune. Ainsi diverses expériences vécues vont successivement être évoquées : un homme qui court, le train, le métro, une vidéo sur Instagram puis à nouveau le train. Cette référence à la vie quotidienne, mimée

tour à tour par chacune des élèves, va constituer tout au long de l'activité une référence expérimentale commune qui ne sera pas remise en question.



Figure 4. La construction d'une expérience sensorielle commune à partir de l'exemple du métro (la flèche indique le mouvement réalisé avec la main droite)

E4 (à gauche sur la figure 4) « C'est c'est la même chose avec le métro par exemple tu sais quand t'ouvres tu sors du métro t'ouvres la porte un petit peu avant et que tu sautes et ben tu vas voir que t'as une vitesse parce que quand tu vas arriver tu vas tu vas manquer de tomber en fait parce que avec la vitesse le sol il va t'emmener tu vas c'est la même chose tu vois »

Les gestes produits pour mimer les mouvements des objets dans la vie quotidienne vont permettre d'élaborer un langage commun, et donc coder les mouvements des objets de la situation étudiée et discuter les trajectoires en fonction du référentiel choisi. Les gestes constituent ainsi peu à peu un ensemble de signes communs, reconnus par les membres du groupe. Ainsi, à partir de ce moment de la discussion, les représentations sémiotiques à disposition pour résoudre le problème s'enrichissent d'un nouveau mode sémiotique implicitement reconnu comme pertinent.

5.3. Extrait 2 : l'élaboration d'une signification commune des gestes liés au mouvement

Suite à l'extrait précédent, et après avoir discuté le référentiel pour envisager les mouvements du bateau et de l'hélicoptère et confronter les pistes de solution avec les documents complémentaires, les élèves discutent du mouvement de James Bond en fonction des mouvements relatifs de l'hélicoptère et du bateau. Pour envisager les différentes trajectoires de ces objets (le plus souvent l'hélicoptère ou James Bond), les élèves vont produire successivement des gestes individuels en

référence aux documents fournis mais aussi aux situations quotidiennes mimées précédemment.

A ce moment de la séance, identifié dans les analyses précédentes comme des mises à l'épreuve des solutions envisagées, les élèves effectuent des gestes accompagnant une proposition orale et partielle de solution (figure 5). Ces gestes sont produits successivement, sans qu'initialement une attention particulière soit apportée à leur signification en termes de trajectoire à représenter. Au fil des interactions, les gestes successifs des quatre élèves vont s'harmoniser pour constituer une base commune sur la manière de représenter les mouvements. Ainsi, les gestes vont être progressivement reconnus et mobilisés comme une modalité sémiotique pertinente et légitime, au moins au sein du groupe, pour décrire les mouvements relatifs des objets et envisager les pistes de solution.

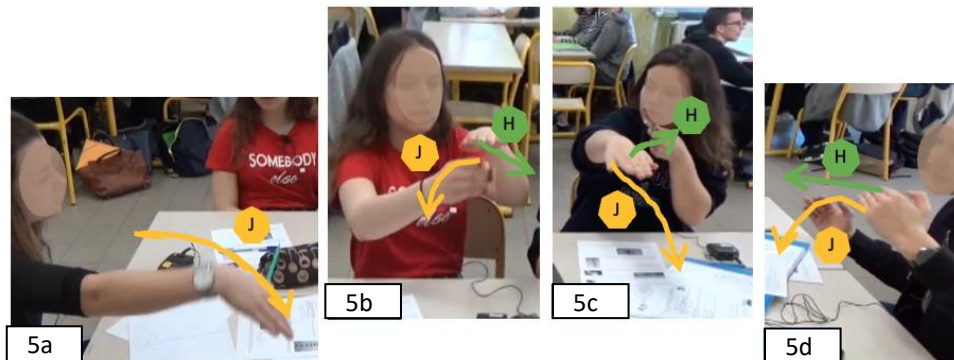


Figure 5. L'élaboration d'une signification commune des gestes (en jaune (J) les gestes mimant les mouvements de James Bond, en vert (H), ceux de l'hélicoptère)

E4 (5a) : Regarde quand t'es comme ça tac et tu le lâches il va faire comme ça il va pas il va pas revenir comme ça

E1 (5d) : Si mais si parce que si l'hélico il a un mouvement genre le James Bond en sautant il va pas avoir le même mouvement que l'hélico hein il va forcément euh

E4 : Non il va faire comme ça

E3 (5c) : Non il va faire l'inverse comme on a vu le métro bah oui parce que le métro on a vu pareil quand tu vas comme ça le mec il saute et ben il va de l'autre côté

E2 (5b) : Oui en fait il va il va faire comme ça parce que l'hélico va aller plus loin

Cette étape va permettre aux quatre élèves de modéliser la situation en simplifiant les éléments de la situation à prendre en compte et en identifiant les mouvements relatifs des objets comme étant le problème physique à résoudre.

