

Une analyse de l'activité enseignante lors d'enseignements en mathématiques avec un outil numérique de type logiciel

Jean-François Hérold, Fabrice Gunther and Rachid Zarouf

Volume 47, Number 4, Winter 2024

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1116080ar>

DOI: <https://doi.org/10.53967/cje-rce.6073>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Canadian Society for the Study of Education

ISSN

0380-2361 (print)

1918-5979 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Hérold, J.-F., Gunther, F. & Zarouf, R. (2024). Une analyse de l'activité enseignante lors d'enseignements en mathématiques avec un outil numérique de type logiciel. *Canadian Journal of Education / Revue canadienne de l'éducation*, 47(4), 1032–1056. <https://doi.org/10.53967/cje-rce.6073>

Article abstract

The aim of the research presented in this article is to study the knowledge held by the teacher in the specific context of teaching using a digital tool (in this case, a software program) as a didactic device to support the students' learning. Teaching sessions of mathematical knowledge in secondary school (i.e., with students who are 13–15 years old) were observed using observation grids; semi-structured interviews held with teachers before and after the class supplement the observation data collected. An analysis of the teachers' activity was then carried out. The data show that the teachers mainly focus on the digital tool and the fact that the students manage to carry out the prescribed tasks with the tool, and thus turn away from the mathematical knowledge to be taught.



Une analyse de l'activité enseignante lors d'enseignements en mathématiques avec un outil numérique de type logiciel

Jean-François Hérold
Aix-Marseille Université

Fabrice Gunther
Enseignant à l'Éducation nationale

Rachid Zarouf
Aix-Marseille Université

Résumé

La présente étude cherche à examiner les savoirs portés par la personne enseignante dans sa pratique, et ce, dans un contexte particulier : celui d'un enseignement utilisant un outil numérique, en l'occurrence un logiciel, qui sert de support pédagogique pour soutenir l'apprentissage des élèves. Des séances d'enseignement de savoirs mathématiques (d'élèves de 13–15 ans) ont été observées à l'aide de grilles d'observation ; des entretiens semi-directifs avec les enseignant[e]s, avant et après la séance, complètent les données d'observation recueillies. Une analyse de l'activité des enseignant[e]s a alors été

effectuée. Les données montrent que les enseignant[e]s se focalisent essentiellement sur l'utilisation de l'outil numérique et le fait que les élèves parviennent à réaliser les tâches demandées avec cet outil ; ceci fait qu'ils se détournent du savoir mathématique à enseigner visé.

Mots-clés : savoir à enseigner, outil numérique, activité enseignante, enseignement des mathématiques

Abstract

The aim of the research presented in this article is to study the knowledge held by the teacher in the specific context of teaching using a digital tool (in this case, a software program) as a didactic device to support the students' learning. Teaching sessions of mathematical knowledge in secondary school (i.e., with students who are 13–15 years old) were observed using observation grids; semi-structured interviews held with teachers before and after the class supplement the observation data collected. An analysis of the teachers' activity was then carried out. The data show that the teachers mainly focus on the digital tool and the fact that the students manage to carry out the prescribed tasks with the tool, and thus turn away from the mathematical knowledge to be taught.

Keywords : knowledge to be taught, digital tool, teacher's activity, teaching mathematics

Introduction

Aujourd'hui, on peut constater que, dans la grande majorité des pays de l'OCDE, les outils numériques sont fortement présents dans les établissements scolaires (OECD, 2015). Par exemple, en France, où existe une véritable volonté ministérielle de rendre présent le numérique en classe, il est établi que « l'école intègre désormais de manière non marginale des outils et des usages du numérique » (Fluckiger, 2020, p. 39). Pour les élèves de 12 à 15 ans, l'enseignement des mathématiques comporte ainsi de nombreuses tâches d'apprentissage et de mobilisation de connaissances (Musial et al., 2012) mettant l'accent sur la résolution de problèmes ou la pratique du calcul numérique, enseignements qui peuvent être soutenus par un outil numérique comme le tableur ; de même, des tâches — par exemple, l'élaboration de conjectures — peuvent être accompagnées par un logiciel de géométrie. Par ailleurs, en mathématiques, l'enseignement de la programmation prend une place de plus en plus importante.

Néanmoins, si l'équipement en outils numériques des établissements scolaires a effectivement augmenté dans les pays industrialisés, il faut encore démontrer leur efficacité sur l'apprentissage des élèves (Mayer, 2010) et préciser les conditions de cette efficacité (Hérol et Ginestier, 2017).

En effet, un certain nombre de méta-analyses donnent des résultats contrastés concernant l'effet du numérique sur l'apprentissage des élèves. Par exemple, Young et al. (2018) indiquent qu'en moyenne cet effet est relativement modéré sur l'apprentissage des mathématiques, mais l'analyse fine des résultats en montre une grande disparité. La synthèse proposée par Lewin et al. (2019) sur les apprentissages en mathématiques et en sciences aboutit au même constat. Aussi, d'autres études mettent en avant des aspects particuliers de l'enseignement-apprentissage pour lesquels on peut effectivement percevoir un effet bénéfique sur l'efficacité de l'apprentissage des élèves (Shamir et al., 2019). Par exemple, la méta-analyse proposée par Ran et al. (2021) indique un effet positif du numérique sur l'apprentissage en mathématiques pour des élèves de faible niveau et principalement pour des activités de résolution de problèmes. Ainsi, ces méta-analyses identifient les potentialités, mais aussi les limites du numérique en classe, avec un point de vue principalement centré sur les apprentissages des élèves à partir de leurs résultats scolaires.

Aussi, pour mieux comprendre l'effet du numérique sur l'apprentissage des élèves, on peut examiner les usages des outils numériques en classe de différentes façons. D'abord, en étudiant les contraintes de conception des situations d'enseignement impliquant un outil numérique (prescriptions institutionnelles, culture numérique de l'enseignant[e], « poids » social de la technologie, mais aussi un certain nombre de contraintes pratiques, comme la disponibilité ou l'efficacité du matériel). Ensuite, en observant la manière dont les enseignant[e]s mettent en œuvre ces enseignements avec un point de vue centré soit sur l'élève et son activité d'apprentissage, soit sur la personne enseignante et son activité d'enseignement en classe (Abboud-Blanchard, 2013). Nous partageons l'idée que, pour tenter de caractériser l'effet du numérique sur l'apprentissage des élèves, on doit observer le comportement des acteurs de la situation d'enseignement-apprentissage et analyser l'activité produite par ces acteurs (Pastré, 2008).

