Laboratoire de didactique André Revuz
Mathématiques • Physique • Chimie

Cahiers du laboratoire de didactique André Revuz n°16

Septembre 2016

Quand le professeur de mathématiques est sur You Tube…

Quelques réflexions sur les moments d'exposition des connaissances et les capsules pour des classes inversées.

Par C. Allard, L. Asius, S. Bridoux, M. Chappet-Paries, F. Pilorge, A. Robert

ISSN : 2105-5203

INSTITUT DE RECHERCHE SUR L'ENSEIGNEMENT DES MATHEMATIQUES
UNIVERSITE PARIS DIDEROT

Imprimé par l'IREM de Paris – Université Denis Diderot Paris 7

Exemplaire **téléchargeable** sur notre site dans la section Publication
http://www.irem.univ-paris-diderot.fr/

Coordonnées de l'IREM

Pour venir à l'IREM (il est possible de consulter et d'acheter les publications sur place):
Université Paris-Diderot, Bâtiment Sophie-Germain,
8 place Aurélie Nemours (sur l'avenue de France), huitième étage,
75013 Paris 13ème arrondissement
(métro Bibliothèque François Mitterrand ou tramway ligne)

Nous Contacter

Pour téléphoner: 01 57 27 91 93

Pour écrire à l'IREM concernant les publications:

par voie postale:
Locufier Nadine
IREM de Paris – Case 7018
Université Paris Diderot
75205 Paris cedex 13

par voie électronique:
nlocufier@irem.univ-paris-diderot.fr

La liste des publications de l'IREM est mise à jour sur notre site web :

http://www.irem.univ-paris-diderot.fr/ (en bas à gauche de la page d'accueil)

Pour rester informé:

inscription à la liste de diffusion de l'IREM de Paris également sur le site de l'IREM

Cahiers du laboratoire de didactique André Revuz n°16

Quand le professeur de mathématiques est sur You Tube…

Quelques réflexions sur les moments d’exposition des connaissances et les capsules pour des classes inversées.

Cécile Allard (MdC, UPEC, LDAR)

Loïc Asius (professeur)

Stéphanie Bridoux (MDC, Université Mons, LDAR)

Monique Chappet-Paries (MdC, UCP, LDAR)

Françoise Pilorge (professeur)

Aline Robert (professeur émérite, UCP, LDAR)

IREM de Paris - ISBN : 978-2-86612-378-9

Introduction : la classe inversée ?

On peut trouver sur le net un certain nombre de vidéos « de cours », très courtes (entre 1 et 7 minutes, sauf exceptions), qu'on appelle souvent capsules, en référence à la classe inversée, ou la pédagogie inversée. Ce vocable s'applique (a priori) à des dispositifs d'enseignement où les élèves prennent connaissance des cours (on parle aussi de moments d'exposition des connaissances) grâce à des vidéos à regarder à la maison, souvent complétées par un questionnaire à remplir en ligne, le travail en classe étant principalement réservé à la recherche d'exercices ; cela se passe souvent en petits groupes « homogènes », déterminés par l'enseignant sur la base de ce questionnaire envoyé par les élèves à l'issue de leur travail à la maison sur les vidéos.

Même si les conditions effectives ne sont pas nécessairement strictement celles-là, loin s'en faut quelquefois, l'institution semble favorable à des dispositifs de ce type[1]: souvent sont évoqués une motivation plus grande, un plus grand respect des rythmes individuels (on peut visionner à son rythme, ou (faire) revisionner), plus de temps en classe pour faire des exercices, pour travailler avec les plus faibles (éventuellement repérés grâce au questionnaire de fin de visualisation).

Un certain nombre d'enseignants y adhèrent aussi, avec le même genre d'arguments.

Il y a quand même un présupposé d'adhésion des élèves au dispositif, « moderne », liée au temps court des vidéos à regarder à la maison et à la contrainte du remplissage du questionnaire. Mais pourquoi les élèves consentiraient davantage à écouter un cours qu'à faire des exercices à la maison ? Quel cours est ainsi dispensé, avec un feedback éloigné éventuel de l'écoute ? Au final quelle valeur ajoutée à ce type de dispositifs ?

I Présentation de l'étude menée

Nous avons donc voulu analyser cela de plus près, d'autant que nous avons des outils didactiques pour étudier ces moments d'exposition des connaissances, très particuliers en termes d'activités d'élèves, outils que nous pouvions espérer adapter à l'étude des vidéos sur le net.

Mais un certain nombre de travaux ont montré que les feuilles d'exercices, le manuel, le programme ne suffisent pas à apprécier les activités mathématiques des élèves – il manque notamment l'étude des déroulements, en classe, que ce soit pendant les exercices ou pendant les moments consacrés à l'exposition des connaissances. Il en est de même des vidéos de cours sur le net – pour comprendre ce que les élèves peuvent en retirer, il faut connaître et analyser le dispositif complet dans lequel elles s'insèrent. On conçoit qu'entre une capsule remplaçant un cours et la même, utilisée comme complément pour revoir ce cours par exemple, il peut y avoir un monde. Nous ne pourrons donc pas livrer ici de réponse complète aux questions posées, même pour une seule classe, et même si nous pouvons effectivement analyser des vidéos.

Dans ce texte, nous donnons d'abord un témoignage d'utilisation effective, dans des classes, de vidéos de cours – au collège, chez un enseignant, en REP, qui a conçu ses propres capsules pour ses classes (mises sur YouTube) et qui a mené l'expérience dans des classes de cycle 4 depuis 3 ans, ce

[1] Un congrès est organisé au niveau national en 2016 : clic 2016.

qui lui permet de nous livrer une réflexion a posteriori. Nous complétons ce témoignage, *a contrario* en quelque sorte, par une synthèse de questionnaires sur les cours (classiques) remplis par des élèves et des enseignants.

Nous faisons ensuite un détour par des éléments didactiques sur les moments d'exposition des connaissances qui nous permettent de proposer des outils pour les analyser, au sein des processus d'apprentissage. Cela nous amène à préciser notre méthodologie pour étudier des vidéos de cours, y compris sur le net. Il y a un certain nombre d'emprunts à l'article de Bridoux et al (2016).

Nous indiquons ensuite des résultats de ces analyses sur plusieurs corpus. Sur les inéquations « produit » en seconde, étudiées avec un tableau de signes, nous étudions deux « vrais » cours et une capsule sur le même contenu. Cela nous permet de dégager quelques différences. En première année d'université, une étude au cours d'une expérience très limitée renforce l'idée de la nécessité d'un « mode d'emploi », à fixer avec les étudiants, de ce type de ressources, au sein d'un dispositif qui doit avoir une certaine durée, être installé. Dans une sixième particulière, le compte rendu d'une expérience de ce type (en géométrie, avec des élèves précoces) est étudiée, et une mise en regard entre la classe expérimentale et une autre classe est présentée. À partir du visionnement de plusieurs capsules de constructions géométriques, notamment en sixième, dont nous ne présentons pas le détail, nous donnons enfin quelques régularités que nous avons pu constater, complètement indépendamment des usages[2].

Il y a trop de sites et de capsules, voire même d'utilisations en classes de ces capsules comme nous l'avons déjà évoqué, pour que nous puissions prétendre à des résultats un tant soit peu exhaustifs de cette réalité des classes inversées. Par ailleurs aucune évaluation (quantitative) approfondie n'est menée, et on imagine bien la difficulté de l'entreprise, qui demanderait de travailler avec des classes et des enseignants « comparables ».

Nous concluons ainsi par un questionnement sur ces ressources, telles que nous avons pu les analyser sans toujours tenir compte des usages. Les premiers résultats, très partiels, amènent cependant à penser que c'est en termes de « cahier des charges », à élaborer pour diverses utilisations possibles, qu'il peut être intéressant de travailler. En tout état de cause cela amène à réfléchir aux cours et à leur spécificité, ainsi qu'à leurs déroulements possibles, ce qui ne peut qu'enrichir nos connaissances professionnelles.

II Témoignages

A) Un témoignage en direct de l'auteur des vidéos du site « Math.Asius »

Nous donnons un résumé de ce que l'auteur (L.A) raconte de son expérience, en joignant des citations (*à la première personne, en italique*) recueillies notamment lors d'un entretien[3].

1. Le contexte et l'origine du projet

L.A enseigne en REP au collège Liberté à Drancy (93).
Dans son établissement, les manuels de 5è-4è-3è sont anciens et ne sont pas distribués aux élèves en début d'année scolaire. Cela a pu au départ expliquer son engagement dans la pédagogie inversée.

[2] Il y a donc des auteurs différents, ce qui entraine une certaine hétérogénéité des présentations
[3] Et vérifiées par l'auteur.

Mais le fait de ne pas avoir de manuel est aussi une contrainte car les exercices et les fiches doivent être entièrement pensés par le professeur ce qui nécessite un lourd travail en amont.

On peut trouver un exemple de fiche d'exercice proposée par LA sur le cosinus en classe de 4è (cycle 4) ici : https://goo.gl/L2dRcC

Voilà ce que dit l'auteur sur l'origine de son projet :
Lorsque je me suis lancé dans le dispositif de classe inversée, c'était avant tout pour aider les élèves qui décrochaient car ils s'ennuyaient lors des activités, des temps de cours et ne faisaient plus rien à la maison très tôt dans l'année. Je cherchais un moyen de rendre le cours de mathématiques plus intéressant par des activités ludiques mais sur le long terme, c'était plus compliqué. Cette idée de classe inversée me permettait par l'intermédiaire des TICE, des outils numériques proches des élèves de les maintenir « accrochés » aux mathématiques en dehors de la classe et ce de manière très attractive pour eux.

L.A signale que l'institution favorise l'initiative : il a pu profiter de 30 minutes supplémentaires devant élève financé par la CARDIE (cellule académique recherche et développement, innovation et expérimentation).

Il précise aussi qu'au Canada, ou chez les anglo-saxons, même s'il s'en est un peu inspiré, l'usage des capsules n'est pas le même. Par exemple les séquences sont découpées autrement, les vidéos souvent plus longues et le cours est vraiment toujours proposé en capsules.
Quoi qu'il en soit, cette pédagogie est « chronophage », il n'a donc jamais été envisageable pour lui d'effectuer toute une année scolaire sous ce modèle. L.A explique que, s'il dispose d'une bonne activité (papier-crayon), alors la notion n'a pas besoin d'être « capsulée », mais les méthodes, elles, peuvent souvent l'être (exemple pris avec la démonstration du théorème de Pythagore à partir des aires des carrés..).

