Étudier les classes inversées en mathématiques. Préalables méthodologiques sur les cours : le cas particulier des « capsules »

Study flipped classes in mathematics. Methodological prerequisites for studying the teachers telling: the particular case of the "capsules"

Cécile Allard et Aline Robert

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/ree/10332>

DOI : 10.4000/ree.10332

ISSN : 1954-3077

Éditeur

Nantes Université

Référence électronique

Cécile Allard et Aline Robert, « Étudier les classes inversées en mathématiques. Préalables méthodologiques sur les cours : le cas particulier des « capsules » », *Recherches en éducation* [En ligne], 46 | 2022, mis en ligne le 24 janvier 2022, consulté le 01 avril 2022. URL : <http://journals.openedition.org/ree/10332> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ree.10332>

Recherches en éducation est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Dossier

La classe inversée : activité des enseignants, activité des apprenants

Coordonné par Marie-Sylvie Claude

GROUPE « CLASSE INVERSÉE » DU RÉSEAU RESEIDA – *Édito* – 2

MARIE-SYLVIE CLAUDE & PATRICK RAYOU – *Un enseignement littéraire en classe inversée : les dessous d'un contrat* – 9

MARION VAN BREDERODE – *Classe inversée en sciences de la vie et de la Terre. Des difficultés spécifiques au dispositif ?* – 22

VALÉRIE LUSSI BORER, ALAIN MULLER & STÉPHANIE RUBI – *Inverser la classe : quelles expériences ? Analyse de l'activité des élèves* – 34

JACQUES CRINON & GEORGES FERONE – *Réseaux connectés d'enseignants et développement professionnel* – 46

DOROTHÉE BAILLET & FRANÇOISE ROBIN – *Classe inversée en enseignement supérieur et dynamique d'élaboration du savoir : le point de vue des enseignants* – 59

CÉCILE ALLARD & ALINE ROBERT – *Étudier les classes inversées en mathématiques. Préalables méthodologiques sur les cours : le cas particulier des « capsules »* – 72

SYLVIE MAS – *« Devenir inverseur ».. Trajectoire de participation d'une enseignante à un tweetchat animé par le collectif Inversons la classe !* – 87

HUI ZHANG & MENGQI ZHANG – *Tendances et évolution des recherches sur la classe inversée en Chine et dans le monde* – 101

Varia

KARIM BOUMAZGUIDA, GAËTAN TEMPERMAN, BRUNO DE LIÈVRE – *Quels outils d'aide à la réussite pour quels profils d'apprenants dans un MOOC hybride ?* – 120

CÉDRIC DABO & SYLVAIN CONNAC – *Les représentations des étudiants tuteurs en masso-kinésithérapie sur le dispositif de tutorat entre pairs* – 139

LAURENT FAHRNI & TANIA OGAY – *Préparer l'entrée à l'école ? Analyse d'une pratique de transition œuvrant à la frontière entre l'école et les familles au sein d'un établissement scolaire du canton de Fribourg* – 155

SYLVIE MOUSSAY & SUZANNE ABDUL-REDA ABOURJEILI – *Une intervention en clinique de l'activité à visée transformative : apports pour la conception d'une formation de formatrices et formateurs libanais* – 167

Recensions

Recension par Adrien Bourg
Le Belcanto. Une analyse située de pratiques didactiques, ISABELLE BALMORI – 183

Recension par Cécile Redondo
L'humanité contre l'Anthropocène. Résister aux effondrements, RENAUD HÉTIER – 186

Recension par Michel Fabre
Une société d'accompagnement. Guides, mentors, conseillers, coaches : comment en est-on arrivé là ?, MAELA PAUL – 191

Étudier les classes inversées en mathématiques. Préalables méthodologiques sur les cours : le cas particulier des « capsules »

Cécile Allard

Maîtresse de conférences, Laboratoire de didactique André Revuz (LDAR), Université Paris Est Créteil

Aline Robert

Professeure honoraire, Laboratoire de didactique André Revuz (LDAR)

Résumé

En mathématiques, dans l'enseignement secondaire et universitaire, certains enseignants peuvent être considérés comme « inverseurs » au sens des cinq critères retenus dans la présentation du dossier, même si dans cette discipline se rencontre une grande diversité de pratiques d'inversion. Pour avancer sur le questionnement de ce type de dispositifs, qui mettent en jeu l'exposition des connaissances différemment de ce qui est fait en séances classiques, nous faisons un détour méthodologique. Nous inscrivant dans la théorie de l'activité, nous présentons des moyens spécifiques d'analyse des moments d'exposition des connaissances, quels qu'en soient les déroulements, en classe ou non. De quelques études menées en didactique des mathématiques sur ce sujet nous dégageons des premiers résultats communs. Une discussion sur des avantages et inconvénients des deux types de modalités d'exposition des connaissances, avec inversion ou non, termine ce travail. Cela nous amène à émettre des hypothèses sur l'inversion et ouvrir des perspectives sur un travail ultérieur plus développé.

Mots-clés : pédagogie : méthodes et outils, changement et innovation, TIC et numérique, mathématiques (enseignement/éducation/rapport à)

Abstract

Study flipped classes in mathematics. Methodological prerequisites for studying the teachers telling: the particular case of the "capsules":

In mathematics, in secondary and university education, some teachers can be considered as "inverters" in the sense of the five criteria retained in the presentation of the dossier, even if in this discipline there is a great diversity of inversion practices. To advance on the questioning of this type of device, which involves the exposure of knowledge differently from what is done in classical sessions, we make a methodological detour. In keeping with the theory of activity, we present specific ways of analyzing the moments of knowledge exposure, whatever the process, in class or not. From some studies carried out in didactics of mathematics on this subject, we draw out the first common results. A discussion on the advantages and disadvantages of the two types of knowledge exposure modalities, with or without inversion, concludes this work. This leads us to hypothesize about inversion and opens perspectives for further work.

Keywords: pedagogy: methods and tools, change and innovation, ICT and digital, mathematics (teaching/education/relationship)

1. Introduction

L'étude présentée dans ce texte, située en didactique des mathématiques, a comme objectif de proposer une méthodologie d'analyse de ce qui peut différencier, en termes d'activités d'élèves, ce qui leur est proposé comme cours de mathématiques. Dans tout cet article le mot cours est utilisé pour désigner les moments réservés à l'exposition des connaissances par un enseignant, à toute la classe, que ce soit en présentiel ou par l'intermédiaire d'une capsule (nom donné aux courtes vidéos utilisées à cet effet dans les classes inversées). Par-delà les nombreuses diversités qu'on peut trouver dans les dispositifs se réclamant de la pédagogie inversée, l'une des caractéristiques fréquentes des modalités actuelles est en effet de proposer d'étudier « le cours », le plus souvent en dehors des temps de classe, grâce à ces capsules. Ainsi peut-on consacrer le temps de la classe à des activités des élèves associées soit à des « activités d'introduction »¹, soit à des exercices variés, soit à des évaluations, etc. Il s'agit pour nous, en référence à notre cadrage didactique (Vandebrouck, 2008 ; Abboud-Blanchard & al., 2017 ; Vandebrouck & Robert, 2017), de comprendre ce que les activités des élèves pendant les cours peuvent avoir de spécifique du point de vue de l'enseignant, de mettre au point des moyens d'y accéder et de réfléchir aux différences entre les diverses modalités en présence. Le mot activité réfère dans ce texte à ce que les élèves pensent, font et disent, que ce soit lors de la résolution d'exercices ou lors de participation à un cours. Nous réservons le mot tâche à la description mathématique de ce qui est demandé aux élèves.