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'activité de l'enseignant[e] en classe. Par conséquent, analyser l'activité de l'enseignant[e] revient à identifier les savoirs véritablement enseignés dans la situation, à caractériser les stratégies d'enseignement mises en œuvre, à identifier et à étudier les ajustements effectués et les éléments de régulation des apprentissages des élèves (Hérol, 2019), cela en tenant compte de l'outil numérique retenu par l'enseignant[e].

En didactique, un certain nombre de travaux se sont appuyés sur l'approche instrumentale (Rabardel, 1995) qui permet de comprendre pourquoi les outils numériques, présents dans les classes, ne peuvent pas être considérés comme « neutres » dans l'activité de l'enseignant[e].

C'est l'approche qu'ont adoptée Abboud-Blanchard et Rogalski (2017), par exemple, qui mettent en avant les notions de « tensions¹ » et de « perturbations » pour analyser l'activité enseignante en classe au sein de la dynamique des interactions entre outil, élèves et enseignant[e]. Le point de vue que nous avons retenu est d'étudier les savoirs qui, finalement, seront véritablement en jeu dans la situation d'enseignement. Ces savoirs se révèlent à travers la conduite de l'enseignement par la personne enseignante en classe, notamment sur sa façon de prendre en compte le contexte de la tâche prescrite aux élèves, soit, dans notre cas, l'outil numérique retenu.

1 « tension » : conflit entre ce qu'avait prévu l'enseignant[e] et la nécessité de devoir s'adapter aux phénomènes qui surgissent et qui sont dus à la dynamique de la classe ; « perturbation » : tension non gérée, ou gérée de façon inappropriée, qui éloigne le travail en classe de l'itinéraire prévu.

Dans cet article, nous nous intéressons ainsi aux situations d'enseignement de savoirs mathématiques dans lesquelles un logiciel sert d'outil didactique pour soutenir l'apprentissage des élèves, afin d'étudier les actions concrètes des enseignant[e]s dans ces situations, cela à partir de l'analyse de leur activité.

Nous partageons le point de vue de Lagrange et Caliskan-Dedeoglu (2009) sur la nécessité d'étudier les usages du numérique en classe dans des « conditions ordinaires » afin de pouvoir appréhender les pratiques des enseignant[e]s dans la perspective d'une meilleure compréhension des « problèmes épistémologiques, cognitifs et institutionnels que pose la technologie » (p. 146). En effet, comme le soulignent ces auteurs, étudier ces conditions ordinaires des usages s'avère nécessaire afin de mieux comprendre la réalité de la classe, notamment pour comprendre le pourquoi d'une efficacité qui peut se révéler, dans certains cas, toute relative de l'utilisation de ces outils numériques sur l'apprentissage de savoirs mathématiques par les élèves.

Cadre Théorique

Tâche et activité

Quand la personne enseignante conçoit une tâche d'apprentissage pour ses élèves, elle définit en fait ce qu'elle attend d'eux avec un but précis, celui de leur permettre d'apprendre les connaissances relatives au savoir enseigné, au savoir porté par la tâche, tout en leur précisant comment ils doivent ou peuvent réaliser la tâche (Musial et al., 2012). Ces conditions de réalisation correspondent aux ressources et contraintes encadrant la réalisation de la tâche, comme l'expose Rogalski (2008). Rogalski (2008) propose d'articuler différents cadres théoriques pour analyser les activités des enseignant[e]s et les activités des élèves. Selon cette auteure, la théorie de l'activité qu'elle retient différencie « tâche » et « activité » de la manière suivante :

- la tâche, c'est ce que doit accomplir le sujet, autrement dit, en reprenant les propositions de Leontiev, le but à atteindre dans certaines conditions (Leplat, 2000). Donc, dans le cas d'une tâche d'apprentissage, par exemple, il s'agira pour l'élève d'apprendre les connaissances relatives au savoir enseigné, sous certaines conditions, c'est-à-dire en respectant les conditions de mise en œuvre de la tâche définies par l'enseignant[e] ;

- l'activité, c'est ce qu'un sujet déploie lors de la réalisation de la tâche, c'est-à-dire ses actes extériorisés, les décisions qu'il prend, la manière dont il gère le temps, ses interactions avec autrui dans la situation de la tâche. Rogalski (2008) prend également en compte l'état personnel du sujet en matière de charge de travail, de stress et de plaisir.

Ainsi, la tâche correspond à l'action attendue du sujet, et l'activité correspond à son action réelle. Pastré (2008) met également en évidence cette prise en compte de l'articulation tâche-activité. D'après cet auteur, pour analyser l'activité du sujet, il faut tenir compte des caractéristiques de la situation dans laquelle le sujet réalise son activité, car cette activité dépend non seulement de la tâche, mais également du contexte de la tâche, de son environnement.

Outil numérique comme ressource didactique

Dans une situation d'enseignement où l'apprentissage du savoir à enseigner est porté par un outil numérique, Abboud-Blanchard et Chappet-Paries (2011) font remarquer que, très souvent, l'enseignant[e] demeure plus en retrait que dans une situation d'enseignement de type « papier-crayon ». Ainsi, dans le cas de la situation avec un outil numérique de type logiciel, la personne enseignante se déplace dans la classe, consulte les écrans des élèves, est en attente de leurs sollicitations. Ces sollicitations sont souvent surtout d'ordre pragmatique et relèvent de contraintes d'utilisation du logiciel retenu par l'enseignant[e]. Effectivement, cette situation diffère considérablement des situations « papier-crayon » plus traditionnelles et habituelles dans lesquelles les élèves réalisent la tâche prescrite sur un support papier et où la personne enseignante s'adresse souvent à la classe, interpelle les élèves, et fait des interventions au tableau pour donner des explications, justifier des résultats, effectuer des calculs, etc. (*ibid*). De ce fait, pour éventuellement s'avérer un outil d'aide à l'apprentissage efficace, un outil numérique en classe doit, entre autres, véritablement s'intégrer dans les pratiques des enseignant[e]s (Ritella et Hakkarainen, 2012), dans leur conduite de l'enseignement.

De plus, comme le soulignent Abboud-Blanchard et Rogalski (2017), un[e] enseignant[e] qui utilise un outil numérique en classe doit composer avec un certain nombre de difficultés, non prévues, souvent liées à la mise en œuvre de l'outil, que l'enseignant[e] va « subir » — pour reprendre le terme utilisé par ces auteures — et qui l'amèneront à modifier son activité. Ainsi, en classe, l'enseignant[e] doit pouvoir identifier et intégrer dans son analyse de l'activité de ses élèves les « genèses

instrumentales potentielles» (Lagrange, 2013/2014, p. 4, en reprenant les concepts de l'approche instrumentale proposée par Rabardel, 1995), afin de se donner la possibilité de recourir aux moyens adéquats pour intervenir efficacement dans la régulation de l'activité d'apprentissage des élèves.