Par exemple sur le chapitre des probabilités en classe de 3è, je commence toujours pas une activité expérimentale de manipulation de dés et de travail statistiques sur les données récupérées (voir ici : https://goo.gl/93W8Pp). Ce que l'on retrouve dans la vidéo associée est un condensé de ce qui a été vu en classe à travers cette activité à savoir la mise en place des différents mots de vocabulaire et des premières propriétés sur les probabilités (la vidéo correspondante est ici : http://goo.gl/Gqh6wo)

Il y a ainsi des choix à faire, de format, de contenus, d'usages… sur lesquels on revient ci-dessous.

Finalement l'espoir de raccrocher les élèves « décrocheurs » a-t-il été exhaussé, y a-t-il eu des effets inattendus ? On y reviendra en 5.

2. Sur la conception des capsules

a) Fabriquer une vidéo, utiliser des vidéos déjà faites…

Voici ce qu'en dit l'auteur :
Il existait peu de ressources (capsules) au départ il y a 3 ans donc j'ai été un peu démuni pour les faire. Maintenant je suis dépassé un peu par cette expérience qui est diffusée à grande échelle.
Désormais, il existe une quantité incroyable de vidéos de plus ou moins bonne qualité, pour tous les niveaux et de tous les styles. Il existe même des ressources en ligne permettant de récupérer une vidéo faite par un autre professeur et d'y apposer sa voix...ça laisse songeur.
Cet engrenage écrase un peu le reste, je ne suis pas toujours d'accord avec la promotion de la pédagogie inversée. Je préfère des classes hybrides pas complètement inversées (pas comme les anglo saxons) et je comprends assez mal toute la publicité faite autour de cette « révolution »

pédagogique tant les critères d'évaluation de réussite de ce dispositif sont pour moi très difficiles à mettre en place.

b) Qui est filmé, qui voit-on sur la vidéo ? Quelle durée ?

Une des premières questions que L.A s'est posée est la suivante : faut-il voir ou non le professeur sur la vidéo ? La deuxième question porte sur la longueur de la vidéo. Il existe des vidéos longues (50 minutes, 25 minutes) mais ce format ne lui convient pas. L.A préfère des formats plus courts : ses vidéos durent en moyenne 3 ou 4 minutes. La plus longue fait 7 minutes (vidéos plus anciennes).
Laissons-lui la parole :
Ce choix du format court se justifie avant toute chose par le fait que les élèves se lassent très vite d'une vidéo quelle qu'elle soit : musique, humoristique, journalistique... Il fallait donc adapter le contenu mathématique à cette contrainte du format court afin que le maximum d'élèves adhère au projet et se lasse le moins rapidement possible.

L.A ajoute qu'il a fait le choix que ce soit sa voix qui soit enregistrée[4]. Il affirme ainsi à plusieurs reprises qu'entendre la voix du prof est vraiment important notamment pour établir des liens entre la classe et la classe inversée. Tout se passe comme si entendre la voix du professeur permettait une sorte de prolongement, en dehors même de la classe, du contrat didactique usuel [5]…
Ainsi il explique :
Il me paraissait assez clair que la voix du professeur que l'élève a en classe doit être la plus proche possible de celle que l'élève écoute dans les vidéos afin d'identifier clairement et consciemment le contenu. La place du son dans la vidéo est importante car elle permet avec l'image de toucher des intelligences multiples chez les élèves. La difficulté étant de retranscrire dans un format plus court que le temps de classe, l'essentiel des explications que j'aurais pu donner face aux élèves, en ayant toujours en tête l'équilibre difficile du choix des mots de vocabulaire.
Le choix de ne pas voir physiquement le professeur sur la vidéo s'est fait assez vite et pour la simple et bonne raison que je ne le pensais pas nécessaire pour faire passer le message contenu dans la capsule.

c) P**ourquoi les vidéos sont sur le net ?**

L.A s'appuie (si possible) sur des logiciels que les élèves connaissent, utilisent en classe ou à la maison.
Il explique qu'il a mis ses vidéos sur YouTube car il cherchait le support qui soit le plus attractif et le plus facile d'accès (même sur téléphone) pour ses élèves. Ils sont familiers de cette plateforme et cette familiarité va pousser L.A à faire entrer petit à petit les cours de mathématiques dans cet espace du « numérique attractif » si proche de ses élèves.
L'explication suivante est très importante :
J'ai fait le constat que les élèves utilisent internet souvent pour les mêmes choses : les réseaux sociaux pour communiquer entre eux et les plateformes de vidéos pour s'informer, se distraire. Mon objectif était donc clair : placer le cours de mathématiques au milieu des stars de la chanson et des buzz des réseaux sociaux afin d'accrocher, d'intercepter quelques minutes dans la journée mes élèves en dehors de la classe afin qu'ils fassent aussi des mathématiques par un biais nouveau et ludique.
Un premier cahier des charges « externes » s'esquisse : des vidéos proches des élèves.
Voix du professeur, vidéos courtes, accessibilité sur une plateforme connue des élèves sont autant d'éléments qui montrent la prise en compte par ce professeur de différentes proximités avec les élèves (peut-on évoquer une proximité « environnementale », sociologique, générationnelle ?).

d) le contenu d'une vidéo : quels choix ?

[4] C'est aussi le cas pour l'autre témoignage (Elise).
[5] Cela questionne sur l'usage des vidéos qui sont sur le net par des élèves d'autres classes (ayant d'autres enseignants).

L.A choisit donc de faire des vidéos courtes, au début très structurées comme un cours classique avec différentes parties et sous-parties puis après quelques essais et un peu de recul sur son expérience, sans plan et il y traite d'une seule notion (fonction/fonction linéaire/Pythagore et réciproque…).
Il accompagne les vidéos de fiches qui montrent en revanche la structure de tout le cours.
Ces fiches appelées R-N-Q pour « regarder-noter-questionner » sont constituées du théorème énoncé dans la capsule et d'exercices résolus que les élèves recopient en regardant la vidéo.
L.A a élaboré 4 ou 5 vidéos par chapitre, classées dans une playlist donnée aux élèves, ce qui permet la répétition mais jusqu'à un certain point.
Chaque vidéo est contextualisée lors de l'introduction ce qui permet de situer le contenu et le but de ce qui va être vu.
On peut retrouver ici http://goo.gl/cfDpJV une des toutes premières vidéos faite par L.A avec le logiciel utilisé en classe par les élèves et le professeur avec une structure de la vidéo (partie et sous-partie). Les vidéos d'un même chapitre sont généralement rassemblées dans une playlist qui prend cette forme (ici sur les probabilités en 3è : http://goo.gl/03S63k).
Parallèlement aux vidéos les fiches de prises de notes ont également évolué : au départ peu structurées car la vidéo l'était (https://goo.gl/td7aM9) elles sont désormais davantage guidées pour la prise de note et structurées comme l'est un cours plus traditionnel (https://goo.gl/xI7zqf) .

Il ajoute :
La rédaction du cours a été pour moi source de réflexion : comment savoir si tous les élèves ont un cours complet, correct et structuré avec les bons mots de vocabulaire ?
J'ai opté pour des stratégies variées : au départ, j'ai relevé systématiquement les cahiers des élèves quelques jours avant le contrôle final puis j'avais prévu un polycopié écrit que je donnais à la fin du chapitre avant l'évaluation finale, une fois que toutes les capsules vidéos avaient été visionnées.
Dorénavant, je fais un point quotidien sur les cahiers, au moment où je passe dans les groupes, je vérifie ainsi tous les cahiers, tous les jours, pour m'assurer que ce qui y figure est en adéquation avec mes attentes. Les élèves pour qui ce n'est pas le cas, recopient le cours ou la partie de cours manquante ou inexacte en début de séance. Ce temps de recopiage de cours étant un temps perdu pour les élèves qui n'ont pas fait leurs devoirs, ils sont peu à ne jamais regarder la vidéo d'autant plus que lorsque c'est le cas, ils sont « extirpés » du groupe auquel ils appartenaient pour recopier la leçon.

3. Sur l'usage des capsules

a) **Obliger les élèves à « bien » regarder la vidéo : un dispositif pluriel, avec une mise en place de 15 jours au début de l'année**
Une autre nécessité est à prendre en charge par l'enseignant, comme cela commence à apparaître ci-dessus: éviter la passivité (l'écoute passive).
Pour cela un système de « contraintes » est mis en place par le professeur à destination de ses élèves, longuement présenté et travaillé les 15 premiers jours de l'année.
Première contrainte : les élèves sont ainsi invités à prendre des notes puis à se poser la question suivante « Comment je sais si j'ai pris des bonnes notes ? ». En effet certains faisaient une transcription de la vidéo et ne montraient pas alors la prise de recul nécessaire. Cette prise de note a pour objectif d'apprendre à être actif pendant le moment de cours, c'est à dire pendant le visionnage de la capsule vidéo. Il est aussi précisé qu'on peut faire des pauses, revenir en arrière (arrêt sur image).
Ces prises de notes devraient permettre une prise en charge par l'élève de la trace écrite, ils devraient être en mesure de réexpliquer la vidéo en partie avec leurs « propres » mots.
Cet apprentissage est fait explicitement dans la phase d'installation du dispositif.
L.A distribue également un « guide de visionnage d'une vidéo » pour guider les élèves chez eux dans leur prise de note (https://goo.gl/2rsjrl).

Voici les détails :
Chaque année, lorsque je pratique ce dispositif de classe inversée, j'explique aux élèves le principe général mais très vite, on attaque les premières vidéos ensemble, en salle informatique afin que chaque élève puisse se connecter sur la plateforme, y retrouve la bonne vidéo, la visionne, apprenne à en prendre des notes (travail parfois collaboratif de prise de notes sur une vidéo pour faire le tri sur le contenu vu ou entendu et identifier ce qu'il est nécessaire de marquer dans son cahier) et trouver le questionnaire en ligne à remplir à chaque vidéo.
Ce temps me permet aussi de leur montrer comment moi je récupère leurs réponses et comment je peux m'en servir : identifier les questions les moins réussies, identifier les questions que se posent les élèves, créer des groupes selon les résultats aux questionnaires...etc.
Ainsi, le premier chapitre de l'année en classe inversée est fait en classe et en accompagnant les élèves dans la prise en main du dispositif. Cela permet aussi de fixer ensemble les règles du travail en groupe et la manière de fonctionner en classe.