Nous soulignons que l'intervention du support technologique a renouvelé une pratique qui a pu être utilisée antérieurement parmi d'autres (Mazur & al., 2015 ; Tricot, 2017) ce qui modère le caractère novateur de cette pédagogie.

Pour les élèves et les enseignants, le cours est un moment spécifique des séances de mathématiques, souvent perçu comme difficile, nous y reviendrons dans la première partie. Nous essayons de le caractériser en dégagant le rôle éventuel de ces moments dans les apprentissages et c'est à l'origine de notre entrée dans l'enquête. Cela amène à comprendre ce qui justifie les changements de pratiques en jeu lors de ces inversions et aussi à préciser notre questionnement. De fait, le cours est un moment particulier pour les chercheurs également, se prêtant mal aux observations des activités des élèves. Cela nécessite un détour pour apprécier ce qui peut s'y passer donnant lieu à la méthodologie adaptée décrite dans la troisième partie.

La troisième partie donne à voir les résultats partiels que nous avons réunis, à partir d'études publiées ou non qui reposent sur des analyses illustrant ce qui précède, portant soit sur des cours en classes soit sur des capsules, du début du secondaire à l'entrée à l'université.

Nous précisons que notre recueil de données est antérieur à la crise sanitaire : les choix d'inverser ou non la classe n'étaient pas contraints par ce contexte mais voulus.

La conclusion présente plus un questionnement qu'un bilan. Notre analyse suggère ainsi des avantages à cette « inversion » mais aussi quelques écueils dénoncés de nouveau et plus fortement encore par les enseignants pendant la période dite de « continuité pédagogique », tels les difficultés de connexion ou le maintien de la mobilisation des élèves.

2. Le cours de mathématiques, un moment particulier pour les élèves, les enseignants et les chercheurs

Nous précisons d'abord notre cadre général d'analyse des apprentissages pour mieux revenir, ensuite, aux cours. La question est d'apprécier l'inscription spécifique des cours proposés en classe inversée, en différenciant ce qui peut s'y passer par rapport aux cours en présentiel.

¹ C'est ainsi que le plus souvent les enseignants et les manuels appellent les tâches proposées avant le cours.

2.1. Les activités des élèves, le centre de nos analyses des relations entre enseignement et apprentissages

Notre cadrage théorique (Vandebrouck, 2008 ; Abboud-Blanchard & al., 2017 ; Vandebrouck & Robert, 2017) constitue une théorie de l'activité adaptée aux mathématiques et à la situation scolaire ; ce sont les activités des élèves qui sont étudiées pour nous faire accéder aux apprentissages. Elles déterminent aussi la part des apprentissages qui peut dépendre de ce qui est proposé par l'enseignant, dont nous étudions les pratiques en relation avec les activités que l'enseignant provoque. C'est autour de la visée de conceptualisation des notions mathématiques enseignées que s'articulent nos outils d'étude des activités des élèves (Vergnaud, 2011). Cette conceptualisation, à la fois processus et produit, est associée à l'ensemble des tâches proposées dans le contexte de la classe (y compris l'écoute). Sont en jeu à la fois la diversité des tâches et le spectre des connaissances qu'elles permettent de faire fonctionner, avec les adaptations correspondantes (Robert & al., 2012), et le travail effectué par les élèves, tant en autonomie que grâce aux médiations de l'enseignant. Ces dernières sont étudiées en référence au modèle de la ZPD (Vygotski), que nous opérationnalisons pour notre champ avec la notion de proximités, présentée plus loin (Robert & Vandebrouck, 2014).

Nous n'avons certes accès qu'à des activités possibles des élèves, déduites de la mise en regard des analyses des contenus en jeu et des tâches proposées, et des déroulements associés. De plus ces activités diffèrent selon toute vraisemblance d'un élève à l'autre mais nous ne rentrons pas dans le détail des différences individuelles. En revanche des variables liées à des déterminants sociaux (la constitution de la classe, la collaboration avec des collègues, etc.), institutionnels et personnels (les connaissances mathématiques et didactiques de l'enseignant, son rapport à cette discipline, etc.), jouent et influencent à la fois ce que l'enseignant propose et sa réception par les élèves, selon une dialectique complexe.

Nos analyses sont toujours relatives à un contenu mathématique précis et s'appuient, le plus souvent, sur des déroulements en classe, permettant d'accéder aux activités des élèves, centrales dans nos recherches. Cela a conduit à dégager des variables qui peuvent jouer sur les activités et donc sur les apprentissages des élèves, compte tenu des contenus abordés : schématiquement la nature du travail des élèves, en particulier pendant les phases où ils résolvent des exercices comportant une ou plusieurs tâches, et la nature des médiations de l'enseignant dans toutes les phases des séances de classe. Une étude croisant des analyses mathématique, curriculaire et cognitive des notions à enseigner en jeu – appelée étude du relief sur la notion – sert de référence aux analyses des tâches et activités des élèves, au sein du scénario global élaboré par l'enseignant.

Nous pouvons donc difficilement appréhender ce qui est proposé aux élèves pendant l'enseignement d'une notion mathématique sans tenir compte de ce qui s'est passé avant, pendant et après le cours. Pour nous c'est ce scénario, c'est-à-dire l'ensemble de ce que l'enseignant prévoit pour couvrir un chapitre sur une notion donnée, cours (y compris introduction), exercices et évaluations qui est ainsi central en amont des études de classe. Cela désigne tout ce qui est prévu sur la notion visée pouvant donner lieu aux activités des élèves. Il est réducteur dès lors d'étudier le cours sans prendre en compte l'ensemble du scénario, ce qui n'empêche pas de se donner des outils adaptés à l'étude de ce moment spécifique. C'est encore plus exact pour les enseignants inverseurs, dans la mesure où l'étude des capsules ne peut pas donner accès aux réactions des élèves lors de leur écoute, qu'elle se fasse hors classe ou même en classe.

2.2. Le cours, un moment souvent jugé difficile par les enseignants et les élèves

Un questionnaire portant sur les moments de cours, passé par dix enseignants de mathématiques de lycée et collège et vingt étudiants stagiaires (M2) (Bridoux & al., 2015, 2016 ; Allard &

al., 2016), en confirme la difficulté ressentie, malgré des différences notables sur les raisons évoquées. Un professeur de collège en réseau d'éducation prioritaire (REP), ayant choisi d'inverser sa classe, associe même les difficultés liées au cours au décrochage scolaire, qu'il veut éviter à tout prix (Asius, 2017).