Pour Trouche (2005), l'approche instrumentale de Rabardel permet d'étudier les processus d'apprentissage dans des environnements avec un outil numérique, ce qui, pour cet auteur, explique pourquoi on retrouve fréquemment cette approche dans les recherches en didactique des mathématiques. De plus, comme le soulignent Abboud-Blanchard et Rogalski (2017), le recours à cette approche permet d'étudier l'outil numérique avec un point de vue centré sur l'activité de l'élève, mais aussi avec un point de vue centré sur celle de l'enseignant[e], car, dans les deux cas, les interactions sont médiatisées par l'outil. Par exemple, les aides fournies par l'enseignant[e] concernant le fonctionnement de l'outil numérique relèvent du domaine de l'usage de l'instrument dans l'approche de Rabardel. En revanche, pour les aides qui concernent les objets de savoir manipulés avec l'outil, on se réfère plutôt à l'utilisation de l'instrument (Abboud-Blanchard et Rogalski, 2017 ; Rabardel et Béguin, 2005).

Abboud-Blanchard (2013) fait remarquer que, dans bien des cas, l'enseignant[e] ne prend pas assez en compte les spécificités d'une situation d'enseignement-apprentissage avec un outil numérique comme dispositif didactique par rapport à la situation d'enseignement-apprentissage s'appuyant sur un dispositif papier-crayon. Cette auteure fait remarquer que l'enseignant[e], dans son utilisation des outils numériques, n'a alors pas de « vision globale sur l'organisation d'un enseignement cohérent intégrant cet outil » (Abboud-Blanchard, 2014, p. 157). L'analyse de l'activité de l'enseignant[e], dans ces cas-là, montre sa tendance à guider considérablement les élèves lors des séances d'enseignement avec un outil numérique, imposant aux élèves un scénario pédagogique bien plus contraint que pour des séances sans numérique (Abboud-Blanchard, 2013). De ce fait, une personne enseignante qui utilise le numérique en classe est confrontée à des « tensions » qu'elle arrive plus ou moins à gérer.

De plus, comme le fait remarquer Vosniadou (2007), lors de la prescription d'une tâche, l'enseignant[e] « confond » bien souvent l'objectif d'apprentissage — faire apprendre aux élèves un savoir — et le moyen d'atteindre cet objectif (par exemple, résoudre un problème est un moyen pour contribuer à atteindre un objectif d'apprentissage qui peut être l'apprentissage d'un nouveau savoir-faire ou l'automatisation d'un savoir-faire déjà vu). Dit autrement, le fait d'être amené à utiliser un outil numérique dans sa situation d'enseignement amène l'enseignant[e] à se focaliser

sur l'outil et sa mise en œuvre au détriment du savoir à enseigner censé être porté par la tâche. Lorsque les enseignant[e]s utilisent des outils numériques, tels les logiciels, lors de situations d'enseignement, ils et elles ont tendance à se concentrer sur l'accomplissement de la tâche numérique plutôt que sur la collecte d'informations relatives au processus d'apprentissage de l'élève. Ces informations sont pourtant cruciales pour l'enseignant[e] afin de réguler efficacement l'activité d'apprentissage des élèves (Musial et al., 2012).

Le fait que, dans des situations d'enseignement-apprentissage comportant un outil numérique, la gestion de l'enseignement du savoir par l'enseignant[e] soit assujettie à des contraintes qui vont au-delà du devenir de la tâche prescrite (Abboud-Blanchard, 2013) amène alors à s'interroger à savoir sur quoi la personne enseignante portera son attention dans des situations d'enseignement-apprentissage avec un outil numérique. Il ne s'agit donc plus seulement de se demander comment le savoir « prend vie » dans la situation didactique (Schubauer-Leoni, 2007), mais d'étudier ce qui se passe dans la situation effective d'enseignement qui, pour notre étude, est un enseignement porté par un outil numérique (Giroux, 2015).

Ainsi, lorsqu'un[e] enseignant[e] prescrit une tâche porteuse d'un savoir mathématique à ses élèves, quelle conduite de son enseignement de ce savoir est-il possible d'observer grâce à la présence d'un outil numérique pour soutenir l'apprentissage des élèves ?

Méthodologie

Données descriptives des participants à l'étude

En France, on peut dire que, globalement, le recours aux outils numériques par les enseignant[e]s en classe est très lié aux injonctions de l'institution (Abboud-Blanchard, 2013); de ce fait, ce recours s'est fait très progressivement.

Par ailleurs, aux États-Unis, des villes comme Seattle, par exemple, accueillent historiquement un grand nombre d'entreprises dont les activités relèvent du domaine des nouvelles technologies numériques; ainsi, ces entreprises ont fortement contribué à l'équipement numérique des établissements scolaires et à la formation des enseignant[e]s². Cela a également engendré un développement important des usages du numérique en

2 Voir, par exemple, un article de presse sur le sujet : <https://www.seattletimes.com/business/microsoft/microsoft-to-spend-110-million-on-economic-and-education-initiatives-to-boost-washington-states-recovery/>

classe par le personnel enseignant, depuis de nombreuses années. Ce développement s'est notamment accentué pour l'enseignement des sciences, des mathématiques et de la technologie par la mise en œuvre du plan fédéral d'éducation STEM³ (OSTP, 2020). Les enseignant[e]s de France demeurent quant à eux nettement plus spécialisés, voire ancrés dans une seule discipline.

Aussi, nous avons retenu le principe d'observer six enseignants volontaires en classe lors d'une séance d'enseignement mettant en œuvre un outil numérique de type logiciel comme outil didactique : trois aux États-Unis (Seattle), enseignants 1 à 3 ; trois en France (Marseille), enseignants 4 à 6. Ce choix, dans la différenciation des personnes enseignantes retenues pour notre recherche, nous permettra potentiellement d'évaluer l'effet des contraintes liées au déficit de « culture numérique » de certains enseignants français, déficit souvent mis en avant dans les études sur les pratiques d'enseignement, comme le font remarquer Abdoud-Blanchard et Rogalski (2017). Effectivement, si la personne enseignante se montre peu familière avec l'outil informatique, elle risque alors d'éprouver beaucoup de difficultés à réguler l'activité d'apprentissage de ses élèves. Cela nous permet ainsi de considérer deux communautés d'enseignants ayant chacune leur « histoire » (au sens d'Engeström [2001] avec le principe d'« *historicity* » dans son modèle de l'activité). Ces six enseignants avaient de 3 à 17 ans d'expérience en enseignement.