5.4. Extrait 3 : Une collaboration nécessaire pour mimer la trajectoire de tous les objets en mouvement

Ce dernier extrait est situé en toute fin de séance. Après avoir mimé les différents mouvements possibles, discuté l'influence de divers paramètres tels que la hauteur ou la vitesse, tenté de représenter une solution avec des schémas, les élèves organisent les idées émises au cours de la séance afin de rédiger leur compte-rendu. Elles reviennent alors aux gestes pour représenter les mouvements relatifs afin d'envisager comment schématiser leur solution. Or, la représentation des mouvements simultanés de 3 objets (hélicoptère, James Bond et bateau) nécessite la collaboration d'au moins deux élèves et la coordination des gestes représentant les 3 mouvements.

Les élèves vont donc être dans l'obligation de gestuer à plusieurs, s'appuyant sur les gestes individuels qu'elles avaient produits précédemment. Cette coordination gestuelle avait été initiée au bout de 30 minutes d'activité pour positionner James Bond entre l'hélicoptère et le bateau (figure 6 à gauche) et donc compléter une représentation statique des 3 objets. À la fin de la séance (46 minutes), une élève va contraindre le geste initié par une autre de manière à représenter, de manière dynamique, les mouvements simultanés et relatifs des trois objets. (figure 6 à droite). Après un temps d'harmonisation des gestes, on observe un temps de synchronisation gestuelle pour mimer ces mouvements relatifs, ce qui va permettre la formulation d'une réponse commune du groupe qui sera schématisée sur le compte rendu de l'activité.

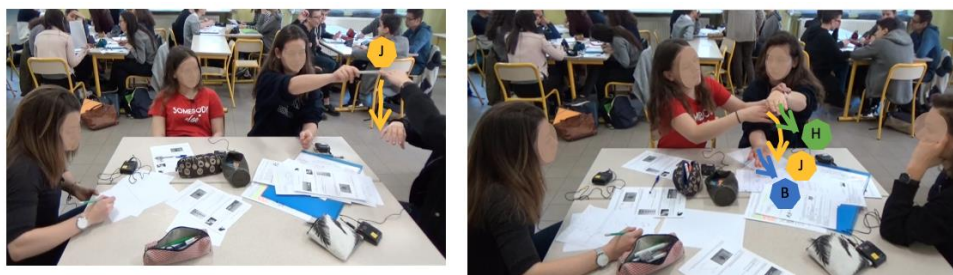


Figure 6. Une collaboration nécessaire pour mimer les 3 mouvements simultanés : en jaune le mouvement de James Bond (J), en vert l'hélicoptère (H) et en bleu le bateau (B). Les mains des élèves mimant l'hélicoptère et le bateau sont momentanément statiques pour le premier essai à gauche, et avancent parallèlement et simultanément à la main mimant James Bond à droite.

E2 : Oui mais si ils sont parallèles comme ça ils vont pas faire un truc comme ça si ils ont la même vitesse la même trajectoire

E3 : Non mais enfin il va il va faire comme ça ils vont avancer comme ça lui il va avancer donc il va un peu tomber mais je pense qu'il faut qu'il s'arrête un peu l'hélicoptère enfin

E4 : Mais de toutes façons il va jamais tomber de façon verticale c'est pas possible

E3 : On fait de ces schémas avec les mains

Cette reformulation des gestes en dessin conduit les élèves à questionner les liens entre la situation soumise à l'étude et les informations fournies dans les chronophotographies des documents complémentaires ; par exemple comment positionner une caméra pour une chronophotographie dans la mer pour rendre compte des mouvements du bateau, de l'hélicoptère et de James Bond.

Cette analyse montre que le geste acquiert, du fait de la collaboration entre les élèves au fil de la séance, le statut de mode sémiotique utile à la représentation de la situation et donc à la résolution du problème. Il permet de faire le lien entre des expériences et des connaissances quotidiennes et les savoirs physiques à mobiliser. En ce sens, il permet de modéliser la situation étudiée au même titre que des modes plus académiques. Toutefois, si les élèves parviennent rapidement à s'accorder sur sa signification et si sa légitimité en phase de résolution n'est jamais questionnée, ce mode sémiotique ne peut être mobilisé lors de la phase de restitution, du fait que l'enseignant demande un écrit. Des analyses complémentaires montrent qu'il se joue alors un jeu entre geste pour mimer le mouvement et geste de traçage de la trajectoire pour parvenir à un tracé effectif de la trajectoire (Bécu-Robinault, 2022).