Pour les élèves de lycée interrogés sur leurs cours de mathématiques², le rapport aux cours est plus difficile à saisir (*ibid.*). Il y a de grandes différences entre élèves, selon l'établissement, le niveau scolaire et l'engagement en mathématiques. Les réponses montrent que les cours sont peu investis dans leur dimension théorique, mais plutôt dans leur dimension technique. Les élèves déclarent plutôt rechercher à se rappeler ce qu'il y a à faire pour résoudre les exercices qu'ils évoquent, en termes de procédures, ou de règles. Cela s'apparente plus à des « recettes »³, très liées aux contextes, qu'à des méthodes, génériques, qui leur permettraient les adaptations des connaissances nécessaires aux résolutions des tâches proposées. Le questionnaire montre que les élèves expliquent difficilement ce que le mot général recouvre en mathématiques. Tout cela est confirmé par le constat qu'ils apprécient surtout dans un cours les exemples et les exercices résolus au détriment des éléments plus formalisés et déclarent utiliser leurs cours surtout au moment de la résolution d'exercices demandés par l'enseignant ou pour préparer une évaluation.

Lors d'échanges avec des enseignants en collège classé REP⁴, ces derniers semblent minorer le cours d'algèbre en troisième si ce n'est le supprimer en tant que tel, reculant devant des traces écrites « trop algébriques », qualifiées d'« abstraites », leur paraissant trop générales et théoriques. Ils expriment leurs difficultés à écrire et à organiser le texte du cours, se demandant par exemple s'il faut en rester aux exemples ou présenter une première formalisation des règles algébriques, avec des définitions et théorèmes. Cela exprime à l'inverse la crainte de manquer de « rigueur » dans les formulations proposées. De fait, dans certains cas les enseignants renoncent à proposer dans les contrôles des applications non immédiates des connaissances, renforçant l'usage majoritaire du cours par les élèves.

Par ailleurs, accéder au cours sur capsule s'inscrit dans une certaine valorisation d'instruments, tels les smartphones, que les élèves aiment utiliser. Ce n'est cependant pas la piste de la motivation que nous suivons ici mais bien celle des activités qu'ils peuvent développer pendant ces moments de cours. Avant de développer cette piste, nous résumons quelques spécificités des vidéos de cours (capsules).

2.3. Les capsules, une ressource très diverse, intermédiaire entre l'oral en classe et l'écrit d'un manuel ?

La diversité des usages des capsules et des déroulements les intégrant est très grande. Elle se trouve d'une part dans les supports utilisés et dans leur accès restreint ou en libre-service (YouTube, espace numérique de travail [ENT] de l'établissement, pré chargements sur tablette associée, etc.) et d'autre part dans les manières de présenter les contenus. Les capsules proposées sont réalisées ou non entièrement par l'enseignant de la classe. Parfois les auteurs des vidéos sont d'autres enseignants ou plus rarement des élèves. Enfin, les modalités d'intégration de ces vidéos dans l'ensemble de l'enseignement sont également très variées : les capsules peuvent être écoutées hors la classe, ou en classe lors d'un moment réservé. Elles peuvent être plus ou moins intégrées au scénario complet qui se déroule en majeure partie en classe.

Compte tenu de cette diversité, il est difficile de chercher des caractéristiques communes, mis à part leur durée et leur format. Dans la mesure où une vidéo une fois filmée est mise à disposi-

² Deux versions d'un questionnaire ont été données (340 répondants pour une version et 90 pour l'autre).

³ Voir à des moyens mnémotechniques.

⁴ Ces enseignants sont membres du *Lieu éducation Associée* (LéA) du collège Roger Martin du Gard traitant de l'algèbre et des pratiques d'évaluation. Enseignants et chercheurs travaillent ensemble pendant trois ans engagés par un contrat qui permet de rémunérer les enseignants et doit aboutir à une production diffusable.

tion des élèves et reste inchangée, on peut aussi tenter de la comparer, en termes de contenus, à la fois aux manuels et aux cours présentiels.

En termes de durée, la plupart des capsules ne dépassent pas dix minutes et sont même souvent plus courtes – il y a sur internet quelques cours filmés beaucoup plus longs que nous ne rangeons pas dans la catégorie « capsule ». Autrement dit, le temps réservé à l'exposition des connaissances est *a priori* réduit, quel que soit l'objet des cours en jeu. Cependant les élèves peuvent en général regarder plusieurs fois une capsule, y revenir à divers moments, alors que le cours en présentiel ne donne lieu qu'à la relecture de la prise de notes, partielle. Autrement dit, il y a là un point commun entre une capsule et un manuel, à cela près que le manuel est en général beaucoup plus développé que les capsules.

Au niveau de la forme qu'autorise le support, dans les capsules visionnées, qu'elles aient été objet de cette synthèse ou non, il y a très souvent un tableau noir ou blanc, et une production d'un texte au tableau, au moins sur quelques minutes de la capsule. Sur ce tableau s'affichent des rappels de formules, ou des graphiques préparés à l'avance sans que l'enseignant filme le geste graphique associé. Cependant la capsule peut comporter des parties énoncées et écrites sur le champ, ce qui lui donne un caractère dynamique et temporel, et peut permettre une ostension particulière, proche de ce qui peut se passer en classe. Dans ce cas, il est fréquent que l'enseignant ajoute quelques commentaires, y compris pratiques, introuvables dans un manuel. Dans une capsule, lorsque l'enseignant dessine un tableau de signes par exemple, ou trace une courbe, il peut commenter ce qu'il est en train de faire, ligne après ligne ou pendant le tracé (Chappet-Paries & al., 2017a, 2017b). Il y a même des chapitres mathématiques et des capsules où l'élève peut mieux voir ce qu'il faut faire sur la vidéo qu'en classe ou sur un manuel : par exemple pour l'usage d'instruments, la vidéo peut permettre de visualiser la manière de les utiliser, avec même possibilité d'arrêt sur images, et avec les commentaires pertinents associés à chaque moment (Allard & Petitfour, 2017). Au contraire, dans un manuel, ou même sur des éléments qui s'affichent d'emblée dans la vidéo, le processus même de construction ne peut pas apparaître, il n'y a que le produit final. Autrement dit, d'une part l'apport d'un visionnement peut dépendre du contenu visionné, et d'autre part le fait que ce soit un film qui peut intégrer une dimension temporelle et dynamique le rapproche d'un cours en présentiel.

Par ailleurs, une différence notable en lien avec les interactions existe entre l'écoute du cours hors la classe ou en classe : l'impossibilité d'échanger voire d'interrompre le cours pour en questionner un élément.

La question se pose donc de l'importance de ces interactions et plus généralement du rôle des cours dans les apprentissages, pour saisir ce que peuvent modifier (*a priori*) les capsules.

2.4. Quels sont les enjeux des cours dans les apprentissages des élèves ?

Dans notre conception des apprentissages, le cours peut jouer un rôle important, par l'installation chez les élèves de la dialectique entre connaissances contextualisées et décontextualisées (ou générales), qui participe à la conceptualisation⁵ visée, même si tout ne se joue pas à ce moment-là. Cela légitime notre étude, certes partielle, des moments d'expositions de connaissances et la comparaison qui en résulte des dispositifs en jeu (inversion vs cours en présentiel).