Deuxième contrainte : Ces vidéos sont accompagnées d'un questionnaire en ligne, à remplir après l'écoute. On peut en trouver un exemple ici (https://goo.gl/LPe98P).

Les questionnaires remplis et envoyés, que l'enseignant a étudiés avant la séance, permettent au début du cours :

- Des phases de rappel
- De laisser les élèves « utiliser leurs propres mots » (garantissant aux yeux de l'enseignant une certaine appropriation)

Ainsi :
Le quizz en ligne est une contrainte imposée aux élèves afin de suivre et de vérifier leurs acquisitions. C'est un moyen de contrôler si la vidéo a bien été vue, de voir ce que les élèves y ont compris et cela me permet aussi d'attribuer une note de travail personnel à la maison puisque ces quizz sont corrigés automatiquement via une application. Seul bémol dans ce système de quizz en ligne, je ne pose quasiment que des questions à choix multiples ou des cases à cocher afin d'avoir cette correction automatique. Les réponses en champs libres existent mais ne sont pas comptabilisées dans la notation du quizz. Par ailleurs, les élèves qui ont regardé la vidéo, mais pas répondu au quizz sont rapidement identifiés et se voient attribuer une note égale à 0 si leur fiche de prise de note est non remplie. Si celle-ci est complétée correctement, ils se voient non notés pour le quizz en question. Généralement, les questions étant directement liées à la vidéo qu'ils viennent de voir, la réussite de ces quizz est proche des 90%, donc les élèves ont plutôt de bons résultats et n'essayent pas de regarder la vidéo sans répondre au quizz. De plus, si les élèves décident de ne répondre qu'au quizz, celui-ci contient automatiquement une nouvelle fois la vidéo à visionner ce qui limite aussi le cas des élèves qui ne regarderaient et ne pratiqueraient aucune activité mathématique durant ces capsules et ces quizz.

b) De retour en classe
Si capsule il y a, les élèves regardent donc la capsule chez eux – et ils remplissent le questionnaire en ligne ; l'enseignant en prend connaissance avant la séance puis propose en séance une fiche d'exercices en ciblant les exercices liés à la vidéo visionnée ou bien propose une activité préparatrice à la prochaine vidéo ou encore une tâche à prise d'initiative à réaliser en groupe.
Suite à une mauvaise compréhension du contenu de la capsule (renseigné par le questionnaire et les phases de rappel en classe) cela conduit à des échanges (capsule comme élément de régulation).
Les élèves s'interrogent entre eux parfois, donc la capsule peut favoriser les interactions entre élèves (et avec le professeur).

Ensuite les exercices sont travaillés successivement en fonction de leur réussite au fur et à mesure. La résolution de tâches complexes renvoie souvent à la relecture du cours.
L'usage des capsules favorise le travail de groupe et les élèves travaillent souvent sur des tâches complexes après le visionnement d'une capsule à la maison. Les groupes constitués sont souvent établis par affinités et se retrouvent être des groupes homogènes (effet REP ?).

Voici un complément d'explication donné par L.A :
Ces groupes homogènes constitués me permettent en classe, de passer beaucoup de temps avec les élèves en difficulté et de les accompagner petit à petit dans la réalisation de leurs exercices. Le rôle du professeur se rapproche alors du rôle d'un tuteur-accompagnateur que certains élèves identifient à l'attitude d'un « prof particulier ». Le rapport au professeur est modifié par rapport à ce que j'avais pu connaître auparavant. Le fait de s'asseoir aux côtés des élèves, de discuter avec eux de mathématiques, de ce qu'ils ont mal compris et de les accompagner plus longtemps qu'en classe plus traditionnelle est une situation qui me satisfait beaucoup même si elle comporte ses dangers. Que font les autres élèves pendant ce temps ? Les très bons sont quasi autonomes et n'ont besoin du professeur que pour valider ce qui a été fait et passer à la suite. Les élèves d'un niveau moyen sont eux aussi en demande de la présence du professeur car ils manquent souvent de confiance en eux et n'osent pas passer aux exercices suivants tant que le professeur n'a pas validé les choses faites auparavant. Je me retrouve donc en classe à me déplacer très souvent de groupe en groupe, en ayant parfois les ¾ de la classe dos à moi ce qui peut amener quelques soucis dans la gestion de classe. Ce genre de situation peut toutefois être minoré par la disposition des groupes dans la salle.

c) déroulement global de l'année et notions « capsulables » ou non
S'il n'y a pas de capsule à regarder, les élèves peuvent avoir à réviser pour un contrôle. Mais L.A souligne qu'il ne demande jamais de faire des exercices à la maison (ils ont juste à regarder la vidéo et à répondre au questionnaire) :
Le contrat est clair avec les élèves et ce dès le début de l'année : il y aura des chapitres ou des notions en classe inversée et d'autres en classe « traditionnelle » mais à chaque fois que l'on fera un chapitre en mode inversé, les devoirs seront de regarder les vidéos et de répondre au quizz associé, point final, pas d'exercices à faire à la maison.
Je pense que rompre ce contrat didactique avec les élèves serait rompre la confiance envers le professeur et donc envers le dispositif de classe inversée.

L.A alterne donc les séances (les notions) avec ou sans usage des capsules. Ainsi, quand c'est possible, il propose une introduction de la notion en appui sur une activité, puis donne une vidéo à étudier et passe à l'« entrainement ». Pourrait-on penser que la vidéo finalement joue comme un répétiteur ?
Il commente ainsi ce choix :
Dans l'enseignement français, les activités de découvertes quelles qu'elles soient : manipulations, en salle informatique, sur papier… ont une place prépondérante contrairement au modèle anglo-saxon du type Khan Academy. Dès le début de ce dispositif, il me semblait inenvisageable de produire des capsules vidéos et de dire aux élèves « d'aller découvrir Pythagore en vidéo » sans jamais en avoir parlé en classe. C'est pour cela que j'essaie de faire en sorte que chaque capsule vidéo soit introduite en classe auparavant par une activité de découverte.
Les notions vues dans les vidéos sont donc déjà abordées en classe et souvent la propriété écrite dans la vidéo a déjà été complétée en classe entière lors du bilan de l'activité.

On peut se demander s'il n'y a pas un vrai plus apporté par les capsules lorsque les notions impliquent des manipulations (symétrie centrale, …). *Quoi qu'il en soit*, souligne l'auteur*, les définitions sont données d'abord en classe (voir vidéos sur la symétrie).*

4. Sur l'évaluation des élèves

La question de l'évaluation des élèves se pose (ainsi que celle du dispositif, abordée ci-dessous).
L'évaluation (contrôles) « colle » aux fiches d'exercices, ce sont des exercices « quotidiens ».
Par ailleurs une évaluation de groupe est proposée mais chaque membre du groupe est évalué.
Par exemple, concernant le chapitre sur les probabilités en fin de cycle 4 (classe de 3è), L.A fournit différentes activités introductives aux vidéos (manipulation, tableur, activité papier-crayon) puis il propose des exercices toujours en lien avec l'activité ou la vidéo qui précède et propose des tâches à prises d'initiative évaluée généralement en groupe (https://goo.gl/1E3Qka).
Deux interrogations de leçon sont données par chapitre (donnant lieu à une évaluation des compétences : https://goo.gl/YrJ8e2) avant l'évaluation finale (https://goo.gl/2qrwuj). Les exercices, les activités, et les contrôles sont identiques à ceux donnés à une autre classe du même niveau dans le cadre d'un cours traditionnel.

Comment les élèves révisent ils ? Ils doivent :
-refaire les exercices (pas juste les lire)
-relire le cours (trace écrite + questionnaire), les propriétés doivent être sues par cœur, l y a des questions de cours dans les évaluations
- Il n'y a pas de fiches de révisions
- Peu d'utilisations de cartes mentales

Voici comment la question est abordée dans le dispositif :
L'évaluation des élèves dans un dispositif de classe inversée est restée inchangée par rapport à un dispositif plus traditionnel. J'essaie même de donner des contrôles identiques entre des classes de même niveau afin d'essayer d'évaluer l'impact du dispositif de classe inversée, mais cela est très compliqué. Comment peut-on dire que c'est la classe inversée qui fait mieux ou moins bien réussir les élèves ? Ne serait-ce pas le travail de groupe régulier, le rôle du professeur, l'énergie que met le professeur dans ce dispositif qui fait que certains élèves réussissent mieux et décrochent moins vite ?
Pour moi, le dispositif de classe inversée s'accompagne de tellement de micro-situations : capsules, travaux de groupe, quizz en ligne, devoirs à la maison, attitude du professeur en classe qu'il est très difficile voire impossible d'évaluer objectivement un dispositif de classe inversée.
Par ailleurs, la pluralité des dispositifs de la sorte pratiqués par un nombre de professeurs de plus en plus important rend l'évaluation encore plus délicate. Il y autant de modalités de classe inversée que de professeurs qui la pratiquent, entend-on souvent ...

5. Quelle « valeur ajoutée » du dispositif ?

L.A se pose la question de l'évaluation de ce dispositif « pédagogie inversée ». Est-ce que c'est cette pédagogie ou non qui explique les résultats des élèves, s'il y a amélioration ?
La question est d'autant plus vive que finalement les décrocheurs décrochent quand même, le côté « ludique » le devient moins et se perd. Finalement on retarde le décrochage.
Ce qui semble certain et positif à L.A c'est que les élèves n'ont pas le sentiment (pesant) de faire leurs devoirs.
Il précise :
Il faut reconnaître à ce dispositif que les quizz associés aux vidéos permettent une pré-médiation des élèves en ayant un retour visible au cours de leurs apprentissages des difficultés qu'ils rencontrent et cela permet donc de les traiter plus rapidement que ce que je ne faisais avant.
Une autre force de ce dispositif est le travail de certaines compétences des élèves qui sont peu ou pas abordées au cours de leur scolarité au collège, comme, par exemple, la prise de note sur un support vidéo ou sonore, les règles des travaux en groupe, la gestion par chacun de son identité numérique et du contenu qu'il diffuse via internet.