6. Ce que l'analyse des gestes nous dit de l'apprentissage des mathématiques

Dans l'étude de cas qui suit, les gestes font partie de la signification. Celle-ci apparaît dans le sens fort discuté ci-dessus – la signification comme processus sociétal. L'exemple gravite autour d'une leçon sur la généralisation de suites dans une classe de 1^{ère} année (élèves de 6-7 ans) d'une école en Ontario, Canada.

La première partie de la tâche (sur laquelle nous nous arrêterons ici) consistait à :

- reproduire, à l'aide de bâtonnets, les trois premiers termes (appelés figures) d'une suite montrée sur papier (voir tableau 1 case 1) (la nomenclature *tableau m.n* indique la case n (compté de gauche à droite) du tableau m) ;
- produire la 4^e figure, laquelle n'était pas montrée sur la feuille.

Cette partie de la leçon devait amorcer la recherche dans des leçons subséquentes d'une formule (non nécessairement alphanumérique) qui donnerait le nombre de bâtonnets dans des figures lointaines non visibles (comme la 10^{ème} ou 12^{ème} figure).

La leçon a commencé avec une discussion d'environ deux minutes en grand groupe (voir tableau 1 case 2). Elle a continué par un travail en petits groupes d'environ 15 minutes (voir tableau 1 case 3) et une discussion générale d'environ 20 minutes.

Tableau 1. La suite en case 1, une discussion de bienvenue en case 2 et travail en petits groupes en case 3 (Radford, Salinas et Sacristán, 2023)



Dans notre interprétation de l'activité sémiotique, nous nous arrêtons sur :

- l'activité corporelle dont les gestes, le langage et sa prosodie (par exemple, l'intonation des mots), la perception, le rythme, etc.
- l'activité matérielle (c'est-à-dire l'activité avec des objets culturels, dans notre exemple, les bâtonnets, mais aussi les signes écrits ou inscriptions).

En effet, tant l'activité corporelle que l'activité matérielle font partie de l'activité de signification et donc de la sémiotique, comme nous l'entendons ici.

L'épisode suivant, qui servira à illustrer nos propos, provient du travail en petits groupes et met en vedette les élèves Ophé et Harold :

1. Ophé : Parfait. (Elle reproduit la figure 2 de la suite. Pendant ce temps, Harold essaie de reproduire la figure 2. Il place le bâton par le haut, puis il ne parvient pas à trouver comment continuer. Il essaie d'abord par le haut, puis par le bas (voir tableau 2.1)).
2. Harold : Euh ... Comment fais-tu . . . ? . . . Le bâton n'arrive pas jusqu'au bout !
3. Ophé : Quoi ? . . . Parce que... Attends ! Mets-en un là (voir tableau 2.2) puis un là (voir tableau 2.3)
4. Harold : Oh oui !
5. Ophé : Celui-là, en bas, regarde ! (Faisant une séquence de quatre gestes à deux mains) C'est une pizza (voir tableau 2.4). Une pizza inversée (tableau 2.5), une pizza [non inversée], une pizza inversée . . .
6. Harold : (reformulant, il fait une séquence de quatre gestes des doigts. En faisant référence au premier triangle) C'est au contraire : pas inversé, inversé, pas inversé (voir tableau 2.6).

7. Ophé : Pour moi, c'est inversé....

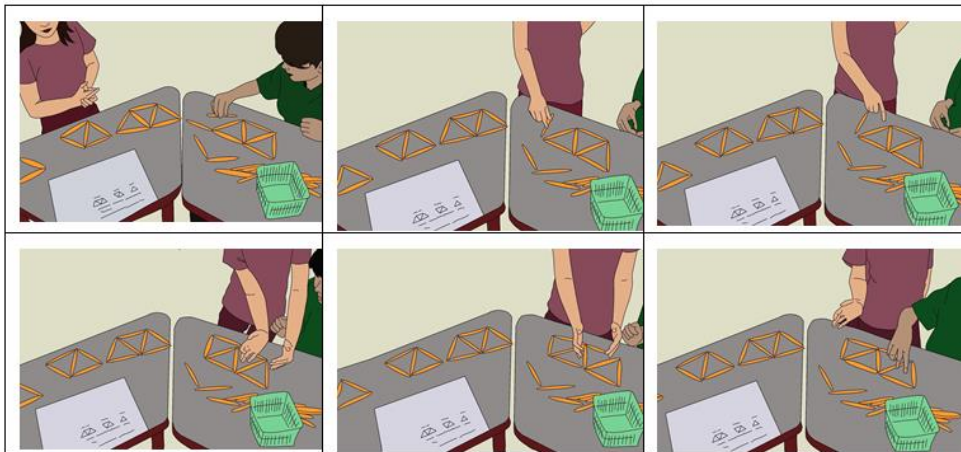
L'enseignante vient discuter avec Ophé et Harold :