À partir du collège (cycle 4), un certain nombre de notions générales sont enseignées : par exemple, le calcul littéral, installé à partir du numérique, puis les fonctions, ainsi qu'une géométrie des théorèmes et des propriétés, à partir de la géométrie instrumentée. Pour toutes ces notions, c'est d'ordinaire pendant le cours que l'enseignant présente de manière décontextualisée

⁵ Au sens de Gérard Vergnaud (2011) comprenant les généralisations en jeu ainsi que la réorganisation des connaissances nouvelles dans les anciennes.

les connaissances en jeu. Cela peut prendre la forme d'une règle ou d'une formule ou d'une notation, mais ce peuvent être aussi une définition ou des propriétés générales, au sens où elles peuvent s'appliquer dans beaucoup de contextes différents. Ce sont ces applications que nous appelons contextualisation, et c'est ce qui est attendu des élèves en exercices : cela revient par exemple à choisir des valeurs particulières de certaines variables ou à se placer dans des figures données et à résoudre des questions en mettant en œuvre, dans ce contexte particulier, la notion générale. Les résolutions demandent à adapter plus ou moins la notion générale, à la mélanger avec d'autres connaissances, ou à introduire des étapes ou des intermédiaires, voire même à reconnaître la notion à utiliser en interprétant la situation. Cela engendre une variété d'activités favorisant l'apprentissage conceptuel visé. Et c'est ce qui est difficile pour les élèves, car reconnaître ce qui doit être utilisé demande de savoir un minimum pour associer la question posée et la « ressource » que constitue la connaissance comme un moyen d'y répondre ; cela constitue une forme d'anticipation, qui précède les questions de modalités précises à mettre en œuvre et cela s'acquiert par le travail accompagné sur des tâches amenant ces liens. Mettre en fonctionnement une connaissance en l'adaptant à un contexte précis demande d'avoir pris conscience non seulement de l'adéquation de la notion générale en jeu aux tâches proposées mais encore de ce qui est variable dans son application pour pouvoir faire les substitutions ou autres opérations (au sens de Galpérine, 1996) légitimes liées au contexte.

En un mot, toutes ces actions ne s'improvisent pas côté élèves, et nous postulons qu'elles peuvent être facilitées par le cours et sa réception, qui dépend des déroulements. Nous pensons qu'il y a là, pour l'enseignant, un enjeu lié à la présentation des notions générales, à leur préparation, à leurs applications et à ce qu'il organise pendant le cours. Nous faisons l'hypothèse supplémentaire que, pour les élèves, la présentation générale de notions ne doit pas être trop éloignée dans le temps de leurs applications en contexte, pour ne pas interrompre les dynamiques contextualisé/décontextualisé qui participent des acquisitions. Cela peut être plus problématique dans des classes inversées.

2.5. Analyser le déroulement des cours : introduction de l'étude des proximités

Pour un enseignant, préparer un cours implique de l'intégrer dans un scénario, avec notamment des tâches d'introduction, quand c'est possible. Il s'agit aussi de prendre en compte des connaissances anciennes tout en exposant ce qui est nouveau afin de favoriser la conceptualisation de la notion enseignée. Pendant le cours, l'enseignant ajoute au contenu mathématique des commentaires explicatifs, au fur et à mesure. Nous faisons l'hypothèse que ces commentaires n'atteignent leur but que s'ils sont suffisamment proches de ce que les élèves peuvent entendre : nous adoptons cette hypothèse en référence à la notion de zone proximale de développement (ZPD) développée par Lev Vygotski (1985, p. 287), concernant ces concepts, proches des connaissances de l'enfant, mais « qui deviennent effectifs dans la collaboration avec la pensée de l'adulte ». Nous appelons proximités les rapprochements discursifs, conscients ou non d'ailleurs, que les enseignants peuvent produire entre ce qu'ils visent et l'état des connaissances et des activités des élèves (Robert & Vandebrouck, 2014 ; Bridoux & al., 2016). Autrement dit, faute de pouvoir accéder aux activités des élèves pendant les cours, nous faisons un détour pour les apprécier par la recherche de ce qui pourrait les faciliter, pendant et après ce cours. L'étude des proximités est un outil que nous proposons pour mieux décrire ce qui s'y joue en relation avec les activités.

3. Une méthodologie spécifique d'analyse des cours

Étudier les moments dans lesquels l'enseignant expose des connaissances est un défi méthodologique, tant pour le recueil des données que pour leur analyse. Nous présentons d'abord des éléments généraux qui orientent les analyses de ces moments puis un outil spécifique que nous utilisons. En fait étudier les moments de cours amène à s'intéresser non seulement aux contenus dispensés, ce qui amène à en construire une référence, mais encore aux modalités des interventions de l'enseignant. Cela conduit, s'il y a cours présentiel, à collecter des données sur le dérou-

lement en classe, films ou enregistrement des séances et/ou observations, pour pouvoir relever ce que dit, fait et montre un enseignant à ses élèves, et permettre de rendre compte des liens et des proximités réalisées pendant les séances et entre elles. Si le support du cours est une capsule, les données que l'on peut recueillir sont réduites au contenu de la capsule et aux seules descriptions de l'enseignant de ce qu'il sait de son usage par les élèves.

3.1. Une étude préalable de la notion en jeu, une référence pour l'analyse du contenu du cours

La première étape pour le chercheur consiste à réaliser l'étude du relief (Robert & al., 2012) sur la notion. La deuxième étape, quant à elle, amène à étudier les ressources à disposition des enseignants pour élaborer leurs cours et notamment l'existence éventuelle de tâches pouvant donner lieu à des activités préparant le cours (Chappet-Paries & al., 2017a). Le contenu du cours lui-même est étudié ensuite, grâce à la référence que constitue le relief ainsi dégagé. L'objectif est double : il s'agit de caractériser les choix de contenu et de se donner ainsi les moyens d'étudier précisément tout ce qu'ajoutera l'enseignant. Une attention particulière est portée sur des commentaires prévisibles dont le chercheur estime qu'ils peuvent servir à rapprocher les élèves de ce qui est visé dans le cours, compte tenu de leurs connaissances ou activités. C'est la troisième étape de cette étude préliminaire. Ces analyses concernent aussi bien les cours en présentiel que les capsules.

3.2. L'étude du déroulement des cours, une centration sur les interventions de l'enseignant

Nous relevons dans les interactions entre enseignants et élèves ce que nous avons appelé des proximités, en tenant compte des déroulements en classe. Il y a lieu cependant de préciser d'abord les interventions pouvant donner lieu à proximités. Nous ne qualifions pas ainsi les interventions de l'enseignant dans lesquelles nous ne percevons pas d'indices de rapprochements ou de liens entre ce qui est visé et ce qui vient des élèves : par exemple les répétitions sans ajout ni modification de ce que les élèves ont dit, ou les simples reprises de ce qui est dit par les élèves, sans commentaire, ne sont pas retenues dans la mesure où elles ne sont pas explicitement porteuses d'une relation du type recherché.