Dispositif élaboré

Dans cette recherche, nous avons étudié les interactions en classe entre la personne enseignante et les élèves (groupes de 12 à 15 élèves, âgés de 13-15 ans), avec pour point de mire l'activité de l'enseignant[e], dans des situations d'enseignement pour lesquelles un logiciel (Scratch, GeoGebra, Excel©) constituait l'outil numérique retenu pour soutenir l'apprentissage de la tâche prescrite. Nous avons choisi l'observation comme outil de recueil de données (Goigoux, 2007 ; Roditi, 2011 ; Trouche, 2005). Pour reprendre les propos de Bru (2002), l'observation est indispensable et il est nécessaire de connaître les pratiques effectives d'un[e] enseignant[e] et non celles déclarées ; l'auteur précise cependant que « les pratiques observées ne sont pas toujours assimilables aux

3 Science, Technology, Engineering and Mathematics.

pratiques habituelles d'un enseignant» (p. 70). Une observation non participative et directe en classe a ainsi été effectuée auprès des six enseignants participants.

Grille d'observation

Nos observations se sont appuyées sur une grille d'observation à trois dimensions : le mode d'action des différents acteurs de la situation d'enseignement-apprentissage (enseignant[e], élèves), le mode de pilotage de l'enseignant[e], et la médiation effectuée par l'enseignant[e] durant la séance observée ; les composantes respectives de ces dimensions ont été déterminées à partir des propositions d'Altet (2002), de Clanet (2007), et de Robert et Rogalski (2002).

La dimension « mode d'action des différents acteurs » comporte deux composantes :

1. La composante « actions de l'enseignant[e] », avec quatre items d'observation :
 - déplacements dans la salle de classe ou pas ;
 - réponses aux questions des élèves ;
 - consultation des écrans des ordinateurs ;
 - laisse les élèves autonomes dans leur progression.
2. La composante « actions des élèves », avec cinq items d'observation :
 - sollicitent l'enseignant[e] ou les autres élèves ;
 - consultent leurs documents ;
 - utilisent l'aide du logiciel ;
 - s'engagent rapidement dans la tâche ;
 - demeurent engagés dans la tâche.

La dimension « mode de pilotage de l'enseignant[e] » comporte également deux composantes :

1. La composante « ajustements effectués par l'enseignant[e] », avec dix items d'observation :
 - donne des consignes d'ordre méthodologique ;
 - donne des consignes de type « mode d'emploi » ;
 - donne des consignes dépouillées ;
 - fait soi-même la procédure pour expliquer à l'élève qui est dans une impasse ;

- laisse l'élève en difficulté se débrouiller;
 - s'appuie sur le logiciel et demeure en retrait;
 - sollicite l'élève pour l'aider à accomplir la tâche;
 - questionne l'élève sur les savoirs portés par la tâche;
 - explique à l'occasion des éléments de savoir portés par la tâche;
 - encourage l'élève à poursuivre.
2. La composante « disponibilité de l'enseignant[e] », pour laquelle six items ont été retenus :
- est à l'écoute de l'élève;
 - est à l'écoute d'un groupe d'élèves;
 - prend des informations sur l'apprentissage des élèves;
 - est sollicité[e] pour expliquer l'utilisation du logiciel;
 - est sollicité[e] pour expliquer la tâche prescrite;
 - est sollicité[e] pour résoudre des problèmes techniques.

Enfin, la troisième dimension, « médiation de l'enseignant[e] », comporte trois composantes :

1. La composante « organisation du travail des élèves », avec quatre items d'observation :
- élève seul[e];
 - élève en binôme;
 - disposition matérielle des machines informatiques en îlots;
 - disposition matérielle des machines informatiques en U.
2. La composante « accompagnement procuré par l'enseignant[e] », avec deux items d'observation :
- favorise l'entrée de l'élève dans la tâche et son maintien;
 - explique clairement le savoir porté par la tâche.
3. La composante « nature des aides apportées aux élèves », avec trois items d'observation :
- explications individuelles;
 - explications collectives sans recours au tableau;
 - explications collectives au tableau.

Chaque item observé est évalué à l'aide d'une échelle de Likert à cinq niveaux (sauf pour les items concernant l'organisation du travail des élèves qui attendent une réponse binaire). Un champ commentaire est disponible sur la grille pour chacun des items.

Entretiens semi-directifs

Chaque observation de l'activité de l'enseignant[e] en classe était précédée d'un entretien semi-directif (Drijvers et al., 2014; Faure-Brac et al., 2012, pour la mise en œuvre du guide d'entretien) portant sur :

- l'organisation pédagogique de la séance, le scénario prévu ;
- le savoir à enseigner retenu par l'enseignant[e] pour définir ses tâches prescrites, la justification du rôle de l'outil numérique (logiciel) pour l'apprentissage de ce savoir ;
- sa perception personnelle de sa culture numérique et sa maîtrise déclarée du logiciel utilisé.

Un deuxième entretien semi-directif a suivi l'observation pour recueillir la perception et le ressenti de l'enseignant[e] concernant ses interventions (actions, ajustements effectués), le déroulement de la séance et les connaissances et habiletés effectivement développées par les élèves.

Données recueillies et analyse qualitative des résultats

Les entretiens semi-directifs, que ce soient ceux avant ou après la séance, furent relativement courts (durée de 10 à 15 min.). Ainsi, les données des entretiens ont été transcrites manuellement.

Les résultats des entretiens préliminaires montrent que, sur le premier item de l'entretien, à savoir l'organisation de la séance, les six enseignants s'appuient sur des scénarios pédagogiques traditionnels, ne relevant d'aucune ingénierie pédagogique particulière : une phase d'introduction, pendant laquelle l'enseignant[e] présente la ou les tâches à effectuer et donne éventuellement des directives sur la manière de procéder pour certains aspects des tâches à réaliser ; puis, l'enseignant[e] décrit comment l'élève va devoir effectuer le travail demandé ; et enfin, s'il ou elle prévoit de faire une synthèse en fin de séance (seules deux personnes enseignantes l'avaient envisagée et l'ont effectivement effectuée).

Le savoir à enseigner retenu par les enseignant[e]s appartenait principalement à la thématique de la programmation (activités Scratch et Excel©); une personne enseignante a proposé aux élèves une activité de géométrie (GeoGebra).

Ainsi, le savoir à enseigner retenu par les enseignants 1 et 2 visait les structures algorithmiques élémentaires; les concepts de droites perpendiculaires et parallèles en géométrie pour l'enseignant 3; les premiers outils des statistiques élémentaires, comme la moyenne, la médiane, les concepts de cumuls et de représentations graphiques des données pour l'enseignant 4; le concept de variable informatique pour l'enseignante 5; et, enfin, pour l'enseignant 6, la mise en œuvre d'un algorithme simple pour simuler le déplacement d'un robot à l'écran.