L.A préfère cependant l'activité en classe – si elle est possible !- car cela permet de fabriquer une mémoire de la classe mais le questionnaire permet une bonne régulation et rattrape cet effet.
L'usage de ces capsules accentue toutefois, lui semble-t-il, le côté Zapping, et la demande d'étayage (des élèves demandent des vidéos pour apprendre)… Ainsi :

Les élèves ont le réflexe de réviser avec des capsules et revoir le cours en ligne leur semble plus facile et moins coûteux en énergie que de se replonger dans le cahier et relire le cours. Cela a pour effet une demande de plus en plus forte des élèves, notamment à l'approche du brevet. Les élèves demandent des corrections de sujet de brevet, des vidéos de méthodes d'utilisation de la calculatrice, des vidéos de révisions spécifiques pour le brevet. Cette demande est-elle bénéfique ? Je ne le pense pas, car à travers ces questions d'élèves, on identifie deux choses : les élèves aiment visiblement réviser ou travailler de cette façon mais d'autre part, les élèves s'attachent trop à un aspect automatique et rapide des tâches. Il est clair qu'on ne peut réviser un examen uniquement en regardant des vidéos, même si ces vidéos sont des corrections d'exercices ou des points méthodes. Ces capsules sont là en « rafraichisseur de mémoire » mais doivent s'inscrire dans un dispositif encadré par un professeur ou bien accompagnées d'un travail écrit nécessaire à la bonne assimilation et compréhension des notions vues dans ces capsules.

D'autres questions se posent : en minorant le cours, quels besoins cela crée-t-il finalement chez les élèves (notamment côté théorie et pas seulement technique) ?
Quid de l'improvisation pendant un « vrai cours » qui permet de coller aux interrogations, même mal formulées, des élèves ?
Quels sont les points d'appuis préférés des élèves : capsules ou activités ?
L.A suggère un certain nombre de pistes à ce sujet :
Les élèves ne voient parfois plus du tout l'intérêt des activités faites en classe et du coup les mobiliser pour aboutir à la découverte d'une propriété devient plus difficile qu'auparavant, surtout en fin d'année scolaire. Ils ont conscience que l'essentiel sera dans la vidéo de 3 minutes et certains pensent que ces activités ne sont d'aucune utilité alors qu'elles sont bel et bien là pour solidifier les connaissances, les ancrer dans un savoir mathématique qui donnera une vue d'ensemble de la notion notamment sur le long terme. La classe inversée accentue donc le côté zapping du cours de mathématiques et génère une demande de plus en plus grande chez les élèves. Sur les connaissances mathématiques au long terme, la classe inversée peut se montrer nocive car les élèves ne voient alors les mathématiques que comme une succession de notions « capturables » en vidéo telle des épisodes d'une série TV qui se succèdent pour former des saisons et qu'on oublie (ou dont on ne retient que quelques bribes) aussitôt la saison terminée...
Je pense donc qu'il faut être vigilant vis à vis de ce genre de dispositif mais ne pas le rejeter non plus car par exemple, dans mon établissement, le taux de passage en seconde GT est voisin des 60% dans les meilleures années et on sait que les élèves qui suivront des études poussées de mathématiques sont finalement très peu nombreux et qu'il faut trouver un équilibre pour tous les élèves. Cet équilibre est difficile à tenir et ce dispositif de classe inversée a été pour moi un moyen de tenir cet équilibre en m'adaptant au public que j'avais.

6. Perspectives : quelle suite donner, quelles nouvelles vidéos faire ?

La réponse est nuancée mais reste positive quant à l'adoption partielle du dispositif, en y ajoutant peut-être des vidéos sur l' « histoire » des maths, mais surtout sur l'usage de la calculatrice. Voici ce qu'en dit l'auteur :
J'aimerais continuer à pratiquer la classe inversée car ce dispositif me convient de temps à autre mais j'aime aussi faire cours de manière plus traditionnelle. Je pense que l'alternance de ces modes de fonctionnement, sorte de classe hybride permet aussi aux élèves de ne pas s'ennuyer et se complaire dans un seul type d'enseignement. La diversité des apprentissages permet aussi à tous les élèves de pouvoir s'exprimer car certains préfèrent tel ou tel modèle.

Les vidéos que je compte réaliser par la suite seront avant tout des vidéos d'utilisation de la calculatrice car j'ai constaté que la calculatrice de collège avait des fonctionnalités multiples que de nombreux élèves ignoraient en fin de 3è et qui pouvaient pour certains d'entre eux, les aider à surmonter des difficultés calculatoires (sur les fonctions, sur la résolution des systèmes linéaires, la réalisation de produits en croix, la détermination du pgcd...etc.).
Des vidéos sur l'histoire des mathématiques (les mathématiciens, le nombre Pi, les symboles de mathématiques) m'intéressent mais leur réalisation nécessite avant tout une recherche documentaire pour avoir un contenu solide.
Enfin des vidéos sur des mots de vocabulaire (verbe d'action présents dans les énoncés) sont des vidéos que j'ai en tête mais pour lesquelles je n'ai pas encore réfléchi au fond et à la forme qu'il faudrait qu'elles prennent.

7. Un autre témoignage complémentaire
Il s'agit d'un collège des Yvelines où a été monté un projet afin d'améliorer l'intégration des enfants diagnostiqués à haut potentiel dans des classes ordinaires (EPI).

Nous donnons le témoignage d'une enseignante, Élise, qui s'y est lancée pour des classes de sixième en géométrie (le détail de l'expérimentation et un début d'analyse seront exposés plus loin).
a) Quelles capsules ?
Elise n'a pas longtemps hésité et a décidé de faire ses propres capsules. Il en existe certes énormément sur Internet mais aucune ne semblait correspondre à ce qu'elle attendait. Les premières questions qu'elle s'est posée sont les suivantes :
- devait-elle apparaitre dans la vidéo ?
- devait-elle filmer au-dessus d'une table pour que les élèves voient mieux ses gestes ?
- quel texte allait-elle dire ?
-quelle durée ?
- comment s'assurer que tous les élèves allaient bien accéder et visionner la vidéo ?
Elise fait le choix de ne pas se montrer sur la vidéo : elle craint entre autre que son image soit utilisée à des fins douteuses. Elle estime que sa voix seule et ses mains suffisent. Elle fait le choix de filmer avec la caméra au-dessus de son épaule : elle est donc en position assise (comme ses élèves). Elise s'assure ainsi d'une proximité « spatiale » dans l'activité : le professeur n'est plus face à un tableau ou en train d'écrire sur un tableau, il est assis et montre ce qu'il y a à savoir sur une feuille de brouillon comme lors d'un cours particulier par exemple.
Elise écrit une partie de son texte afin de ne pas hésiter lors de l'enregistrement.
Ce témoignage illustre bien que la fabrication de ces capsules pose des questions éthiques au professeur sur son image et son exploitation, sur les prises de vues et les éventuels effets (l'enseignant au tableau ou l'enseignant assis comme s'il était à côté d'un élève, voir ou non des figures au tableau ou sur feuille).

b) Quel usage ?
Elise dépose ces capsules sur l'ENT du collège. Les élèves peuvent y avoir accès grâce à un mot de passe. Elise prend soin de demander à ses élèves de tester l'accès de chez eux, de vérifier que tous les élèves ont un accès internet.
Mais… la première fois plusieurs élèves n'arriveront pas à accéder à l'ENT de chez eux. Les élèves qui ont pu visionner les capsules ont répondu à deux questions et devaient refaire la figure construite dans la capsule.
Les premières difficultés immédiates rencontrées par ce professeur sont ainsi liées au matériel, à l'accessibilité des capsules.

c) Quel « coût » ? Des adaptations inattendues supplémentaires !
Le coût de la préparation pour réaliser une capsule ne semble pas simple à évaluer, pour autant nous pouvons relever que le professeur a dû se poser des questions assez inhabituelles, se former aux

nouvelles technologies pour réaliser trois films de moins de 3 minutes. Non seulement c'est chronophage, elle le reconnait, mais encore, pour pallier les difficultés d'accès à la plateforme, Elise a chargé les capsules sur des tablettes de façon à ce que les élèves puissent les visionner au collège. Les problèmes d'accessibilité à l'ENT conduisent Elise à prévoir alors un aménagement de sa classe pour favoriser de nouveau l'écoute et engager des échanges entre élèves (elle change son déroulement). Elise change les tables de dispositions pour installer les élèves en groupe et non face au tableau.

d) La suite ?
Elise souhaite poursuivre sur d'autres capsules l'année suivante. Elle déclare avancer à petits pas car elle estime que la création de ces capsules est chronophage (déjà souligné). En revanche, elle apprécie de faire travailler ses élèves en groupes autour des tablettes. Enfin, elle juge ce dispositif efficace en avançant qu'en une séance de classe seulement les élèves avec tablettes font deux fois plus d'exercices qu'en classe ordinaire.
En effet, comme on le verra plus loin, pour apprendre à mesurer et à tracer des angles, il faudra à Elise une séance avec tablette et deux séances sans tablettes.
Pour régler les questions qu'elle se pose sur l'utilisation de son image et de sa voix mais également pour rendre plus collaboratif l'élaboration de sa capsule, Elise demande à ses élèves de 5ème de réaliser les capsules pour les élèves de sixième. Les élèves de cinquième ne sont pas choisis au hasard, ce sont ceux, qui en sixième avait expérimenté pour la première fois la capsule sur l'utilisation du rapporteur. A l'aide de la tablette, les élèves choisis (des Enfants Intellectuellement Précoces) se filment en train de mesurer puis de tracer des angles à l'aide du rapporteur.
Pour Elise, cette expérience nourrit sa réflexion sur le « bon usage » de la pédagogie inversée. Ses premières questions et les réponses donnent des éléments de réflexion pour rédiger un cahier des charges, qui n'exclut pas des changements de modalités (même si celles-ci n'ont pas été réellement fixées) : visionnement en classe (sans le professeur), élèves producteurs...

8. Un bilan : beaucoup de tensions, à connaître pour prendre des décisions assumées

En bilan, revenons sur les questions inévitables auxquelles il faut répondre pour établir un cahier des charges tenant compte de certaines conditions « nécessaires » au bon usage de ce dispositif (y compris pour expliciter un choix à faire).
La première condition qui semble inévitable et primordiale est d'établir un contrat d'usage avec les élèves, à travailler avec eux sur un temps suffisamment long : cela semble incontournable et ce qui précède en donne un exemple détaillé.

Du côté de la production des capsules, il y a sans doute plus de choix :
-écrire un script ou pas à l'avance : L.A pense que c'est inévitable
Si on veut produire des vidéos courtes, fluides et de qualité (au sens rigueur mathématique) il est indispensable de produire un script ne serait-ce que pour les mots de vocabulaire et les tournures de phrases à adopter.

- format maxi : 6 minutes
Idéalement, le format court de moins de 3 minutes est envisageable en collège, pour le lycée, l'expérience montre que les vidéos de moins de 7 minutes sont envisageables.