Certains commentaires, comme « *c'est intéressant* » ou « *faites attention* » ne sont pas considérés comme des proximités ; car si l'usage de langage familier éclaire le propos ou constitue un encouragement, il n'est pas pour autant nécessairement proche du travail mathématique des élèves. Ce que nous avons retenu comme « proximités » s'appuie sur des activités possibles de certains élèves dans la classe au moins. Il est fort possible de ce fait qu'elles échappent tout ou partie à d'autres élèves ou qu'elles ne soient pas des proximités pour eux. Autrement dit, côté élève, pour qu'il y ait proximité, il faut être attentif au discours de l'enseignant et avoir présent à l'esprit ce qu'on a fait. L'élève peut paraître inactif dans le sens où il n'a rien entre les mains ni ne produit aucun écrit et quand même bénéficier de la proximité. S'approprier le lien que l'enseignant présente oralement, même si c'est explicite, même si c'est répété, n'est pas automatique pour un élève et requiert une certaine autonomie intellectuelle ainsi qu'une prise de conscience de sa propre responsabilité dans ces moments.

3.3. Repérer les proximités et les classer

Nous analysons ce qui est ajouté en termes de proximités lorsque l'enseignant commente le contenu mathématique en jeu en relation explicite avec les connaissances (supposées) ou des activités déjà faites des élèves ou lorsqu'il reprend ce qui vient des élèves mais en le transformant ou en le complétant. Ce peut être une généralisation, que ce soit vers un niveau générique ou général, ou une caractéristique de ce qui vient d'être dit, ou une mise en relation ce qui vient d'être dit avec du connu ou une contextualisation explicitée. Rappelons notre hypothèse forte

que toutes ces mises en relation sont utiles à la compréhension visée du cours. Des exemples sont présentés ci-dessous.

Plus précisément nous avons distingué des proximités *ascendantes*, *descendantes* et *horizontales* (Robert & Vandebrouck, 2014). Cela vise à caractériser le sens des liens qui sont faits entre ce qui est nouveau et ce qui ne l'est pas, ou pas complètement, et cela permet d'apprécier le tissage de la dialectique déjà évoquée qu'installe le cours. Cela facilite aussi les comparaisons.

Les proximités *ascendantes* interviennent au cours d'une généralisation, elles s'appuient sur un travail contextualisé des élèves. C'est par exemple le cas lorsque l'enseignant débute son cours en formalisant le passage d'un travail numérique fait sur une tâche d'introduction, à l'écriture algébrique correspondante : « *Ça va parce que c'est des lettres [niveau général]⁶ mais ce que vous avez fait ce matin avec des nombres [niveau particulier] c'est exactement la même chose qu'on a fait ici avec des lettres* » [mise en relation d'une activité des élèves sur du particulier, en contexte, et du général].

Les proximités sont étiquetées *descendantes* si elles interviennent au cours d'une contextualisation de quelque chose de général, déjà introduit ou connu. Nous donnons ici un exemple de ce que l'enseignant souligne après que les élèves aient eu à calculer la surface d'un champ rectangulaire en fonction du côté : « *Donc une fois qu'on a un côté qui s'appelle x , qui est mesuré par x , on a l'autre côté, la surface d'un rectangle, vous vous rappelez, c'est, on dit parfois longueur fois largeur [niveau général], donc $750 - 2x$ fois x ou x fois $750 - 2x$* » [niveau particulier fait le matin]. Donc ça donne bien cette expression-là [application du général au particulier].

Enfin, le label *horizontal* est réservé aux proximités repérées lorsqu'il y a une qualification d'un aspect ou d'une activité, notamment par le signalement ou l'ajout d'un changement de point de vue, d'écriture, de domaine mathématique ou de formulation mais sans changement de niveau de généralité. C'est le cas lorsqu'un élève dit : « *ça augmente jusqu'à 190 et à partir de 200 ça diminue* » et que l'enseignant ajoute le mot « intervalle » pour qualifier ces données, ce qui ne change pas le niveau de généralité : « *D'accord donc 0, 190 c'est un premier intervalle* ».

Quelquefois un commentaire joue sur plusieurs aspects à la fois ou est perçu différemment par les différents élèves selon leurs connaissances, répétons-le.

D'autres caractéristiques peuvent être relevées, notamment les contenus en jeu dans les proximités comme les liens entre des savoirs anciens et nouveaux ou l'introduction de vocabulaire spécifique. Il est possible de compléter la caractérisation de ces proximités en indiquant si elles ont été spontanées ou provoquées par des réponses ou des questions d'élèves (Robert & al., 2020).

4. Études de cas

Après avoir décrit nos données, issues de plusieurs études dispersées, publiées ou non, nous présentons ce que nous retenons des analyses sur les contenus des cours et sur leurs déroulements réels ou reconstitués. Ces études ont été en général menées avec la méthodologie développée ci-dessus, sauf pour les données plus générales, questionnaires ou interviews, dont nous retenons des éléments généraux sur la réception ou l'élaboration des cours.

Quoi qu'il en soit l'évaluation des dispositifs reste évidemment extrêmement délicate, notamment à cause de la difficulté de comparer en termes d'apprentissages un enseignement ordinaire au même enseignement inversé.

⁶ Les commentaires entre crochets illustrent ce que nous identifions comme relevant du général, particulier ou de mises en relation.

4.1. Nos données : un corpus hétérogène

Nos données, recueillies en classe de mathématiques au collège, au lycée et en première année d'université, cours en présentiel ou capsules, sont fragmentaires car nous n'avons pas eu accès à la totalité des séances et dispersées car les notions en jeu sont différentes (annexe).

Nous disposons également de questionnaires déjà cités, d'interviews d'enseignants du LéA Romain Martin du Gard⁷ et du témoignage écrit d'un enseignant « inverseur » d'un collège REP de l'académie de Créteil, considéré comme un expert notamment par l'institution dans la mise en place de dispositifs de ce type (Allard & al., 2016 ; Asius, 2017, 2018). Ce dernier fabrique lui-même ses vidéos qu'il intègre dans un scénario complet d'enseignement d'une notion pour une classe donnée. Certaines de ses vidéos ne sont proposées qu'après une activité d'introduction proposée aux élèves en classe avant d'aborder la nouvelle notion, qu'il présente dans une capsule. Mais quelquefois les élèves ont d'emblée la vidéo à regarder, cela dépend des contenus et de la possibilité de les aborder partiellement avant le cours. Nous avons pu recueillir son témoignage détaillé, qui éclaire sur les raisons de son choix de cette forme de pédagogie (Asius, 2017). Questionnaires et interviews renseignent sur des caractéristiques générales des cours qui en justifient l'étude et en précisent les difficultés, sans doute en partie à l'origine de la pédagogie inversée.

Nous avons comparé sur un temps très court deux classes d'un même enseignant de collège avec et sans vidéo, sur l'utilisation d'un instrument en géométrie (le rapporteur) (Allard & Petitfour, 2017). Précisons que dans ce cas la vidéo est regardée en classe, les élèves témoignant de difficultés pour se connecter à l'espace numérique de travail.

De plus nous avons étudié, sur deux thèmes enseignés en seconde, des cours classiques et des vidéos mises sur YouTube, mais sans avoir accès aux classes où les vidéos sont utilisées, ce qui réduit les conclusions qui peuvent être apportées dans les études (Chappet-Paries & al., 2017b). L'étude de chapitres dédiés à ces thèmes dans des manuels ajoute un éclairage intéressant aux comparaisons.

Une comparaison du même type (sur une ou deux séances analogues) a été réalisée en première année d'université, sur deux années consécutives, entre l'écoute d'une vidéo à la maison la première année et un cours classique la seconde année, avec en particulier l'analyse des réponses des deux groupes concernés à un questionnaire commun. Une étude de chapitres de manuel correspondants complète là encore utilement l'étude (Bridoux, 2018).