8. L'enseignante : Bon, c'est votre figure ?

9. Harold : Oui

10. Enseignante : (en remarquant que les figures ne sont pas placées sur le pupitre dans l'ordre de la suite telle que vue de la position des élèves) Ah ! Tu l'as fait à l'envers ! C'est [figure] 1 2 3 4.... Pourriez-vous le changer, comme... regarde, c'est [figure] 1, [figure 1] vient ici, mettez-la ici (elle pointe vers une place sur le pupitre où pourrait aller la figure 1)

Tableau 2. Activité sémiotique des élèves (Radford, Salinas et Sacristán, 2023)



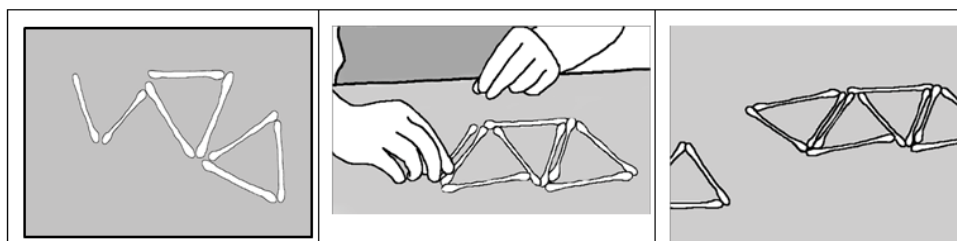
En demandant aux élèves de reproduire les premières figures à l'aide de bâtonnets, on peut apprécier ce que les élèves voient dans les figures. Souvent, au départ, cette perception est loin de la perception théorique requise (Radford, 2010). Un mouvement de transformation culturelle doit se mettre en place. Or, ce n'est pas seulement l'œil qui est en question ici. Ce sont tous les sens. Cette transformation culturelle des sens, ou mieux encore la création d'une nouvelle *sensibilité* dont l'activité gestuelle est témoin, est au fond ce qu'assure l'école.

L'apparition de cette nouvelle sensibilité est le résultat de la rencontre avec une manière historico-culturelle de penser le monde : une manière mathématique précise. Dans les lignes 1 à 4 du dialogue, on voit les difficultés auxquelles Harold est confronté en essayant de placer la dernière partie de la figure 2. Harold (tableau 2.1) a placé un bâtonnet horizontal et il n'arrive pas à trouver l'emplacement du bâtonnet qu'il tient dans sa main. Ophé (tableau 2.2) lui porte de l'aide : elle repositionne le bâtonnet horizontal de manière diagonale puis (tableau 2.3) elle place le dernier bâtonnet en bas, horizontalement. On y voit que la perception n'est

pas du tout passive. La perception est faite d'actions oculaires et tactiles qu'on voit à l'œuvre dans les efforts de Harold pour trouver la bonne place pour le dernier bâtonnet. La perception s'entremêle au geste et au langage au point qu'il vaut mieux voir les sens non pas séparés les uns des autres, mais plutôt, à la manière Vygotskienne, comme *unité* (Vygotski, 1985), unité dialectique dont les composantes se lient les unes aux autres par des relations toujours en mouvement et en transformation (Radford, 2012).

Une des différences entre l'appréhension des figures chez Ophé et chez Harold, c'est l'identification de ce que Zaporozhets (2002) appelle « unités de perception », c'est-à-dire une décomposition en *chunks* ou morceaux de l'objet à voir. À la ligne 5, Ophé parle de *morceaux de pizza*. C'est à travers l'analogie avec un objet familier qu'elle procède à décomposer la figure donnée en morceaux significatifs. Dans une autre classe, nous avons vu une décomposition en triangles, ce qui ne va pas sans problèmes, comme le montre le tableau 3. Ici, en travaillant avec des porte-cotons, l'élève finit (bien que non systématiquement) avec des côtés doubles.

Tableau 3. Des triangles comme unités de perception (Radford, sous presse)



La resignification des figures en morceaux n'est pas exactement la même chez Harold, même si, comme Ophé, il utilise le morceau de pizza comme référence commune. Harold montre sa manière de voir par des gestes différents : il utilise deux doigts pour parcourir les morceaux (chunks) perceptuels, en précisant le sens à travers le langage.