-choix de vocabulaire familier/rigoureux

Le choix du vocabulaire et de la tonalité doit être décidé en amont. Ce choix, quel qu'il soit, doit être fait, le dilemme réside entre un vocabulaire trop familier qui se rapproche des élèves mais qui s'éloigne de la rigueur mathématique ou bien un discours très cadré avec un vocabulaire technique qui est susceptible de perdre les élèves dès les premières secondes de la vidéo.

D'autres tensions, plus générales, restent inévitables, sur les contenus riches/minimaux, sur les compléments des vidéos, voire sur le choix de la notion (début de réponse : selon qu'il y a ou non technique ou manipulation à montrer), sur le rythme de l'alternance entre des cours avec vidéos et d'autres sans.

Reste à tester la valeur ajoutée, et ce n'est pas une mince affaire.
Gageons que, dans cette époque de découragement et de dégradation multiples des conditions de travail et d'étude, la satisfaction des enseignants qui utilisent ce type de matériel avec conviction est déjà, à elle seule, une condition nécessaire d'engagement qui ne peut que retentir positivement, au moins dans un premier temps, sur les apprentissages de leurs élèves.

C'est en dégageant à la fois des éléments objectifs, reproductibles, contribuant aux améliorations éventuelles, et des écueils à éviter, que le didacticien fera œuvre utile ! Ce sera l'objet des paragraphes suivant les divers témoignages que nous avons choisis de donner à voir, et notamment de l'élaboration d'un cahier des charges général.

B) **Que disent des cours (classiques) élèves et professeurs ? Résultats de questionnaires**

a) Une première série de questionnaires a été passée par des élèves (de lycée essentiellement) et a révélé d'abord la difficulté de ce type de questions puis trois résultats qui ont attiré notre attention : le fait que les élèves ne savent pas du tout accorder du sens au mot « général », ni différencier théorème et définition par exemple ; le fait qu'ils plébiscitent les exemples et exercices résolus du cours mais sont beaucoup moins « satisfaits » des activités introductives (50% déclarent que cela leur sert) ; le fait qu'ils associent le travail du cours à leur résolution d'exercices, très majoritairement (cf. Bridoux et al. 2015).

Nous avons donc cherché à approfondir un peu ces résultats en modifiant le questionnaire (le rendant plus accessible, plus court) et en proposant aux enseignants de répondre aussi à quelques questions.

Textes et résultats sont en annexe.

Du côté des élèves, nous avons recueilli les réponses en 2^{nde} de 153 élèves et en $1^{ère}$ -Terminale ($1^{ère}$ et Ter S pour la plupart) de 191 élèves.

Il n'y a pas beaucoup de résultats nouveaux par rapport aux précédents, plutôt des confirmations de certaines indications et quelques différences, relativement attendues mais nouvelles et étonnamment assez peu importantes, entre les élèves de seconde et ceux du cycle première-terminale (1-Ter).

En 1-Ter, 21% seulement n'ont aucune difficulté pour apprendre contre 38% en 2^{nde} : les élèves de 2^{nde} ont sans doute moins besoin de connaitre le cours pour réussir et se rendent moins compte des difficultés liées au cours. Il reste 74% des élèves en 1-Ter (ce qui est énorme, 3 sur 4) et 44 % des élèves en 2^{nde}qui disent éprouver des difficultés, soit parce qu'ils n'ont pas compris, soit à cause des définitions, des formules, soit pour des raisons plus personnelles (du mal à se concentrer, à retenir, à s'investir…), soit encore à cause des démonstrations ou de la trop grande quantité de choses à mémoriser. En particulier, plus de la moitié des élèves, dans chaque cycle, déclarent avoir du mal à retenir - au moins sur certains cours - les définitions et théorèmes, sans relier spécialement ces difficultés à la formulation. On pourrait alors associer plus généralement ces difficultés à l'opacité de ce qui est dans le cours, révélée dans le questionnaire précédent, qui n'aide sans doute pas ni à la compréhension, ni à la mémorisation. On peut noter à ce sujet que les élèves ont plus l'impression d'avoir compris le cours que de l'avoir appris (pour les deux catégories). On peut se demander si beaucoup d'entre eux pensent qu'il leur suffit de comprendre et ne ressentent pas la nécessité d'apprendre ? Que signifie « apprendre » ? Ne retrouve-t-on pas là des traces de l'ambiguïté de ce qu'apporte un cours ? Cette dernière question a justement été posée mais la dispersion des réponses rend difficile une interprétation fiable.

Pour ce qui est de leur travail sur le cours, en 2nde, 37% des élèves indiquent qu'ils ne regardent le cours qu'avant le contrôle, contre 25% en 1-Ter, où ils sont donc plus nombreux à étudier le cours au fur et à mesure. En cycle terminal, le lien cours/exercices est sans doute mieux perçu. Cela dit, dans les classes où ils déclarent être interrogés sur le cours, il semble qu'un plus grand nombre d'élèves apprenne au fur et à mesure…

Finalement, il se confirme qu'il n'y a pas de différence criante entre la 2nde et le cycle terminal, mais seulement des nuances, contrairement à ce que l'on pouvait attendre. Cela amène à s'interroger sur la part de représentation et la part des pratiques effectives dans les réponses des élèves.

On peut extrapoler des réponses et de la plus grande importance des cours en cycle terminal, le fait que dans ce cycle, le cours est un peu plus valorisé et que les élèves ont conscience de ce qui peut être évaluable alors qu'en 2nde, il s'agit plutôt d'une familiarisation avec les notions qui resteraient au niveau des pseudo-concepts.

Il manque encore à cette étude une partie plus qualitative, permettant d'approfondir les points de vue notamment sur ce qui est « général » ou particulier en mathématiques et sur ce qu'apporte un cours.

b) Du côté des enseignants (10 ont répondu, ce qui n'est pas suffisant pour généraliser), on note un certain malaise face aux questions et des difficultés à y répondre (confirmant ce qui avait été noté dans le précédent travail, Bridoux et al, 2015). Il apparait aussi une importante diversité qui confirme un certain éclatement du genre professionnel « professeur de lycée » (Robert, 2013) ; il semble que les professeurs peinent à trouver des pratiques communes, chacun « faisant son marché » parmi les injonctions et les ressources.

S'ils sont tous d'accord pour consulter les programmes, les manuels, préparer chaque chapitre globalement, écrire tout précisément (sauf un), et demander aux élèves de copier tout ou partie dans leur cahier, en revanche, ils sont plus partagés sur de nombreux points :

- Les démonstrations ne sont plus à l'honneur : la majorité des enseignants interrogés n'en font presque pas.
- 7 sur 10 font une introduction au début de chaque chapitre.
- Tous proposent des questions de cours dans les devoirs surveillés, mais ils ne sont que 6 sur 10 à interroger oralement sur la leçon, les autres préférant réserver le début de séance à la correction d'exercices.
- 6 d'entre eux tiennent au cours écrit en détail au tableau, les autres préfèrent les fiches, avec ou sans TNI. L'écriture du cours dure en moyenne une vingtaine de minutes par séance tandis que le temps moyen d'échange avec les élèves varie de 5 à 40 minutes !

- Ils sont quatre à trouver qu'on pourrait supprimer tout ou partie de l'exposé des connaissances (un seul préconise la suppression totale) ; la pédagogie inversée est pratiquée de temps en temps par 3 des dix enseignants.
- Les échanges avec les collègues sont occasionnels mais rarement réguliers (un seul travaille en binôme).
- L'utilisation d'internet tend à se généraliser (5 oui, 3 parfois).

Les réponses à la question « à quoi sert le cours » sont variées et souvent confuses. Il semble cependant qu'en 2nde, on soit plus dans le « comment », c'est-à-dire du côté des techniques que dans le « pourquoi ». C'est la vision globale des mathématiques à enseigner qui évolue : s'agit-il de transmettre un ensemble structuré de connaissances à partager ou simplement des techniques et des outils qui seront utiles à court terme ?

c) Un groupe de 20 stagiaires (enseignants débutants du secondaire) a aussi été interrogé – voici un rapide bilan, très conforme en fait à ce qu'ont répondu les enseignants plus expérimentés.

Un peu plus que pour leurs ainés en termes d'utilisation, une majorité des stagiaires interrogés consultent ainsi internet au moins de temps en temps et la moitié l'utilisent effectivement pour la classe.

Comme les autres enseignants, les stagiaires écrivent leur cours, même si eux n'ont pas toujours le temps de terminer ce qui était prévu. Ils ne font pas pour la plupart de bilan de ce qui a été fait. Comme leurs ainés, la majorité fait une introduction qui consiste quelquefois en rappels. Mais certains stagiaires mentionnent des difficultés à ne pas faire un cours « catalogue », à introduire les notions nouvelles et du coup à proposer ou pas des activités d'introduction. Il leur est difficile aussi de trouver un chemin logique entre les différentes parties du cours. L'un d'eux évoque la difficulté à suivre une progression spiralée. Notons que, pour la plupart, le cours est vu comme une nécessité dans le souci de « généralisation des notions », de donner plusieurs façons de voir les notions de faire des liens.

Concernant les questions de cours, elles sont plus souvent présentes dans les interrogations écrites que dans les contrôles. Comme pour leurs ainés, les supports choisis dépendent du chapitre : vidéo ou TNI pour la géométrie, polycopiés pour les statistiques.

Ces résultats ne permettent pas vraiment d'apprécier ce que représentent les cours pour les différents acteurs, si ce n'est à confirmer une certaine diversité mais aussi un certain nombre de réponses « attendues », l'influence de l'enseignement, voire du formateur pour les débutants, et finalement cette difficulté certaine à parler des cours ! Pour la majorité des enseignants interrogés, il doit être maintenu... mais la question était trop vague pour qu'on puisse y lire une appréciation négative de la classe inversée…

III Un détour par les analyses didactiques des moments d'exposition des connaissances (et des activités d'introduction) : des outils justifiés par un éclairage théorique

Notre inscription théorique nous amène à baser notre étude des apprentissages sur celle des activités des élèves[6], notamment en classe. Ce sont en effet ces activités qui déterminent pour une grande part les apprentissages. Leur analyse met en jeu les tâches proposées, les déroulements organisés en classe, mais aussi le contexte (programmes, notions mathématiques en jeu ; établissement…). En fait ces activités sont en grande partie provoquées par les choix des enseignants, eux-mêmes conditionnés à la fois par la volonté de faire apprendre les élèves et par des contraintes liées au métier de professeur. Ces contraintes peuvent engendrer des choix non directement liés aux apprentissages : à cause des programmes et des restrictions horaires, à cause de la nécessité de faire tourner la classe, d'avoir des réussites intermédiaires, de travailler dans un climat acceptable, de remplir la mission que chacun s'accorde…

Mais entre les activités provoquées et ce que font les élèves, il reste bien des différences et des diversités : bien entendu, nous n'avons pas accès aux activités effectives de chaque élève mais essayons d'apprécier leurs activités possibles.