4.2. Des réductions inévitables dans les contenus abordés dans les capsules

La durée des capsules est courte en général et cela se vérifie pour celles qui sont impliquées dans la synthèse présentée ici. Cette limitation amène d'inévitables réductions dans les contenus abordés par rapport à ce qui peut être présenté plus longuement dans un cours classique. Cela peut concerner la variété et la précision des contenus, les exemples et tous les liens et proximités déjà évoqués, nous y reviendrons. Nous caractérisons plus précisément certaines de ces réductions à partir des études partielles qui nous servent de base.

Par exemple une analyse précise comparant un cours présentiel (de 14'45)⁸ et une capsule assez longue (de 8') sur un sujet analogue⁹, les deux s'adressant à des élèves de seconde (Chappet-Paries & al., 2017b) a permis de relever des différences fines dans les contenus abordés qu'on

⁷ Lieu d'éducation associée Romain Martin du Gard, pour une présentation plus précise <http://ife.ens-lyon.fr/lea/le-reseau/anciens-lea/lea-reseau-de-colleges-martin-du-gard>

⁸ Ce temps correspond à la durée des moments d'exposition des connaissances, une séance de classe dans le secondaire durant de 45 à 50 minutes.

⁹ Les résolutions d'inéquations du second degré (grâce à un tableau de signes) – rien ne précise que cette capsule remplace un cours pour son auteur, mais elle est sur You Tube et donc disponible.

peut imputer aux limitations de temps. Il faut déjà noter une différence entre les deux : la capsule a pour titre « Dresser un tableau de signes », ce qui laisse une ambiguïté sur son objectif, méthode ou justification de la méthode, alors que le cours, sans que ce soit dit, aborde les deux aspects...

Donnons des exemples de réductions apparaissant dans la capsule. Au lieu de parler « d'expression algébrique » pour qualifier ce dont le signe est étudié, le professeur filmé utilise seulement le mot « expression », en montrant les expressions algébriques dont il parle ; son vocabulaire est ainsi moins précis et cela pourrait priver des élèves d'un certain repérage de ce dont il est question. La règle des signes qui est à l'origine de la méthode utilisée dans le traitement de tous ces problèmes est citée 2 fois dans la capsule contre 7 fois dans le cours : la justification en jeu peut ainsi davantage échapper aux élèves, alors même qu'elle peut contribuer à comprendre et aider à mémoriser la méthode. Ce mot méthode est cité 2 fois dans la capsule contre 9 fois dans le cours, réduisant ainsi ce qui peut orienter le sens que les élèves vont accorder au cours. Il n'y a pas de rappels dans la capsule, pas plus que de ré-explications, contrairement à ce qui a lieu dans le cours en présentiel. L'enseignant filmé utilise même certaines expressions un peu familières, exactes dans le cas étudié qui pourraient être fausses dans d'autres contextes. En revanche l'enseignant filmé explicite plus longuement que l'enseignant en cours présentiel la manière de tracer matériellement le tableau à faire (70 % du temps contre 28 % du temps en présentiel)¹⁰. Enfin ce n'est qu'en cours présentiel qu'une extension de la méthode est présentée.

Le même genre de caractéristiques a été relevé dans les autres études : les réductions consistent souvent à ne pas évoquer les liens entre ce qui est présenté et les connaissances antérieures des élèves ni les relations avec l'utilisation ultérieure du cours. Dans beaucoup de cas les justifications sont minorées au profit d'aspects plus techniques.

4.3. Des déroulements très différents, notamment en termes de proximités

Les déroulements associés aux diverses modalités de cours entre présentiel et capsules sont nécessairement différents, avec toutes les difficultés que le déroulement peut présenter pour certains élèves en présentiel, et ce qu'on peut deviner de la vision hors-classe d'une courte vidéo. Certes la vidéo peut être regardée quand et autant de fois qu'on veut (Allard & Petitfour, 2018) comme en témoigne un élève de sixième : « *Quand on travaille, on la passe en boucle... Quand on met sur pause et quand on a besoin d'un truc, on met sur play et enfin on la repasse en boucle quand on ne comprend pas comment il faut faire* ».

Mais il ne peut y avoir ni interaction immédiate ni explication complémentaire et par conséquent moins de proximités dans une capsule que pendant un cours en présentiel. Il y a au moins un décalage dans le temps, si les capsules sont suivies de séances d'exercices et de reprise éventuelle d'une partie du cours. Certes lorsque l'enseignant se filme pour sa classe, ou lorsqu'il a une grande expérience de cet enseignement, il peut dans une certaine mesure prévoir les incompréhensions possibles ou les questions des élèves. Cependant l'enseignant ne peut calibrer ses réponses aux questions précises des élèves au moment où elles sont posées ni s'appuyer sur d'autres indices (agitation, expressions...). Et de fait, nous avons trouvé dans les capsules étudiées essentiellement des proximités horizontales et quelques rares proximités descendantes. En revanche, en présentiel, nous avons repéré des proximités ascendantes impossibles à formuler dans une capsule (*ibid.*).

Enseignant : Pourquoi tu as le droit de prolonger ?

Élève : parce que c'est une demi-droite

Enseignant : et ?

Élève : c'est illimité

¹⁰ Soit plus de 5 minutes et 4 minutes environ.

Enseignant (hoche la tête) : limité d'un côté, infini de l'autre [proximité descendante appropriée à la réponse de l'élève], donc tu as le droit tout simplement de prolonger chacun des côtés. [Proximité ascendante]

(Élève prend son équerre)

Enseignant : On peut prolonger car les côtés des angles sont des demi-droites, on peut prolonger sans problème [proximité ascendante généralisatrice]. On prolonge et ensuite on n'a plus de souci pour utiliser le rapporteur »

C'est aussi le manque d'élèves réels qui peut expliquer le constat complémentaire suivant que nous avons fait en comparant cours présentiel et capsules en seconde (Chappet-Paries & al., 2017b) : certains implicites, communs au cours et à la capsule, font l'objet, pendant le cours, d'interventions d'élèves, et sont ainsi levés, soit par l'enseignant soit par d'autres élèves, pouvant être interprétés comme des proximités ajoutées au fur et à mesure du cours.

5. Conclusion

Depuis quelques années émergent des recherches et réflexions inspirées de ces dernières portant sur la pédagogie inversée, en sciences (Failet, 2014). Les travaux en sciences de l'éducation éclairent de manière plus nuancée d'autres écrits, plus idéologiques, militants (Dufour, 2014) et favorables à cette inversion.

La méta-analyse de Steve Bissonnette et Clermont Gauthier (2012) conclut à la nécessité d'une grande prudence pour se livrer à des conclusions tranchées. Le texte d'Antoine Beitone et Margaux Osenda (2017) fondé sur une analyse de vidéos pour les anciennes sections du lycée option Économie et sociale¹¹ présente une critique assez sévère de la pédagogie en jeu. Patrick Prignot (2018) montre aussi les limites pour les élèves de ce type de dispositif et avance que c'est le professeur qui en aurait le plus d'avantages.