Les enseignant[e]s justifient rarement l'utilisation du logiciel employé selon le savoir à enseigner pour soutenir l'apprentissage des élèves. Ancré[e]s dans leurs «habitudes» («si on enseigne la géométrie, on utilise GeoGebra») ou se «réfugiant» dans les prescriptions institutionnelles, le choix semble aller de soi pour les trois enseignant[e]s de France.

Les enseignant[e]s observé[e]s ont tous déclaré avoir une pratique régulière de l'enseignement avec le numérique. L'enseignant 3 déclare une maîtrise partielle de l'outil numérique utilisé (GeoGebra); les autres déclarent maîtriser l'outil utilisé.

Globalement, pour les six séances qui ont été observées, l'organisation pédagogique suit quasiment le même schéma. D'abord, une introduction principalement consacrée au logiciel mis en œuvre dans la séance en rappelant les principales procédures qui seront nécessaires à la réalisation des tâches prescrites. Ensuite, le lancement des tâches, suivi d'une certaine mise en retrait de la personne enseignant[e] qui attend les demandes des élèves; puis, les réponses aux sollicitations des élèves, principalement liées à l'utilisation du logiciel («comment il faut faire pour»). Enfin, dans certains cas, une phase de synthèse sur ce qu'il fallait faire et la façon d'y parvenir (ceci pour deux personnes enseignantes).

Les grilles d'observation étant relativement peu nombreuses dans cette étude ($n = 6$), elles ont donc pu être traitées manuellement en s'appuyant sur le niveau des items observés. Chaque item a ensuite été quantifié en calculant la moyenne des six niveaux obtenus lors des observations. À partir de la valeur des items et de la prise en compte des commentaires des observateurs, une analyse pour les différentes composantes a été effectuée.

Ainsi, pour la dimension « mode d'action des différents acteurs », les mesures des différents items montrent que :

- (composante 1) les enseignant[e]s ont quasiment tous le même mode d'action : ils ou elles se déplacent dans la salle (que les postes informatiques soient répartis en îlots ou suivant une configuration en U), répondent aux questions et consultent régulièrement les écrans des élèves (sauf un enseignant qui a principalement consulté les traces écrites des comptes-rendus de travaux pratiques des élèves) ;
- (composante 2) les élèves utilisent peu leurs documents-ressources et quasiment pas l'aide proposée par le logiciel lui-même (dans le cas d'Excel©, on peut noter que la nature de l'aide n'est pas appropriée aux élèves : c'est une aide qui est conçue, organisée pour des utilisateurs expérimentés ; voir Hérold et Montuori [2018] pour de plus amples détails). Les élèves, dans leurs actions, sollicitent facilement l'enseignant[e], et lorsque ce[te] dernier[-ère] n'est pas disponible, ils sollicitent alors leurs pairs avoisinants. Enfin, dans l'ensemble, les élèves s'engagent relativement rapidement dans la tâche prescrite et demeurent engagés dans la tâche, pour la plupart, sur l'ensemble de la séance observée.

Globalement, on peut donc affirmer, au vu de ces données, que pour les six séances, on a eu une conduite de l'enseignement que l'on peut observer fréquemment dans les salles de classe : les six personnes enseignantes observées sont attentives à la progression de leurs élèves dans la réalisation des tâches prescrites, leur apportent l'aide et les explications nécessaires en répondant aux questions selon leur disponibilité ; les élèves s'engagent dans les tâches et y demeurent engagés, et n'hésitent pas, pour cela, à solliciter leur enseignant[e].

En ce qui concerne la dimension « mode de pilotage de l'enseignant[e] » :

- (composante 1) parmi les ajustements effectués par l'enseignant[e], en grande majorité (5 enseignant[e]s sur 6), celui-ci ou celle-ci « fait » à la place de l'élève lorsque ce dernier est dans une impasse cognitive ; on retrouve là un comportement « classique » et très répandu chez les enseignant[e]s (Ginestie, 2011). Les enseignant[e]s observé[e]s passent beaucoup de temps à indiquer à l'élève « comment il faut faire » avec le logiciel (consignes de type « mode d'emploi », consignes méthodologiques qui sont, globalement, détaillées

et complètes). On retrouve là des résultats similaires à ceux d'Abboud-Blanchard et Chappet-Paries (2011). Dans l'ensemble, les enseignant[e]s se sont appuyé[e]s sur le logiciel pour réguler l'activité des élèves et ont été, de ce fait, plutôt en retrait en ce qui concerne la régulation de l'activité de l'élève dans sa résolution de la tâche prescrite. Ils ont majoritairement donné peu d'explications sur les éléments de savoir portés par la tâche (un seul l'a fait de façon modérée), mais laissent rarement un élève se débrouiller seul, l'encouragent à poursuivre et le sollicitent pour qu'il puisse faire la tâche.

- (composante 2) pour la disponibilité, les enseignant[e]s sont majoritairement à l'écoute des élèves, mais sont souvent peu disponibles pour répondre à toutes leurs sollicitations (une organisation matérielle en îlots impose à l'enseignant[e] de faire de grands déplacements pour pouvoir consulter les écrans de tous les élèves) et une personne enseignante a été fortement sollicitée par des problèmes techniques relatifs à l'outil informatique.

On peut alors affirmer que, pour ces six enseignant[e]s, l'outil informatique comme dispositif didactique les a beaucoup accaparés. De ce fait, les enseignant[e]s ne prennent quasiment pas d'information sur l'apprentissage des élèves : il y a peu de prises d'information sur ce que l'élève apprend, et par conséquent, très peu, voire aucune régulation de son apprentissage de la part de l'enseignant[e]. Ce résultat va dans le sens de ceux d'Abboud-Blanchard (2013).

Ainsi, pour les six séances observées, on peut faire le constat que c'est l'outil informatique qui accapare l'enseignant[e] — qui prend le dessus sur l'activité de régulation des apprentissages des élèves — dans la conduite de son enseignement ; ce constat se vérifie tant à Seattle (États-Unis) qu'à Marseille (France).

Enfin, pour la dimension « médiation de l'enseignant[e] » :

- (composante 1) pour les six classes observées, les élèves travaillaient seuls, sauf pour les élèves de l'enseignant 6 qui étaient en binômes. La disposition matérielle des machines informatiques correspondait à des configurations en U (classes des enseignant[e]s 1, 3, 4, 5) et en îlots (classes des enseignant[e]s 2 et 6)
- (composante 2) les six enseignants observés ne situent pas vraiment, voire pas du tout, le savoir porté par la tâche dans leur accompagnement, mais favorisent toutefois effectivement l'engagement de l'élève dans la tâche prescrite.