Dans ce cadre, l'analyse de ce qui peut se passer pendant les moments d'exposition des connaissances (appelés ici cours) s'avère particulièrement difficile car les activités des élèves, dont une partie est toujours hors observation (dans les têtes), sont alors presque entièrement invisibles ! De plus ce qui se passe pendant ces cours n'est pas isolable de ce qui a pu être proposé avant le cours, par exemple les activités dites d'introduction, et de toutes applications qui suivent, y compris non immédiatement. Il y a donc une certaine gageure à s'y engager mais nous estimons que le jeu en vaut la chandelle, d'autant que nous voulons étudier ce que pourraient modifier des dispositifs de pédagogie inversée…

Dans ce qui suit nous allons présenter les éléments que nous utilisons pour étudier les cours puis les vidéos correspondantes.

III.1 Ce qu'il y a dans un cours : vers une description orientée par l'appréciation de difficultés éventuelles des élèves

a) généralités

Les didacticiens ont développé un certain nombre d'outils (par exemple Robert, 1998) que nous utilisons pour décrire les éléments mathématiques présents dans les cours : pour chaque notion enseignée on repère ainsi globalement ce qui en figure dans les programmes, avec y compris les tâches attendues et la place dans l'ensemble des connaissances de l'année ; puis plus spécifiquement on se livre au repérage systématique des caractères outil/objet retenus, des cadres et registres de représentations présents, des ostensifs utilisés (éléments écrits désignés) avec le symbolisme correspondant. On reconnait une partie de ce que nous appelons le relief sur la notion (il manque les difficultés éventuelles des élèves, qui en font partie).

Dans le cours figure ainsi une mise en forme d'un texte de savoir (pour plus de précisions sur les distinctions savoir/connaissance, cf. Margolinas, 2015), en partie « hors-contexte » (c'est-à-dire

[6] Ce qu'ils disent ou non, font ou non, pensent.

général) – souvent présenté oralement, en partie écrit. Cela porte sur un ensemble d'éléments circonscrits, souvent délimités par le programme, avec une certaine cohérence interne, c'est souvent présenté aux élèves en plusieurs parties à relier et accompagné d'exercices et problèmes donnés au fur et à mesure. Il y a ainsi des découpages qui peuvent engendrer des « dynamiques » plus ou moins importantes entre cours et exercices. Des évaluations ponctuent le processus.

Les éléments qui composent le cours (écrit et oral) se répartissent en énoncés mathématiques (définitions, théorèmes et propriétés), démonstrations, méthodes, exemples, exercices résolus, mais aussi selon les cas activités d'introduction, éléments historiques, et commentaires… L'ordre en est d'ailleurs en partie variable, tout comme la quantité d'éléments donnés à chaque occurrence de cours, leur durée, voire le rythme.

Il faut souligner l'importance des aspects formels : sont ainsi spécifiques des cours des formulations générales mais aussi du langage mixte (cf. Laborde, 1982), mettant en jeu des représentations et du formalisme mathématique (utilisant des registres, congruents ou non). Il y a souvent une part de strict symbolisme, avec ce qu'il « embarque » implicitement. Un signe égal peut « embarquer » selon les cas l'indication d'un résultat, d'une identité, d'une recherche de solution… Dans le tracé d'une figure, il y a ce qu'on voit, un triangle par exemple, mais aussi ce qui est contraint par cette configuration même si cela ne se voit pas, comme la valeur de la somme des angles ou les propriétés des droites remarquables. Même un codage recèle une part d'implicite, sur ce qu'il code (un point, une droite…) et sur son caractère « quelconque » : un théorème énoncé pour un triangle ABC s'applique à n'importe quel triangle, quels que soient le nom des sommets.

b) des descriptions orientées

Ainsi dans nos descriptions nous essayons de détecter un certain nombre de variables, donnant lieu à des choix pour l'enseignant dans la manière de « faire cours », associées à des difficultés éventuelles des élèves (déjà étudiées sur certains contenus). De manière générale un des enjeux importants des cours est la mise à disposition des élèves d'énoncés généraux à utiliser ensuite dans des contextes variés, avec plus ou moins d'adaptations, les activités sur ces exercices contribuant aussi à l'apprentissage visé. Il s'agit donc de livrer ces énoncés avec déjà du sens, pour qu'ils soient reconnus et un peu mémorisés, mais aussi d'en préparer suffisamment l'utilisation pour que les élèves puissent les appliquer et progresser ainsi y compris dans l'acquisition du sens. On conçoit qu'une difficulté majeure tient à la dialectique « général/particulier » à mettre en place, qui souvent prend la forme d'une dialectique outil (pour le particulier, en contexte)/objet (pour le général, décontextualisé). Pour schématiser, beaucoup de général (sous forme d'énoncés, voire de démonstrations) peut rebuter certains élèves, y compris compte tenu de leur rapport au savoir, très centré sur l'effectuation des tâches et pas sur le fonctionnement du savoir ; beaucoup de particulier peut laisser de côté tout un pan spécifique des mathématiques, lié à l'épistémologie même de ce savoir.

Dans ces conditions, on s'intéresse particulièrement au degré de généralité des énoncés non-contextualisés (Butlen et Pezard, 2003), pour apprécier la distance entre ceux-ci et les exercices contextualisés sur lesquels les élèves ont travaillé ou vont travailler : par exemple dans un exemple générique pris comme énoncé de cours, il n'y a pas de variable, seulement des nombres, qui pourront être remplacés par d'autres nombres, ce qui n'est pas le cas dans les énoncés les plus généraux faisant appel à des variables, plus ou moins « muettes » cependant, voire cachées.

On s'intéresse aussi à tout ce qui peut éclairer le fonctionnement du savoir présenté. Ainsi dans un cours on peut indiquer ou non le statut des connaissances en jeu (admis, démontré, méthode, utilité…), et les liens et mises en relation entre cours et applications, entre connaissances anciennes et nouvelles, entre diverses parties du cours. Ainsi peut-on trouver une mise en évidence plus ou moins explicite de l'organisation des connaissances, des liens globaux et locaux, des aspects déclaratifs et procéduraux, et même des indications sur la manière de rédiger et sur les évaluations.

Il y a plus : dans un cours, non seulement il peut y avoir des parties de statut divers, mais encore « tout » ne va pas toujours « servir » directement, tout n'est pas toujours transformable en activité ni évaluable. Cela relève des éléments incrémentant le comment ou le pourquoi des énoncés proposés. C'est évidemment variable pendant la scolarité, mais cela peut recevoir des accueils très différents selon les élèves, comme nous l'avons déjà évoqué.

Par exemple, lors d'un cours sur la nature des différents sous-ensembles de nombres réels, il n'y a pas d'exercices d'application immédiats, même si les élèves peuvent être sollicités sur ce qu'ils connaissent déjà. Pour certains élèves cela éclaire leur travail antérieur, pour d'autres cela reste lettre morte. Citons encore par exemple la justification de la règle des signes pour la multiplication des nombres négatifs, dont les élèves n'ont pas besoin directement, l'application de la règle leur suffisant.

c) lorsqu'on peut faire faire une activité d'introduction – la nécessaire prise en compte des déroulements

Nous faisons aussi intervenir le type de la notion enseignée, et la possibilité de proposer une activité introductive (si ce n'est dans les bons cas une véritable ingénierie).

Les didacticiens ont développé l'idée que, pour certaines notions au moins, on peut proposer aux élèves avant le cours des activités d'introduction spécifiques : elles sont associées à des tâches – des exercices au sens large - qui amènent les élèves qui y travaillent à étendre un peu l'utilisation de leurs connaissances pour résoudre cette situation nouvelle. L'utilisation de la connaissance (notion) visée (à introduire) est présente de manière indispensable mais partielle, en contexte. Les élèves peuvent y avoir recours sans que l'enseignant (ou l'énoncé) les y engagent. Il peut même y avoir un auto-contrôle amenant à prendre conscience des erreurs et à les rectifier.

Autrement dit, Il y a besoin d'utiliser les connaissances déjà en place de manière un peu plus large que d'habitude (un peu différente). Des changements de cadres, introduits dans l'énoncé ou non, peuvent aider… en particulier si on passe du connu à l'inconnu et retour.

L'idée directrice est ainsi d'introduire le « cours», général, décontextualisé (certains évoquent le savoir), après cette activité des élèves (sur la tâche d'introduction) mais en s'appuyant sur cette activité et en dégageant ce qui est à retenir. L'hypothèse est qu'il en résulte une prise de sens (partielle) utile pour les élèves.

Cependant nous avons suggéré qu'il y a des notions des programmes auxquelles le schéma ne s'applique pas bien. Notamment celles qui s'accompagnent d'un nouveau formalisme, généralisateur et unificateur (FUG). Elles sont en effet souvent trop éloignées des connaissances « déjà-là » ou presque « déjà-là » pour qu'on puisse proposer un « bon » problème initial aux élèves, sur lequel ils puissent étendre ce qu'ils savent (des notions d'algèbre élémentaire, voire les fonctions générales dans les programmes actuels au collège[7], ou le produit scalaire par exemple). Même le fait que ce formalisme est souvent simplificateur n'est pas porteur car les élèves n'en ont cure dans un premier temps. Il y a aussi des notions non encore formalisables, voire pas « définissables » directement (discret/continu), ou encore des notions qui interviennent et dont il est difficile de repérer que les élèves n'en font pas usage : peut-être des activités d'introduction pourraient être proposées mais on n'y pense pas. Cela a été montré pour le cas de l'énumération dans les petites classes.

Cela nous amène à introduire les déroulements : car faire rentrer les élèves dans un tel schéma est difficile pour les enseignants ! Les élèves peuvent être surpris par l'enjeu de la démarche (anticipatoire, amenant à généraliser, inductif, pas habituel par rapport au contrat des exercices notés) – ce constat est confirmé par les résultats du questionnaire élèves sur leurs « cours », déjà cité (avec les exemples et exercices résolus plébiscités, et les activités introductives beaucoup moins appréciées).