André Tricot (2017) délivre également des jugements nuancés sur la classe inversée, à partir des théories de l'apprentissage : c'est pour lui une occasion de réfléchir à la complémentarité entre le travail en classe et celui hors la classe. Didier Goudeseune (2019) résume bien les interrogations légitimes qu'on peut avoir à la lecture d'un certain nombre de textes de recherches (Lo & al., 2017 ; Clark, 2015). Il explique que cette inversion peut être attractive mais que les effets sur les apprentissages des élèves sont loin d'être probants. Il met également en évidence, l'importance des interventions de l'enseignant dès que les tâches sont conceptuelles.

Dans ce qui suit nous reprenons nos résultats concernant les mathématiques, qui nous semblent préciser un certain nombre de ces généralités. Nous les déclinons sous l'angle des réductions temporelles, en matière de contenus et liées aux déroulements. Rappelons qu'il ne s'agissait pas pour nous d'évaluer l'efficacité d'un dispositif mais de comprendre, à l'aune de nos outils, ce qui peut se passer quand une courte vidéo se substitue à un cours dit « traditionnel ».

5.1. Réduction pour éviter le décrochage ?

Les intentions des enseignants inverseurs dont Loïc Asius déjà cité sont sans doute légitimes. Ces enseignants cherchent à soutenir les élèves fragiles qui n'écoutent pas le cours en classe, ou n'ouvrent pas leur cahier et n'apprennent donc jamais leur cours. Ils ne minorent pas l'importance du cours mais souhaitent en faciliter l'accès, pour éviter les décrochages et réduire les inégalités scolaires. L'enseignant interviewé compte sur la préparation éventuelle qu'il a pu faire en classe pour que les élèves, notamment décrocheurs potentiels, se mettent à écouter la capsule. Il espère alors compléter ce cours encapsulé, très court, lors des temps d'exercices qui suivent le temps d'écoute de la capsule.

¹¹ Les filières SES au lycée (sciences économiques et sociales n'existent plus depuis 2019).

Ces explications données en classe ne peuvent cependant porter que sur une partie de ce qui est dans le cours, la partie la plus pratique. L'enseignant perd sûrement un peu d'exposition de théorie, d'éléments plus généraux mais il gagne sur la participation d'élèves qui auraient décroché. D'ailleurs cet enseignant inverseur déclare « retarder » le décrochage sans pour autant être certain de l'éviter, et sans viser non plus des progrès dans les réussites.

Autrement dit, notamment pour des élèves défavorisés, entre une réduction qui permet l'écoute à court terme et une réduction qui empêche d'aller plus loin à moyen terme, où sont les limites ? La question n'est pas spécifique à ce dispositif mais y est reposée avec force...

5.2. Réduction et rapport aux mathématiques des élèves

Il est difficile de trancher la question de l'insertion des cours par capsules dans le processus d'apprentissage des élèves, faute de suffisamment de recherches. Dans le cas des mathématiques cependant, la durée restreinte des vidéos implique un inévitable appauvrissement des développements théoriques et plus généralement une centration sur le « comment faire » au détriment du « pourquoi ». De plus les exemples illustrant les notions introduites sont moins nombreux, et moins variés. Cécile Allard et Édith Petitfour (2017) ont montré dans la comparaison du cours traditionnel avec une capsule portant sur la même notion, que l'enseignante diversifie davantage ses formulations orales et écrites en présentiel. Dans une capsule, les éléments qui ne vont pas servir aux élèves lors des exercices ne sont pas présents, même s'ils peuvent étayer leur compréhension plus globale. Cela interroge sur les représentations des mathématiques que pourront se construire les élèves, sur la cohérence du discours qu'ils entendent et sur le rôle des démonstrations.

5.3. Cours hors-classe et interactions avec les élèves

L'absence d'interactions pendant l'écoute hors la classe du cours amène à minorer les possibilités pour le professeur de faire des liens entre ce qui est exposé et l'état des connaissances des élèves. Les proximités sont d'autant plus difficiles à réaliser si l'enseignant utilise une capsule qu'il n'a pas réalisée. L'écoute d'une capsule implique qu'il ne peut pas y avoir beaucoup de proximités spontanées ni ascendantes. La montée en généralité attendue dans le cours peut difficilement être accompagnée sans appui sur des élèves réels et leurs activités. Nous retrouvons l'importance que nous donnons au rôle de l'enseignant dans la médiation entre le savoir et les activités des élèves avec la centration que nous ajoutons sur les proximités.

5.4. Évaluer des dispositifs : tâche impossible ?

Il nous semble nécessaire de procéder à des évaluations comparées de différents dispositifs globaux portant sur un contenu donné, dont certains avec inversion et d'autres sans, mais il sera alors déraisonnable de ne prendre en compte que le cours. Les recherches sur ces points sont d'autant plus compliquées que le recueil de données reste peu abordable : taille des corpus, difficulté des observations et de la constitution d'échantillons significatifs. De plus, à partir de l'expérience en sixième sur l'introduction du rapporteur, nous avons émis l'hypothèse à tester que l'efficacité d'un processus d'inversion est très dépendante du caractère technique ou non des contenus en jeu ; la possibilité de voir et de pouvoir revoir réaliser une construction peut enrichir les apprentissages, ce qui n'est pas le cas d'un cours à visée conceptuelle.

5.5. Perspectives

Plus généralement les élèves de classes non inversées peuvent utiliser des capsules en libre-service, pour réviser ou entendre autrement le cours. Certains parents expriment que ces vidéos sont les bienvenues lorsqu'ils n'ont pas les moyens d'offrir des cours particuliers à leurs enfants. Malgré ces quelques avantages, la question générale se pose sur la gestion pour les élèves de

ces possibilités multiples d'accès aux connaissances, d'autant plus que la qualité des contenus n'est pas toujours très assurée.

Par ailleurs, cette question des vidéos à offrir aux élèves, se pose avec plus de force depuis la crise sanitaire et indépendamment de la classe inversée. La continuité pédagogique imposée a sûrement eu l'avantage de contraindre des enseignants à découvrir de nouveaux possibles. Les enseignants interrogés après le premier confinement ont témoigné du décrochage massif des élèves de Rep+, de devoirs non rendus ou bâclés, du besoin exprimé d'être en face d'un professeur qui explique les notions. Les enseignants¹² qui ont limité le décrochage semblent être ceux qui ont fait des classes virtuelles avec les élèves qui pouvaient être connectés, même si les proximités entre ce qui était fait et dit étaient difficiles car les échanges via les écrans n'étaient pas si aisés. Ainsi la nécessité de l'étude des outils à élaborer pour les élèves et des moyens pour les réaliser se trouve renforcée. Nos premiers travaux en sont des préliminaires.

Références

ABBOUD-BLANCHARD Maha, ROBERT Aline, ROGALSKI Janine & VANDEBROUCK Fabrice (2017), *Cahier du laboratoire de didactique André Revuz*, n° 18 (Pour une théorie de l'activité en didactique des mathématiques).

ALLARD Cécile, ASIUS Loïc, BRIDOUX Stéphanie, CHAPPET-PARRIES Monique, PILORGE Françoise & ROBERT Aline (2016), *Cahier du laboratoire de didactique André Revuz*, n° 16 (Quand le professeur de mathématiques est sur You Tube).