- (composante 3) parmi les aides apportées aux élèves — majoritairement d'ordre procédural concernant le logiciel —, les enseignant[e]s ont parfois recours au tableau en s'adressant à l'ensemble du groupe, mais parfois à un moment où tous les élèves ne sont pas forcément attentifs à leurs propos, certains continuant à travailler sur leur poste. De ce fait, ce type de médiation ne profite qu'à quelques-uns. Par contre, on a pu observer que les documents-guides à leur intention étaient peu lus par les élèves qui préfèrent, en cas de difficulté, demander oralement à l'enseignant[e] une aide individuelle, ou à d'autres élèves si l'enseignant[e] n'est pas disponible à ce moment-là.

Les données d'observation montrent que les enseignants — de Seattle ou de Marseille — portent leur attention principalement sur la réussite par l'élève de l'exercice proposé avec un logiciel donné. Le savoir enseigné est très peu expliqué et plutôt sous-entendu par l'enseignant[e] comme étant effectivement travaillé par l'élève grâce au logiciel, et c'est essentiellement ce dernier qui accapare l'attention de l'enseignant[e] pendant la séance, comme le montrent les résultats des entretiens post-séance ci-dessous.

Les entretiens post-séances indiquent clairement que les enseignant[e]s, dans leur globalité, se « focalisent » sur le fait que « cela s'est bien passé ! » (enseignant 1) avec l'outil informatique : il n'y a pas eu trop, voire pas du tout de problèmes techniques (« Je pensais avoir plus de problèmes techniques », a déclaré l'enseignant 2), ce qui est révélateur de leur inquiétude vis-à-vis des incertitudes concernant les scénarios pédagogiques qui comportent des outils informatiques. Les enseignant[e]s sont ravis de constater que les élèves ont bien utilisé le logiciel : « Je trouve que les élèves ont en majorité plutôt bien utilisé le logiciel, c'était pour moi le point le plus important » (enseignant 3); et discutent principalement du fait que les élèves réussissent plus ou moins à mettre en œuvre les procédures demandées (enseignant[e]s 1, 2 et 4), en mettant en avant les difficultés rencontrées par les élèves au regard de leurs objectifs pédagogiques (par exemple, pour l'enseignant 1, les élèves qui enchaînent les mêmes commandes en les dupliquant plutôt que de recourir à une structure itérative dans le cadre d'une tâche de programmation).

En résumé, les six conduites d'enseignement observées sont quasi similaires. La seule disparité qui apparaît concerne la composante « disponibilité de l'enseignant[e] », notamment les items relatifs à l'utilisation du logiciel et aux problèmes techniques; mais cette disparité est à relativiser puisque cette composante dépend du contexte de la tâche

(Héroul, 2019). Les conduites observées montrent que le savoir à enseigner est peu mis en avant. Les enseignants passent beaucoup de temps à répondre aux sollicitations des élèves concernant le logiciel (consignes de type « mode d'emploi », explications sur l'utilisation du logiciel, etc.), ce qui semble les rendre soucieux du fait que les élèves vont parvenir ou non à accomplir la tâche prescrite.

Les enseignant[e]s semblent donc convaincus que, si les élèves ont réussi à faire les tâches prescrites avec l'outil informatique retenu (dans cette étude, les logiciels Scratch, GeoGebra, Excel©), c'est que les élèves ont appris le savoir visé. Nous allons donc maintenant discuter de ce point.

Discussion

Nos résultats montrent que l'outil numérique mis en œuvre dans la séance amène les enseignant[e]s à se détourner du savoir qu'ils ont prescrit, que cela soit dans leur préparation ou pendant la séance, tant pour les enseignant[e]s de Seattle que pour ceux et celles de Marseille. On peut donc admettre, a priori, qu'il n'y a pas eu d'effet de déficit de « culture » numérique (Abdoud-Blanchard et Rogalski, 2017) au sein de la communauté française, puisque les deux communautés ne se différencient pas sur leurs conduites d'enseignement.

Pour expliquer ce résultat, on peut reprendre les propositions de Lagrange et Caliskan-Dedeoglu (2009), qui s'appuient sur la genèse instrumentale et mettent en avant le fait que la personne enseignante, dans ce cas, ne prend pas suffisamment en compte les besoins en instrumentation imposés par la tâche prescrite aux élèves et surestime les effets cognitifs des interactions avec le logiciel (par exemple, l'enseignant 4 considère que l'élève peut apprendre les concepts de statistiques élémentaires en utilisant Excel© : l'outil, en lui-même, suffit à l'élève pour apprendre le savoir à enseigner visé ; il faut juste l'accompagner dans son apprentissage en l'aidant à s'affranchir des écueils induits par l'outil numérique). Cela peut aussi être dû au fait que la propre instrumentation du logiciel par la personne enseignante a certaines limites. Mentionnons notamment la personne enseignante qui n'a pas véritablement mis en avant le concept de variable informatique dans les activités avec Scratch, mais qui est « persuadée » d'avoir travaillé le concept de variable informatique avec les exercices proposés à ses élèves.

Lefebvre (2014) indique que les enseignant[e]s qui ont recours à un outil numérique pour soutenir l'enseignement du savoir à enseigner visé ne déploient pas un ensemble véritablement intégré de savoirs pédagogiques, disciplinaires et technologiques en lien avec le savoir à enseigner en jeu dans ce type de situations d'enseignement. Ainsi, ils et elles auraient plutôt tendance à « isoler » les savoirs technologiques des savoirs liés au contenu (le savoir à enseigner visé), et aussi à s'appuyer sur des savoirs pédagogiques quasi identiques à ceux utilisés pour un dispositif plus « classique », comme du type « papier-crayon », par exemple. Cette auteure (Lefebvre, 2014) s'appuie alors sur l'approche TPACK (*Technological, Pedagogical And Content Knowledge*) proposée par Mishra et Koehler (2006). Ces derniers indiquent en effet : « *viewing any of these components in isolation from the others represents a real disservice to good teaching* » (Mishra et Koehler, 2006, p. 1030). Ainsi, le modèle TPACK préconise une approche intégrée des trois domaines de savoirs que sont les savoirs technologiques, les savoirs pédagogiques et les savoirs à enseigner visés. En effet, comme le soulignent Mishra et Koehler (2006), « *knowing how to use technology is not the same as knowing how to teach with it* » (p. 1033). Pour cela, les enseignant[e]s doivent avoir une bonne connaissance de la manière dont l'élève sera amené, grâce à l'outil numérique utilisé, à se construire une représentation adéquate de la tâche prescrite et, au-delà, à construire les connaissances associées au savoir enseigné. Or, les données de nos observations montrent que la tâche réalisée par les élèves avec l'outil numérique proposé par leur enseignant[e] les amène à mobiliser, plus ou moins, des connaissances relatives au *savoir technologique* (*Technological Knowledge* [TK]), mais sans réelle interrelation avec le savoir enseigné du *contenu pédagogique* (*Content Knowledge* [CK]). Selon Mishra et Koehler (2006), cela est dû au caractère situé de l'apprentissage (« *the situated nature of learning* »), ce qui rejoint les propositions de l'approche ergonomique (Rogalski, 2008), selon lesquelles l'activité du sujet dépend également de la situation (c'est-à-dire la tâche et son contexte). Leplat, notamment, développe ces propositions en précisant que « toute analyse de l'activité aura donc à prendre en compte l'environnement, c'est-à-dire, plus précisément, à déterminer les caractéristiques de cet environnement qui interviennent dans l'activité » (2000, p. 116).