Certes la recherche en classe est souvent facilitée par un travail en petits groupes – le prof écoute (retient ce qui s'échange) et n'intervient qu'après, mais cette gestion des séances est très exigeante, en relation à la fois à l'association de tous les élèves à toutes les phases, au temps à y passer (si c'est trop long, il y a risque de décrochage, mais si c'est trop court l'effet peut être raté), et à la qualité de la récupération que l'enseignant fait du travail des élèves, malgré le risque que ça soit parti dans beaucoup de directions selon les élèves.

On retrouve l'idée de l'équilibre nécessaire, que chaque enseignant réalise dans ses classes, entre les différentes phases de travail menées en classe, vu les contraintes de temps notamment et celles liées aux élèves.

III.2 Une hypothèse sur le rôle des cours

Nous adoptons dans nos recherches la perspective d'un apprentissage conceptuel, visant une certaine disponibilité des notions enseignées, dans leur aspect objets et outils, sur un ensemble de tâches, associé à des activités et comprend une certaine organisation des notions entre elles. Cela ne peut se concevoir que dans la durée, s'inscrivant dans un processus long, qui ne se limite pas aux seuls moments d'exposition (cours).

Exposer des énoncés généraux ne suffit pas à les faire acquérir, on le sait bien. Cependant, l'exposition des connaissances est un moment dont nous postulons qu'il peut participer à l'appropriation visée, notamment par la possibilité de familiariser avec les mots (et formalisations) généraux. La visée est de faire activer chez les élèves ensuite (ou grâce à ce qui s'est passé avant) des connexions, d'abord provisoires et partielles, entre mots ou formules généraux et activités mathématiques particulières (contextualisées).

Il y a là pour nous un emprunt (imagé) de la notion de pseudo-concepts de Vygotski, qui nous semble s'adapter à cette spécificité des mathématiques qui concerne les élèves, la dialectique général/particulier. On peut la décliner en dialectique théorie/applications, contextualisé/décontextualisé, ou même dialectique outil/objet…

[7] Même s'il existe des situations de modélisation où on peut essayer de faire accrocher par les élèves un sens à l'objet fonction à travers un problème physique étendant leurs connaissances algébriques et graphiques croisées.

Imaginons ainsi un enfant en train d'apprendre à parler : il se cogne au coin d'une table – l'adulte présent tape la table en disant « vilaine table ». Il fait ainsi un rapprochement à la fois gestuel et en mots entre du vécu et le mot général « table ». Plus tard l'enfant se cogne à un fauteuil et le tape en répétant « vilaine table » – et l'adulte de rectifier, en expliquant que cette fois ce n'est pas une table (et il la montre du même coup) mais un fauteuil… Il corrige l'utilisation erronée de l'enfant du mot en contexte, et en profite pour remontrer l'objet associé à « table ». Ainsi, à partir du mot utilisé par l'adulte qui s'adresse à lui en contexte, l'avancée vers le concept pour l'enfant est rendue possible par un début de manipulation du mot, hésitante, peut-être en partie erronée. L'enfant teste l'usage du mot en étant attentif aux réactions de l'adulte confronté à cette utilisation. Cet usage, rendu possible même s'il est incertain, permet un ajustement permanent grâce aux effets de son utilisation par l'enfant sur ses interlocuteurs, reprises, corrections mais aussi encouragements, jusqu'à la transformation attendue en concept et à son intériorisation.

Dans cette perspective l'apprentissage des notions du cours s'apparenterait à la transformation individuelle en conceptualisations des pseudo-concepts présentés en cours et travaillés en exercices.

Il y a en même temps dans notre hypothèse sur l'importance des connexions (rendues possibles si ce n'est explicitées) une certaine opérationnalisation de l'hypothèse de Vygotski liée à la ZPD : les apprentissages issus des cours pourraient « bénéficier » des aides de l'enseignant à chaque fois que ce dernier peut expliciter des relations entre notion générale et exercice, ou illustrer des éléments liés à la notion, engendrant ainsi un travail dans les ZPD des élèves.

« L'efficacité » des cours, ainsi conçus comme éléments d'un processus long, dépendrait alors des occasions et de la qualité de l'activation par les élèves, aidés par l'enseignant, des connexions évoquées ci-dessus, qui remplacent et élargissent ce qui se passe pendant les reprises de l'enfant par l'adulte dans notre exemple. Les discours des enseignants, pendant la présentation des contenus de cours, leurs choix des tâches associées et les discours accompagnant le travail correspondant des élèves (cf. activités des élèves) sont des éléments fondamentaux pouvant plus ou moins contribuer aux apprentissages.

On retrouve notre double inspiration piagétienne et vygotskienne, avec l'importance des activités (autonomes) des élèves, permises par le choix des tâches, et l'importance des médiations de l'enseignant, ajustées, explicites, permettant un travail dans les ZPD des élèves.

Les activités des élèves pendant les cours seraient en particulier des activités de mémorisation de pseudo-concepts, soutenues à la fois par un écrit (général), souvent recopié, en partie énoncé, et par des activités de mises en relation souvent provoquées, brèves, passives ou associées à des questions provoquant des activités d'élèves. Ce peuvent être des mises en relation actuelles, avec les connaissances déjà-là, ou potentielles et préparées, avec les connaissances à venir. Ces activités de mises en relation se rapprochent d'activités de reconnaissance et/ou d'organisation, dans la mesure où elles ne « s'écrivent pas » forcément, même si des activités de traitement les illustrent, et même si les élèves écrivent souvent « le cours », recopiant notamment les titres, les énoncés, et les calculs. Ce sont notamment ces derniers auxquels ils peuvent être associés grâce à des questions (mais pas seulement, cela dépend des cours et des classes)… Les activités pendant les cours comportent ainsi souvent non seulement la production (par les élèves) de traces écrites (reprises) mais aussi devraient porter un certain potentiel d'anticipation, dans la mesure où les élèves seront appelés à penser à reprendre et à développer (ultérieurement) des adaptations de ce qui a été présenté. Les mises en relation seraient des moyens pour faciliter la constitution de ce potentiel. On peut se demander à ce propos si, pour certains élèves, le fait d'entendre l'enseignant presqu'en même temps qu'ils écrivent n'est pas porteur de mémorisation… Même si d'autres élèves déclarent qu'il leur est difficile d'écouter et d'écrire pendant les cours (cf. questionnaires ci-dessus). Quoi qu'il en soit, qu'il y ait ou non écrit, les pseudo-concepts seraient ce qui est retenu avec les relations en question. D'où l'importance de ce qui peut préparer cet ensemble !

III. 3 Dimensions en jeu pour une analyse des déroulements des cours en classe

a) Du côté du métier

Une des conséquences de la prise en compte du métier dans nos analyses de pratiques est l'importance que nous accordons à la préoccupation des enseignants de garder les élèves plus ou moins attentifs, y compris pendant les cours, et, si possible bien entendu, de faire progresser certaines de leurs connaissances, ou au moins d'amorcer ce progrès, pendant ces moments-là.

Nous admettons qu'une des manières développées par les enseignants pour y arriver est de rester aussi « proche » que possible des élèves. C'est sans doute une caractéristique constante de ce que font les professeurs en classe, à tout moment, pour avoir des élèves « qui suivent », ou au moins qui ne décrochent pas, mais c'est d'autant plus important et difficile pendant les cours que les enseignants ne peuvent pas s'appuyer autant qu'à d'autres moments sur des activités visibles des élèves, ni pour les mettre en action, ni pour apprécier leur réception du dit cours.

La question qui se pose alors est la manière dont ces « rapprochements » sont réalisés, ce qu'ils contiennent, et tout particulièrement leur « qualité cognitive ». C'est précisément là qu'intervient l'hypothèse précédente, qui nous amène à préciser ce que peut recouvrir cette qualité cognitive (a priori).

b) les proximités en acte et discursives

Nous avons développé la notion de proximité-en-acte pour labelliser des décisions ou discours de l'enseignant pouvant conduire à des rapprochements avec les élèves, aux yeux du chercheur, qu'elles soient conscientes ou non (Robert & Vandebrouck, 2014). Ces proximités peuvent être affectives, langagières, ou jouer sur la motivation… Nous nous sommes restreints à l'étude de celles qui nous semblent avoir une portée cognitive, et parmi celles-là, nous distinguons les proximités discursives, qui rendent compte de rapprochements avec les élèves (du moins interprétés comme tels par le chercheur) dans un discours, notamment tenu en cours, y compris à l'occasion des interactions (improvisées ou non) avec ces élèves. Elles peuvent être accompagnées de gestuelles adaptées.

Les proximités discursives (cognitives) sont faites d'annonces, de liens, de répétitions avec transformations (dire autrement), d'analogies, de métaphores, d'éclaircissements, d'explicitations, de dévoilements, de mises en garde ; on attire l'attention, on fait redire ou on questionne (qu'est-ce que vous avez compris ?)… En un mot, pour le chercheur, il s'agit de repérer tous les commentaires ajoutés par l'enseignant (méta), (cf. Robert & Robinet, 1996, Tenaud, 1991) et de traquer ceux qui contiennent des éléments susceptibles de rapprocher les élèves de ce qui est visé (en se plaçant dans leur Zone Proximale de développement). En fait ce que le chercheur repère ne sont que des proximités possibles[8], nous n'avons aucun moyen de savoir si elles ont été effectives (entendues) et encore moins « efficaces », même pour certains élèves seulement. Les mettre en évidence contribue cependant à mieux comprendre ce que les enseignants développent comme rapprochements éventuels, voire ne développent pas alors que le chercheur aurait vu une occasion de proximité. Cela participe de l'étude des pratiques en classe.

Une phrase du cours peut contenir plusieurs proximités.

Compte tenu de la spécificité des cours de mathématiques déjà évoquée, entre énoncés généraux et exercices particuliers, on s'est particulièrement intéressé aux proximités qui peuvent rapprocher un exemple et sa généralisation (dans les deux sens) ou deux éléments ayant le même degré de généralité (horizontales).

Ces proximités horizontales peuvent être locales (sur texte du savoir) ou plus générales (sur le sens, le pour quoi, le pourquoi, les statuts de ce qui est présenté).

III.4 Description des proximités discursives retenues

a) Les proximités « ascendantes »

Elles se placent entre ce qu'ont pu déjà faire les élèves et du nouveau (mots, définitions, propriétés) – lorsqu'il y a généralisation ou décontextualisation, soit d'un caractère outil qui donne naissance à un « nouvel » objet ou à un « nouvel » outil, soit directement d'un nouvel objet, définition ou propriété.