ALLARD Cécile & PETITFOUR Edith (2017), « Classe inversée, quel impact sur les connaissances », *Petit x*, n° 104, p. 25-45.

ASIUS Loïc (2017), « Quand le professeur de mathématiques est sur You Tube... un témoignage », *Petit x*, n° 105, p. 25-35.

ASIUS Loïc (2018), « Courtes vidéos de cours (capsules) : une ressource pour la classe inversée, avantages et inconvénients. Points de vue d'enseignants et de didacticiens », *Actes du colloque Espace Mathématique Francophone*, Paris, IREM, p. 649-657.

BEITONE Antoine & OSENDA Margaux (2017) « La pédagogie inversée : une pédagogie archaïque », *Revue Skole.fr*, <http://skhole.fr/la-pedagogie-inversee-une-pedagogie-archaïque-par-alain-beitone-et-margaux-osenda>

BISSONNETTE Steve & GAUTHIER Clermont (2012), « Faire la classe à l'endroit ou à l'envers ? », *Formation et profession*, vol. 1, n° 20, p. 23-28, http://formation-profession.org/files/numeros/1/v20_n01_173.pdf

BRIDOUX Stéphanie, GRENIER BOLEY Nicolas, HACHE Christophe & ROBERT Aline (2016), « Les moments d'exposition des connaissances en mathématiques, analyses et exemples », *Annales de didactiques et de sciences cognitives*, n° 2, p. 187-233.

BRIDOUX Stéphanie, CHAPPET-PARRIES Monique, GRENIER BOLEY Nicolas, HACHE Christophe & ROBERT Aline (2015), *Cahier du laboratoire de didactique André Revuz*, n° 14 (Les moments d'expositions des connaissances en mathématiques).

BRIDOUX Stéphanie (2018), « Classe inversée : une expérience en première année universitaire. Quelle réorganisation des apprentissages ? », *Petit x*, n° 106, p. 41-64.

CHAPPET-PARRIES Monique, PILORGE Françoise & ROBERT Aline (2017a), *Document de formation du laboratoire de didactique André Revuz*, n° 16 (Un scénario de formation de formateurs : les activités

¹² Nos données ne nous permettent pas de mesurer réellement le taux de décrochage, dans cette conclusion nous rapportons seulement les déclarations des enseignants.

d'introduction, les moments d'expositions des connaissances et les capsules pour la classe inversée, s'appuyant sur le thème "sens de variation des fonctions" en seconde).

CHAPPET-PARRIES Monique, PILORGE Françoise & ROBERT Aline (2017b), « Les activités en classe et de capsules vidéo », *Petit x*, n° 105, p. 37-72.

CLARK Kevin (2015), « The Effects of the Flipped Model of Instruction on Student Engagement and Performance in the Secondary Mathematics Classroom », *The Journal of Educators Online*, vol. 12, n° 1, Janvier, p. 91-115.

DUFOUR Héloïse, (2014), « La classe inversée », *Technologie*, n° 193, p. 44-47.

FAILLET Vincent (2014), « La pédagogie inversée : recherche sur la pratique de la classe inversée », *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, vol. 21, p. 51-665, <https://doi.org/10.3406/stice.2014.1115> ; <http://par-temps-clair.blogspot.com/2019/02/la-classe-inversee-ou-la-fable-de-la.html>

GALPERINE P. I. (1966), « Sur la formation par étapes des actions et des concepts », dans Alexis Leontiev, Aleksander Luria & A. Smirnov (éds.), *Recherches psychologiques en URSS*, Moscou, Éditions du progrès. P. 114-133

GOUDESEUNE Didier (2019), « La classe inversée ou la fable de la grenouille qui veut se faire plus grosse qu'un bœuf », *Par temps clair, pratiques enseignants éclairés par la recherche*, <https://par-temps-clair.blogspot.com/2019/02/la-classe-inversee-ou-la-fable-de-la.html>

LO Chung Kwan & TIMOTHY HEW Khe Foon (2017), « A critical review of flipped classroom challenges in K-12 education: possible solutions and recommendations for future research », *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, n° 12, p. 1-22.

MAZUR Danielle, BROWN Barbara & JACOBSEN Michele (2015), « Learning Designs Using Flipped Classroom Instruction », *Canadian Journal of Learning and technology*, vol. 41(2), p. 2-15.

PRIGNOT Patrick (2018), *Classe inversée de l'enseignement secondaire : d'une perspective technologique à une approche anthropologique*, Thèse de doctorat, Université de Strasbourg.

ROBERT Aline, PENNINCKX Jacqueline & LATTUATI Marie (2012), *Une caméra au fond de la classe, (se) former au métier d'enseignant du secondaire à parti d'analyses de vidéos*, Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté.

ROBERT Aline & VANDEBROUCK Fabrice (2014), « Proximités-en-acte mises en jeu en classe par les enseignants du secondaire et ZPD des élèves : analyses de séances sur des tâches complexes », *Recherches en didactique des mathématiques*, n° 34, p. 239-283.

ROBERT Aline, ROGALSKI Janine & VANDEBROUCK Fabrice (2020), *Cahier du laboratoire de didactique André Revuz*, n° 22 (D'un problème d'optimisation d'une surface agricole au cours sur le sens de variation en seconde : une étude de cas).

TRICOT André (2017), *L'innovation pédagogique*, Paris, Retz.

VANDEBROUCK Fabrice (éd.) (2008), *La classe de mathématiques : activités des élèves, pratiques des enseignants*, Toulouse, Octarès.

VANDEBROUCK Fabrice & ROBERT Aline (2017), « Activités mathématiques des élèves avec les technologies numériques », *Recherches en didactique des mathématiques*, n° 37/2, p. 333-382.

VERGNAUD Gérard (2011), « Au fond de l'action, la conceptualisation », dans Jean-Marie Barbier (éd.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action*, Paris, Presses universitaires de France, p. 275-292.

VYGOSTKY Lev (1985), *Pensée et langage*, Paris, Éditions sociales.

Annexe

Tableau 1 - Ensemble des données sur lesquelles s'appuie notre synthèse

<i>Niveau scolaire</i>	<i>Objets d'étude</i>	<i>Publications avec ou sans comité de lecture</i>
Sixième : les angles, usage du rapporteur (géométrie)	Deux cours de la même enseignante en sixième dans deux classes, l'une en présentiel et l'autre avec une capsule	Allard & Petitfour (2017)
Seconde : inéquations du second degré – tableau de signes (fonctions)	Un cours en présentiel et une capsule d'un autre enseignant sur la même notion	Chappet-Paries, Pilorge, Robert (2017) Cahier du LDAR n° 16
Première année d'université : la convergence des suites numériques (analyse)	Un cours en présentiel et une capsule d'un autre enseignant sur la même notion	Bridoux (2018)
Algèbre au collège	Interviews d'enseignants sur les cours	
Questionnaires sur les cours en général en lycée	Questionnaire auprès de 340 élèves de lycée 10 enseignants, 20 stagiaires du second degré	Cahiers du Ldar n° 14,16, Bridoux & al. (2016)
Un enseignant de collège Inverseur	Témoignage de son expérience	Asius (2017)