Conclusion et perspectives

Étudier l'efficacité du numérique sur l'apprentissage de l'élève en classe nécessite d'appréhender la situation d'enseignement-apprentissage dans sa globalité : l'enseignant[e], les élèves, le savoir à enseigner, le dispositif didactique retenu pour soutenir les élèves dans l'apprentissage du savoir enseigné et l'environnement (Héroul, 2019).

Pour notre recherche, c'est l'interaction du dispositif didactique retenu par l'enseignant[e], en l'occurrence un outil numérique de type logiciel, avec le savoir à enseigner visé qui a été étudiée.

Les données d'observation que nous avons recueillies ne mettent pas en avant de véritable différence de l'activité enseignante dans leur conduite de l'enseignement du savoir visé pour des situations d'enseignement avec le numérique, que cela soit pour les activités observées à Seattle ou à Marseille.

Les six enseignants ont principalement eu recours à une approche TK (*Technological Knowledge* ou savoir technologique) et pas du tout TPACK (*Technological, Pedagogical And Content Knowledge*), ce qui a généré un biais dans la conduite de l'enseignement du savoir visé. De ce fait, il serait important, dans la formation des enseignant[e]s, que l'accent soit mis sur la nécessité d'une approche TPACK dans les séances d'enseignement avec du numérique afin de contribuer à une meilleure efficacité du processus d'enseignement-apprentissage. En effet, il est nécessaire que les enseignant[e]s soient vigilants quant à la façon d'aborder les savoirs à enseigner afin de favoriser chez l'élève une représentation adéquate du savoir enseigné, c'est-à-dire qui prend en compte également les éléments situationnels (« faire une moyenne » avec un dispositif papier-crayon n'est pas similaire à « faire une moyenne » avec un outil comme Excel©). Pour cela, les enseignant[e]s doivent non seulement avoir une bonne connaissance de la manière dont l'élève va se représenter le savoir enseigné, mais aussi de la façon dont l'élève, avec l'outil numérique, va pouvoir en construire une représentation adéquate (Lefebvre, 2014; Mishra et Koehler, 2006). Il est alors nécessaire d'être vigilant dans la conception et la mise en œuvre des dispositifs d'enseignement quant à l'importance du contexte dans lequel survient l'activité d'apprentissage de l'élève, contexte notamment induit par l'outil numérique si ce dernier a été retenu pour soutenir son apprentissage.

Aussi, une perspective de recherche possible, à la suite de cette étude, consisterait en la mise en œuvre d'une recherche collaborative afin de permettre d'envisager cette transformation des pratiques. Le type de recherche collaborative envisagé serait alors une recherche orientée par la conception (*design-based research*) qui permet effectivement de mobiliser la recherche au service des pratiques des enseignant[e]s (Amiel et Reeves, 2008).

Reconnaissance

Ces travaux ont été soutenus par le pôle pilote pour la recherche en éducation Ampiric, une opération financée par l'État dans le cadre de l'action «Territoires d'innovation pédagogique» du Programme d'investissements d'avenir/ France 2030, opéré par la Caisse des Dépôts.

Références bibliographiques

- Abboud-Blanchard, M. (2013). *Les technologies dans l'enseignement des mathématiques. Études des pratiques et de la formation des enseignants. Synthèses et nouvelles perspectives* [Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Paris-Diderot]. HAL theses. <https://theses.hal.science/tel-00846323>
- Abboud-Blanchard, M. (2014, 28-29 mars). Les enseignants de mathématiques et les technologies : pratiques et usages. Dans A.-C. Mathé et É. Mounier (dir.), *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques* (p. 145–164). ARDM. <https://hal.science/hal-01147520v1>
- Abboud-Blanchard, M. et Chappet-Paries, M. (2011). *Dans des environnements TICE, quelles pratiques d'enseignants pour quelles activités d'élèves?* <https://www.ardm.asso.fr/ee16/documents/cours/theme1-complet/cours-Robert-Butlen-complet/docs-preparatoires/Abboud-Blanchard%20Seminaire%20National%202008.pdf>
- Abboud-Blanchard, M. et Rogalski, J. (2017). Des outils conceptuels pour analyser l'activité de l'enseignant ordinaire utilisant des technologies en classe. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 37(2-3), 161–216. <https://revue-rdm.com/2017/des-outils-conceptuels-pour/>

- Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : l'analyse plurielle. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 85–93. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2866>
- Amiel, T. et Reeves, T. C. (2008). Design-based research and educational technology: Re-thinking technology and the research agenda. *Educational Technology & Society*, 11(4), 29–40. <https://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.11.4.29>
- Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes : des recherches à conforter et à développer. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 63–73. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2864>
- Clanet, J. (2007). Un organisateur des pratiques d'enseignement : les interactions maître-élève(s). *Recherche et Formation*, (56), 47–65. <https://doi.org/10.4000/recherche-formation.891>
- Drijvers, P., Tacoma, S., Besamusca, A., van den Heuvel, C., Doorman, M. et Boon, P. (2014). Digital technology and mid-adopting teachers' professional development : A case study. Dans A. Clark-Wilson, O. Robutti et N. Sinclair (dir.), *The mathematics teacher in the digital era* (p. 189–212). Springer Science+Business Media. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4638-1_9
- Engeström, Y. (2001). Expansive learning at work : Toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of Education and Work*, 14(1), 133–145. <https://doi.org/10.1080/13639080020028747>
- Faure-Brac, C., Gombert, A. et Roussey, J.-Y. (2012). Les enseignants du secondaire et les élèves porteurs de troubles spécifiques du langage écrit. *Le français d'aujourd'hui*, 177(2), 65–78. <https://doi.org/10.3917/lfa.177.0065>
- Fluckiger, C. (2020). *Les usages effectifs du numérique en classe et dans les établissements scolaires*. Centre national d'étude des systèmes scolaires (Cnesco). <https://hal.science/hal-02972555>
- Ginestié, J. (2011). How pupils solve problems in technology education and what they learn. Dans M. Barak et M. Hacker (dir.), *Fostering human development through engineering and technology education* (ITES, volume 6, p. 171–190). Sense Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-6091-549-9>