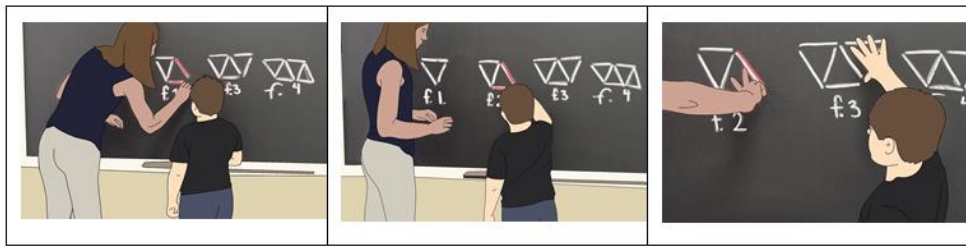
Outre le problème de la perception, il y a le problème de l'ordinalité sous-jacent au concept des suites. Quand l'enseignante arrive pour voir le travail d'Ophé et de Harold, elle se rend compte que les figures n'ont pas été construites dans l'ordre. Elles sont, en fait, disposées à l'envers (voir tableau 2.3). C'est ce problème qu'elle aborde à la ligne 10 du dialogue. Mais il y a aussi le problème de prise de conscience de la logique de construction de la figure, logique qui permettra de trouver une procédure ou formule donnant le nombre de bâtonnets dans un terme quelconque de la suite. Ce problème est attaqué lors de la discussion générale, où les élèves sont invités à présenter leurs idées à la classe.

On note tout de suite que la procédure de construction des figures n'est pas encore bien articulée linguistiquement. Dans le dialogue ci-dessous, l'enseignante essaie de rendre la procédure plus apparente.

Un élève, Otis, va au tableau noir et dessine deux bâtonnets à droite de la figure 1 et dit : « Et voici la figure 2 ».

1. Enseignante : D'accord, comme ici (elle efface les bâtonnets ajoutés dans la figure 1 et, suivant l'idée d'Otis, colorie en rouge dans la figure 2 les bâtonnets qu'Otis est en train d'ajouter ; voir tableau 4.1), ce que tu veux dire c'est que tu as mis ça ici ? Combien de bâtonnets as-tu mis ici ?
2. Otis : 2 (il pointe les bâtonnets ; voir tableau 4.2).
3. Enseignante : D'accord. Les 2 [bâtonnets] là en rose, d'accord ? Dans la figure 3, qu'est-ce que tu as fait ?
4. Otis : Nous avons la figure 2 et puis nous avons ajouté 1 de plus (avec un geste de la main complètement ouverte, il montre le triangle droit dans la figure 3).
5. Enseignante : 1 de plus ? Dans la figure 2, vous avez dit que vous aviez ajouté deux bâtonnets (en utilisant un effet prosodique, elle souligne le mot « deux » et montre avec deux doigts les bâtonnets en question ; voir tableau 4.3).
6. Otis : J'ai ajouté 2 bâtonnets.

Tableau 4. L'enseignante et Otis discutent devant la classe la procédure de construction des figures (Radford, Salinas et Sacristán, 2023)



La procédure de construction des figures devrait servir de base à la génération de ce que nous avons appelé une formule non-symbolique (voir Radford, 2014), c'est-à-dire une formule faite de mots, de gestes et des signes ou inscriptions (ce qui va dans la direction de ce que Vergnaud a appelé un théorème-en-acte). Après quelques abstractions et généralisations, qui peuvent prendre quelques années aux élèves, cette formule incarnée apparaîtra sous la forme de la formule $T_n = 2n + 1$.

Ayant l'idée de la formule incarnée à l'esprit, idée discutée lors de la co-planification de la leçon avec l'enseignante, à la ligne 1, celle-ci parle du nombre de bâtonnets ajoutés à la figure 1 pour passer à la figure 2 de la suite. Par cette question, elle essaie d'ouvrir un espace à l'intérieur duquel le point d'attention

passé de l'unité perceptuelle (le *chunk*) à la prise de conscience chez l'élève d'une relation récursive, que nous pouvons écrire $T_{n+1} = T_n + 2$. Ainsi, à la ligne 1, l'enseignante pose la question : « Combien de bâtonnets as-tu mis ici ? ». Il y a deux éléments dans la question : la question d'« où » et la question de « combien ». Alors que la première fait référence à la question de la structure spatiale des figures, la deuxième fait référence à la question de la structure numérique sous-jacente (Radford, 2011). C'est de la coordination de ces deux structures que la procédure de construction des figures pourra être dite dans le langage des mots et du corps et que, dans quelques années, elle pourra être dite à travers le système sémiotique alphanumérique.

La ligne 4 suggère qu'Otis reste encore collé à l'utilisation de l'unité perceptuelle qui pourtant s'est avérée importante pour reproduire les figures. Mais ici, on doit aller un peu plus loin. Le tableau 4.3 montre la tension entre les deux interprétations : celle de l'enseignante, centrée sur la quantité ajoutée ; celle d'Otis encore centrée sur un regard syncrétique de l'unité perceptuelle. Là où l'enseignante voit deux bâtonnets, Otis voit un chunk. Le glissement de la première appréhension des figures vers la deuxième commence à apparaître à la fin, dans la ligne 6.

7. En guise de conclusion

Les approches en didactique exposées dans cet article, l'une en physique, l'autre en mathématiques, mettent en évidence des évolutions similaires des approches langagières pour prendre en compte le rôle des représentations sémiotiques et notamment des gestes dans l'apprentissage. Dans les deux cas, nous avons montré que les représentations sémiotiques usuelles ou académiques ne sont pas suffisantes pour expliquer les phénomènes d'enseignement et d'apprentissage, en particulier lorsque les élèves travaillent en groupes. En effet, l'engagement corporel des élèves, mais aussi de l'enseignant lors de l'élaboration d'une explication ou de l'interprétation d'une situation contribue à la conceptualisation. Dans les deux disciplines, l'analyse de l'activité gestuelle met en évidence les aspects de la situation que les élèves considèrent comme importants pour résoudre la tâche et la manière dont les élèves produisent une signification aux situations étudiées.

En plus de mettre en évidence la construction progressive de la signification des objets et concepts manipulés, l'analyse des gestes fournit des éléments précieux sur l'intérêt de la collaboration dans la résolution d'une tâche, ou encore sur la manière d'organiser l'espace de travail afin de faciliter la visualisation des gestes produits, leur harmonisation et leur synchronisation à des fins de production de représentations sémiotiques plus conformes aux normes académiques.

Qu'en est-il des différences dans l'étude des gestes utilisés par les élèves dans ces disciplines ? Il nous semble difficile de répondre à cette question, car elle exige des études plus approfondies et la poursuite du dialogue entre les deux didactiques. Limitons-nous à suggérer qu'en physique la modélisation est une activité centrale ; le geste apparaît dans l'apprentissage de la physique comme mode sémiotique contributif à la modélisation. Évidemment, la modélisation est également importante en mathématiques, mais celles-ci se penchent aussi sur des problématiques autres (comme celui de la pensée algébrique étudiée dans l'exemple présenté dans cet article), ce qui fait que la production de la signification à laquelle participent les gestes et le langage peut se retrouver orientée différemment.

Qu'est-ce que l'analyse des gestes nous dit donc de l'apprentissage de la physique et des mathématiques ? Ce qu'elle nous dit, avant tout, c'est que les gestes opèrent de concert avec les autres sens lors de la communication et qu'il vaut mieux parler de multimodalité pour analyser leur contribution à la compréhension des concepts en jeu dans une situation d'enseignement. Nous avons également mis en évidence que les gestes contribuent à la construction d'une signification partagée de la situation au sein d'un groupe. L'analyse multimodale permise par la technologie vidéo offre une fenêtre qui permet d'apprécier l'apprentissage tel qu'il se donne à voir dans le feu de l'action. Notons que cette analyse demande des traitements précis, tant théoriques que méthodologiques, des phénomènes à l'étude. Concernant les traitements théoriques, nous avons mis en évidence plusieurs approches en sémiotique ; nous avons vu qu'un élément qui les distingue est celui de la compréhension du langage et de la signification. Dans les approches interactionnelles (par exemple, celles inspirées par la conception du langage de Saussure) le langage et les gestes apparaissent souvent comme des dispositifs de communication qui évoluent *in situ*. La signification part des individus vers le social. Dans les approches socioculturelles (par exemple, celles inspirées par Vygotski et Halliday) la signification se produit dans une dialectique entre le subjectif et le socioculturel. Concernant les traitements méthodologiques, les recherches sur les gestes nécessitent des logiciels adaptés à la finesse des découpages à opérer pour analyser les interactions multimodales au sein de groupes d'élèves ou entre les élèves et l'enseignant. Un travail en commun avec des chercheurs d'autres disciplines, notamment les sciences du langage, s'avère souvent indispensable si l'on souhaite caractériser ces interactions du point de vue de la signification qu'elles véhiculent sur les concepts et les objets.

Pour conclure, nous sommes convaincus que l'échange entrepris au sujet du langage et des gestes entre les didactiques des sciences et des mathématiques mérite d'être poursuivi. Dans un premier temps, il conviendrait de mieux cerner les similarités mais aussi les différences entre les approches, par exemple à partir de

l'analyse croisée d'un même ensemble de données. La poursuite de cet échange vise à relever un défi d'articulation, probablement inévitable, comme lorsque deux inconnus qui parlent des langues différentes se rencontrent pour la première fois.

Bibliographie

AINSWORTH, S., PRAIN, V. & TYTLER, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, 333(6046), 1096-1097.

ARSAC, G., CHAPIRON, G. & COLONNA, A. (1992). *Initiation au raisonnement déductif au collège*. Presses Universitaires de Lyon.

BACHELARD, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. Dans P. Delattre et M. Thellier (dir.), *Elaboration et justification des modèles*, (p. 4-18). Paris : Maloine.

BARTOLINI BUSSI, M. (1991). Social interaction and mathematical knowledge. Dans F. Furinghetti (dir.), *Proceedings of the Fifteenth Annual Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, vol. 1 (p. 1-16). Italy: Assisi.