- Giroux, J. (2015, novembre). Difficultés des élèves en mathématiques au primaire : les apports de la didactique. *MATH-ÉCOLE*, (224), 4–7. https://revue-mathematiques.ch/files/7014/6288/8788/ME224_Giroux.pdf
- Goigoux, R. (2007, décembre). Un modèle d'analyse de l'activité des enseignants. *Éducation et Didactique*, 1(3), 47–69. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.232>
- Hérould, J.-F. (2019). Un modèle de la situation d'enseignement-apprentissage pour mieux comprendre l'activité de l'élève en classe. *Revue des sciences de l'éducation*, 45(1), 82–107. <https://doi.org/10.7202/1064607ar>
- Hérould, J.-F. et Ginestier, J. (2017). Using ICT in STEM education: A help or a hindrance to student learning? Dans I. Levin et D. Tsybulsky (dir.), *Digital tools and solutions for inquiry-based STEM learning* (p. 197–220). IGI Global. <http://doi.org/10.4018/978-1-5225-2525-7.ch008>
- Hérould, J.-F. et Montuori, C. (2018). Identify and understand the difficulties of the students in class by analysing their activity in the case of prescribed tasks with the spreadsheet. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 12(1), 85–108. <https://doi.org/10.26220/rev.2846>
- Lagrange, J.-B. (2014, 28 avril). Les technologies numériques pour l'enseignement : usages, dispositifs et genèses. *Adjectif.net*, 2, article 285. https://adjectif.net/IMG/pdf/lagrange_jean-baptiste_2013_adjectif.net-les_technologies_numeriques_pour_lenseignement_usages_dispositifs_et_geneses.pdf (ouvrage original publié en 2013)
- Lagrange, J.-B. et Caliskan-Dedeoglu, N. (2009). Usages de la technologie dans des conditions ordinaires : le cas de la géométrie dynamique au collège. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 29(2), 189–225. <https://revue-rdm.com/2009/usages-de-la-technologie-dans-des/>
- Lefebvre, S. (2014). Intégration des technologies de l'information et de la communication : types de connaissances abordées dans le discours d'enseignants en exercice et d'étudiants en formation initiale. *Revue canadienne de l'éducation*, 37(3), 1–28. <https://journals.sfu.ca/cje/index.php/cje-rce/article/view/1529>

- Leplat, J. (2000). L'environnement de l'action en situation de travail. Dans Centre de recherche sur la formation du Conservatoire national des arts et métiers (dir.), *L'analyse de la singularité de l'action* (p. 107–132). Presses universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.derec.2000.01.0107>
- Lewin, C., Smith, A., Morris, S. et Craig, E. (2019, décembre). *Using digital technology to improve learning: Evidence review*. Education Endowment Foundation. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED612157.pdf>
- Mayer, R. E. (2010). Unique contributions of eye-tracking research to the study of learning with graphics. *Learning and Instruction*, 20(2), 167–171. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.012>
- Mishra, P. et Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Records*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Musial, M., Pradère, F. et Tricot, A. (2012). *Comment concevoir un enseignement ?* De Boeck Supérieur.
- Office of Science and Technology Policy (OSTP). (2020, décembre). *Progress report on the implementation of the federal STEM Education strategic plan*. <https://trump-whitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2017/12/Progress-Report-Federal-Implementation-STEM-Education-Strategic-Plan-Dec-2020.pdf>
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2015, octobre). *Students, computers and learning: Making the connection*. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239555-en>
- Pastré, P. (2008). Apprentissage et activités. Dans Y. Lenoir et P. Pastré (dir.), *Didactique professionnelle et didactiques disciplinaires en débat* (p. 53–79). Octarès.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, une approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin. <https://hal.science/hal-01017462v1>
- Rabardel, P. et Béguin, P. (2005). Instrument mediated activity: From subject development to anthropocentric design. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(5), 429–461. <https://doi.org/10.1080/14639220500078179>

- Ran, H., Kasli, M. et Secada, W. G. (2021). A meta-analysis on computer technology intervention effects on mathematics achievement for low-performing students in K-12 classrooms. *Journal of Educational Computing Research*, 59(1), 119–153. <https://doi.org/10.1177/0735633120952063>
- Ritella, G. et Hakkarainen, K. (2012). Instrumental genesis in technology-mediated learning: From double stimulation to expansive knowledge practices. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 7(2), 239–258. <https://doi.org/10.1007/s11412-012-9144-1>
- Robert, A. et Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(4), 505–528. <https://doi.org/10.1080/14926150209556538>
- Roditi, É. (2011). *Recherches sur les pratiques enseignantes en mathématiques : apports d'une intégration de diverses approches et perspectives* [Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université de Paris Descartes]. HAL theses. <https://theses.hal.science/tel-00655481>
- Rogalski, J. (2008). Théorie de l'activité et cadres développementaux pour l'analyse liée des pratiques des enseignants et des apprentissages des élèves. Dans F. Vandebrouck (dir.), *La classe de mathématiques : activité des élèves et pratiques des enseignants* (p. 237–280). Octarès.
- Schubauer-Leoni, M. L. (2007). Raisonement sous contrat : l'articulation d'analyses didactiques et psychologiques. Dans M. Merri (dir.), *Activité humaine et conceptualisation : questions à Gérard Vergnaud* (p. 185–192). Presses universitaires du Mirail.
- Shamir, H., Yoder, E., Pocklington, D. et Feehan, K. (2019, 4–7 novembre). Improving math skills using technology. Dans S. Carliner (dir.), *Proceeding of E-Learn 2019: World conference on E-learning in corporate, government, health-care, and higher education, New Orleans, Louisiana* (p. 864–869). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). <https://www.learntechlib.org/primary/p/211165/>

- Trouche, L. (2005). Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 25(1), 91–138. <https://revue-rdm.com/2005/construction-et-conduite-des-instruments-dans-les-apprentissages-mathematiques-necessite-des-orchestrations/>
- Vosniadou, S. (2007). The cognitive-situative divide and the problem of conceptual change. *Educational Psychologist*, 42(1), 55–66. <https://doi.org/10.1080/00461520709336918>
- Young, J., Gorumek, F. et Hamilton, C. (2018). Technology effectiveness in the mathematics classroom: A systematic review of meta-analytic research. *Journal of Computers in Education*, 5(2), 133–148. <https://doi.org/10.1007/s40692-018-0104-2>