BAUERSFELD, H. (1995). "Languages games" in the mathematical classroom: Their function and their effects. Dans P. Cobb et H. Bauersfeld (dir.), *The Emergence of Mathematical Meaning, Interaction in Classroom Cultures* (p. 211-292). Erlbaum Associates.

BECU-ROBINAULT, K. (2018). *Analyse des interactions en classe de physique, le geste, la parole et l'écrit*. Paris : L'Harmattan.

BECU-ROBINAULT, K. (2022). Multimodalité et modélisation pour enseigner et étudier la physique. Dans C. Hache, C. Houdement et C. de Hosson (dir.), *Approches sémiotiques en didactique des sciences*, (p. 173-208). ISTE Editions.

BERNIE, J.-P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport de la didactique comparée ? *Revue française de pédagogie*, 141, 77-88.

BOERO, P., PEDEMONTE, B., ROBOTTI, E. & CHIAPPINI, C. (1998). The 'Voices and echoes game' and the interiorization of crucial aspects of theoretical knowledge in a Vygotskian perspective: Ongoing research. Dans A. Olivier & K. Newstead (dir.), *Proceedings of the XXII International Conference for the Psychology of Mathematics Education 2* (p. 120-127). University of Stellenbosch.

BUTY, C. & PLANTIN, C. (2008). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Lyon : INRP.

COBB, P. & BAUERSFELD, H. (1995). *The emergence of mathematical meaning: Interaction in classroom cultures*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

COBB, P. & YACKEL, E. (1996). Constructivist, emergent, and sociocultural perspectives in the context of developmental research. *Educational Psychologist*, 31(3/4), 175-190.

DE VRIES, E. (2007). *Représentation et technologie en éducation. Habilitation à diriger des recherches*. Université Pierre-Mendès-France.

DERRADJ, C., BOIVIN-DELPIEU, G. & BECU-ROBINAULT, K. (2018). Conditions d'avancée des savoirs dans une résolution de problème. Dans *Actes des 10e rencontres de l'ARDIST*, Saint-Malo, France.

DOMINGUEZ, E. & RIVIERE, V. (2015). Les consignes en classe de langue : activité polyfocalisée et rôle du regard. Quels apports des discours réflexifs et quels enjeux de formation ? *Recherches en didactique des langues et des cultures* [En ligne], 12-2.

DUVAL, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Berne : Peter Lang.

DUVILLARD, J. (2014). « *L'introspection gestuée* ». *La place des gestes et micro-gestes professionnels dans la formation initiale et continue des métiers de l'enseignement*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.

FOREST, D. (2006). Analyse proxémique d'interactions didactiques. *Carrefour de l'Éducation*, 21, 73-94.

GIBSON, J. (1977). The theory of affordances. Dans R. Shaw et J. Bransford (dir.), *Perceiving, acting, and knowing*, (p. 67 -83). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

GILBERT, J. (2004). Models and modeling: routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.

GOLDIN-MEADOW, S. (1999). The role of gesture in communication and thinking, *Trends in Cognitive Sciences*, 3(11), 419-429.

HALLIDAY, M. & RUQAIYA, H. (1989). *Language, context, and text: Aspects of language in a social-semiotic perspective*. Oxford University Press.

HOLZKAMP, K. (2013). *Psychology from the standpoint of the subject*. Palgrave Macmillan.

HOUEMENT, C., DE HOSSON, C. & HACHE, C. (2022). *Approches sémiotiques en didactique des sciences*. ISTE éditions.

- KENDON, A. (2004). *Gesture: Visible action as utterance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KRESS, G., JEWITT, C., OGBORN, J. & TSATSARELIS, C. (2001). *Multimodal teaching and learning, The rhetorics of the science classroom*. London and New York : Continuum.
- LABORDE, C. (1988). Interview avec Gattuso. *Bulletin AMQ*, Octobre, 20-21.
- LABORDE, C., PUIG, L. & NUNES, T. (1996). Language in mathematics education. Dans L. Puig et A. Gutiérrez (dir.), *Proceedings of the 20th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, vol. 1, (p. 53-84). Spain : Valencia.
- LAKOFF, G. & NUÑEZ, R. (2000). *Where mathematics comes from*. Basic Books.
- LATOUR, B. (2006). *Petites leçons de sociologie des sciences*. Éditions La Découverte, Paris : La Découverte.
- LEMKE, J. (1998). Multiplying Met R. Veel (dir.), *Reading Science*, (p.87-113). London: Routledge.
- LERMAN, S. (1996). Intersubjectivity in mathematics learning: A challenge to the radical constructivist paradigm? *Journal for Research in Mathematics Education*, 27(2), 133-150.
- LÉVINAS, E. (1978). *Autrement qu'être ou au-delà de l'essence*. Martinus Nijhoff.
- LUND, K. & BÉCU-ROBINAULT, K. (2013). Conceptual Change and Sustainable Coherency of Concepts Across Modes of Interaction. Dans D. Suthers, K. Lund, C. Rose, C. Teplov et N. Law (dir.) *Productive Multivocality in the Analysis of Group Interactions*, (p. 311-330). New York: Springer.
- MCNEILL, D. (1992). *Hand and mind; what gestures reveal about thought*. Chicago: University Press.
- MINISTERE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2019). Bulletin Officiel de l'éducation nationale spécial n° 8 du 25 juillet 2019.
- NONNON, E. (2002). Des interactions entre oral et écrit : notes, canevas, traces écrites et leurs usages dans la pratique orale. *Pratiques : linguistique, littérature, didactique*, 115/116, 73-92.
- PETERFALVI B. & JACOBI D. (COORD.) (2003). *Aster Interactions langagières 1*, 37, INRP.
- PETERFALVI B. & JACOBI D. (COORD.) (2004). *Aster Interactions langagières 2*, 37, INRP.

- PRESMEG, N., RADFORD, L., ROTH, M.-W. & KADUNZ, G. (2018). *Signs of signification. Semiotics in mathematics education research*. Springer.
- RADFORD, L. (2010). The eye as a theoretician: Seeing structures in generalizing activities. *For the Learning of Mathematics*, 30(2), 2-7.
- RADFORD, L. (2011). Grade 2 students' non-symbolic algebraic thinking. Dans J. Cai & E. Knuth (dir.), *Early algebraization* (p. 303-322). Springer-Verlag.
- RADFORD, L. (2012). On the development of early algebraic thinking. *PNA*, 6(4), 117-133.
- RADFORD, L. (2014). The progressive development of early embodied algebraic thinking. *Mathematics Education Research Journal*, 26(2), 257-277.
- RADFORD, L. (2022). Corps, matière et signes dans la constitution du sens en mathématiques. Dans C. Houdement, C. Hache, et C. de Hosson (dir.), *sémiotique et apprentissages scientifiques* (p. 245-280). ISTE Editions.
- RADFORD, L. (sous presse). Sensed objects, sensing subjects: Embodiment from a dialectical materialist perspective. Dans L. Edwards et C. Krause (dir.), *The Body in Mathematics*. Sense/Brill.
- RADFORD, L., SALINAS, U. & SACRISTAN, A. (2023). A dialogue between two theoretical perspectives on languages and resource use in mathematics teaching and learning. *ZDM - Mathematics Education*, 55(3), 611-626.
- RIVIERE, V. & BLANC, N. (2019). *Observer la multimodalité en situations éducatives : circulations entre recherche et formation*. Lyon : ENS Editions.
- RUTHVEN, K., LABOIRDE, C., LEACH, J. & TIBERGHIE A. (2009). Design tools in didactical research: Instrumenting the epistemological and cognitive aspects of the design of teaching sequences. *Educational researcher*, 38(5), 329-342.
- SCHNEEBERGER P. & VERIN A. (2009). *Développer des pratiques d'oral et d'écrit en sciences. Quels enjeux pour les apprentissages à l'école ?* Lyon : INRP.
- SCHWARZ, C., REISER, B., DAVIS, B., KENYON, L., ACHER, A., FORTUS, D., SHWARTZ, Y., HUG, B. & KRAJCIK, J. (2009). Designing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal for Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- STEINBRING, H. (2000). The genesis of mathematical knowledge as a social construction. Dans T. Nakahara et M. Koyama (dir.), *Proceedings of the 24th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, vol. 4, (p. 177-184). Japan: Hiroshima.

STEINBRING, H., BARTOLINI BUSSI, M. & SIERPINSKA, A. (1998). *Language and communication in the mathematics classroom*. National Council of Teachers of Mathematics.

TROGNON, A. (1995). Pragmatique formelle et pragmatique empirique. *L'Information Grammaticale*, 66, 17-24.

VERGNAUD, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 10, 133-170.

VYGOTSKY, L. S. (1985). *Pensée et langage*. Éditions sociales.

VYGOTSKY, L. S. & LURIA, A. (1994). Tool and symbol in child development. Dans R. V. D. Veer et J. Valsiner (dir.), *The Vygotsky Reader* (p. 99-174). Blackwell Publishers.

ZAPOROZHETS, A. V. (2002). The development of sensations and perceptions in early and preschool childhood. *Journal of Russian and East European Psychology*, 40(3), 22-34.

KARINE BÉCU-ROBINAULT

UMR ICAR (ENS de Lyon)

karine.robinault@ens-lyon.fr

LUIS RADFORD

Université Laurentienne

Lradford@laurentian.ca