Ce type de proximités peut se trouver dans beaucoup d'ingénieries ou de problèmes développant une dialectique outil-objet (Brousseau, 1989, Douady, 1987, Butlen et Pezard, 2003). Dans la TSD par exemple, los d'un travail des élèves sur une séquence inspirée d'une situation fondamentale, à la fin du processus l'enseignant institutionnalise la notion à retenir, en s'appuyant sur les contextualisations travaillées par les élèves qui ont fait l'objet d'une synthèse. Nous en avons moins d'exemples au collège qu'à l'école primaire. Il n'est pas exclu qu'il y a là une source de différences entre les cours du primaire et du secondaire, liées à un degré de généralité différent des éléments non-contextualisés, à leur place dans l'ensemble des séances et aux dynamiques avec les exercices qui les accompagnent – selon que les éléments de cours sont ou non repris dans des exercices. Peut-être aussi y a-t-il davantage de notions FUG à partir du collège (cf. ci-dessus).

Donnons un petit exemple de proximité ascendante possible :

Il s'agit d'un cours sur les fonctions affines en seconde (ZEP) : enseignants et élèves ont tracé la représentation graphique de la fonction f définie par $f(x) = -2x + 3$ à partir de deux points (ils ont choisi deux valeurs de x et calculé $f(x)$).

L'enseignant reprend la parole :

[8] Nous préférons possibles à potentielles pour ne pas introduire de confusion avec ce qui pourrait être et n'est pas.

Si je calcule l'image de 0 – (des élèves : 3) *c'est 3. C'est le quel 3 ?* (elle montre le 3 de $-2x + 3$ et le souligne) – *c'est l'ordonnée de ce point sur la courbe* (elle montre le point où la courbe coupe l'axe des y).

A chaque fois quand vous calculez l'image de 0 par $f(x) = ax + b$ *vous obtenez* b *que vous allez trouver sur l'axe des ordonnées* (elle désigne un point virtuel de coordonnées $(0, b)$ sur l'axe des ordonnées). *La valeur de b faut toujours qu'elle soit sur l'axe des ordonnées. Quel nom* ? (Des élèves : ordonnée à l'origine.)

Vous notez : b est appelé l'ordonnée à l'origine…

Nous repérons que l'enseignant redit aux élèves, en s'appuyant sur un cas particulier qu'ils ont traité, la double lecture qu'on peut faire du 3 (dans la formule, sur la courbe) et généralise immédiatement au cas général, associé à une formule algébrique, cette double lecture, en soulignant les mêmes éléments (b de la formule et b ordonnée d'un point de l'axe des y).

Ce qui est en jeu ici, c'est que nous pensons qu'en fait, le général n'est pas automatiquement proche des élèves, que des rapprochements explicites peuvent vraiment aider. Mais le transfert, inductif, mis en jeu, pour passer au général, n'est pas toujours transparent, et un enjeu de ces proximités est d'expliciter ce qui est retenu et généralisé à partir du cas particulier, de ce que les élèves ont pu faire. Selon l'empan de cette généralisation, c'est plus ou moins facile.

Nous en voulons pour preuve certains travaux de Butlen et al., qui montrent que spontanément les élèves en restent au générique (à l'exemple qui engendre le général) et ne passent pas au général. Nous avons aussi fait passer un questionnaire à des élèves de lycée, qui montre qu'une partie d'entre eux ont du mal avec les activités introductives et avec le sens du mot « général » en mathématiques (Bridoux et al, 2015).

De plus, lorsque les élèves ont travaillé diversement sur une activité d'introduction, le choix par l'enseignant de la procédure qu'il généralise peut poser problème, pour ceux qui font autrement, qui ne reconnaîtront pas le rapprochement explicite.

Autant de questions à se poser sur ce type de proximités, pour avancer sur leur efficacité possible.

b) Les proximités descendantes

Elles se placent entre ce qui a été exposé et des exemples ou exercices à faire ensuite avec ou par les élèves ((re-)contextualisation). L'enjeu est d'expliciter ce qui est à contextualiser, la manière d'inscrire le cas particulier traité dans l'invariant général, de substituer les données aux variables (à repérer). Ce n'est pas toujours transparent pour les élèves, alors même que leur longue fréquentation des mathématiques amène les enseignants à ne pas toujours repérer ces difficultés, tant ces connaissances sont naturalisées chez eux.

Donnons un exemple de proximité descendante possible (donné en classe tout de suite après l'exemple précédant).

L'enseignant reprend, après avoir donné la définition de l'ordonnée à l'origine.

On va tracer la courbe de $f(x) = 2x - 3$. *Que vaut* b *cette fois ?* (Des élèves : -3.)

Donc il va y avoir un point sur l'axe des ordonnées en (-3) – (elle le place directement).

Il y a proximité possible parce que l'enseignant applique l'énoncé général précédent, et non plus le calcul direct, mais en explicitant cette démarche (par l'interrogation sur b, à identifier, et le « donc »).

On peut citer un autre exemple, a contrario. Un enseignant débutant vient de donner la règle sur le calcul de l'exposant d'un produit de puissances du même nombre. Confronté à un problème numérique de ce type, un élève recommence à développer chaque facteur du produit pour donner le résultat juste. L'enseignant le corrige lui reprochant de ne pas appliquer la règle. Une alternative, qui pourrait être une proximité descendante, serait de montrer à l'élève qu'il pouvait aussi aller plus vite en appliquant la règle, qui donne le même résultat... Autrement dit on admet que le cours ne donne pas de modèle à retenir et à appliquer pour les élèves dès qu'il a été dispensé. Une fois qu'ils ont entendu (et/ou noté) le cours, les élèves peuvent revenir à d'autres procédures, correctes ; en revanche, et c'est là qu'il peut y avoir occasion de proximité, il s'agit pour l'enseignant d'illustrer comment le cours permet de faire autrement.

En fait, pour les applications qui sont l'essentiel de ce qui est concerné ici, l'enjeu est dans les explicitations de ce qui est à « faire » par les élèves à partir de l'énoncé général à contextualiser, y compris la reconnaissance éventuelle. On pourrait évoquer la clarification du passage du déclaratif au procédural.

c) Les proximités horizontales

Elles ne font pas intervenir de changement de discours entre contextualisé et non-contextualisé. Elles peuvent ainsi porter sur le cours en train de se faire, à un niveau général, par exemple sur les statuts des éléments en jeu ou sur des liens, ou sur la structuration du cours (« *on en est où ?* ») ou les méthodes en jeu. Elles peuvent aussi expliciter localement une suite de calculs, ou des différences entre écrit et oral. Elles nourrissent alors souvent des interactions limitées, brèves questions et réponses de faible « portée ».

Donnons des exemples de proximités horizontales.

Nous avons trouvé dans une capsule vidéo sur le net, comme introduction du « cours » sur le tableau de signes d'un produit de facteurs algébriques le discours suivant : « *pour chercher le signe de l'expression*$(3x-9)(1-2x)$*, on cherche quand « tout ça » (l'enseignant montre le produit) est positif ou négatif. Pour cela on cherche quand le premier facteur est positif ou négatif, le 2ème facteur est positif ou négatif et on applique la règle des signes. Pour faire tout ça et pour simplifier la discussion, on fait un tableau. »*

Nous y voyons un exemple de proximité horizontale locale possible, dans la mesure où l'enseignant explique ce qu'il y a à faire sur l'exemple, sans faire allusion à un procédé général.

En revanche on pourrait imaginer une occasion de proximité horizontale plus générale, permettant à l'enseignant d'expliquer, hors exemple, que, dès qu'on peut connaitre les signes des facteurs d'un produit, on peut connaître le signe de leur produit, dans la mesure où la règle des signes peut être appliquée sur chaque intervalle où les facteurs gardent un signe constant.

Et une occasion de proximité encore plus générale serait de questionner les élèves sur le statut de cette règle des signes (et de signaler qu'on l'admet, par exemple).

Bilan

1) Du côté des cours, notamment lorsqu'ils portent sur des concepts ou des théorèmes (quelque chose de général, qui peut être contextualisé dans des exercices, souvent porté par un certain symbolisme - théorème de Pythagore, fonctions, intégrales...), leur rôle serait de contribuer à l'élaboration par les élèves d'un pseudo-concept (pseudo-théorème) - des mots, des signes, associés à des situations adéquates mais pas encore "bien" mobilisables ni a fortiori disponibles. L'élaboration par chaque élève du concept dépend des tâches proposées et des proximités développées, de toutes natures, et pendant le cours et après (voire avant).

On fait l'hypothèse didactique forte que ce qui est difficile, l'enjeu, relativement spécifique aux mathématiques, c'est à la fois le sens de la notion (du théorème), sa mise en fonctionnement adéquate, et la mémorisation exacte de ce qui sera à appliquer. Ce qu'on appelle "sens" tient à la fois à la compréhension de ce sur quoi porte la notion, de ce qui est concerné, des questions auxquelles cela répond (de manière à la reconnaître, en contexte, quand il y en a besoin). La place de la notion dans le reste du paysage mathématique doit être travaillée, pour pouvoir organiser en contexte des raisonnements, des mélanges, tout comme la maîtrise de ce qui est à faire pour l'appliquer (identification des variables, des invariants, des hypothèses...) - pour effectuer les traitements internes qui vont avec.

Autrement dit, le spectre d'intervention de la notion et les questionnements associés (les cas où on en a besoin), la dialectique général-contextualisé – au centre du jeu mathématique, sont par hypothèse au cœur des enjeux et des difficultés, et pas seulement les traitements internes, sans qu'on minore leur importance et leurs difficultés.

Tout cela peut être éclairé par des commentaires, des références historiques etc., et des activités, mais pas toujours seulement des activités… L'idée a priori est de ne pas réduire l'exercice des mathématiques à ces traitements internes, voire de ne les introduire si possible qu'avec un premier travail sur le sens - non pas que cela faciliterait ces traitements internes, qui gardent une certaine indépendance avec le reste, mais parce que cela permettrait de les installer "à leur bonne place", comme outillage associé à des objets... pour avoir à terme des traitements adaptables, et pas seulement des automatismes. En TSD (ou en DOO) c'est le travail introductif long, dans une situation porteuse d'un travail contextualisé, ayant du sens pour les élèves et de leur niveau technique, suivi d'une institutionnalisation, qui est supposé efficace pour "entamer" la conceptualisation espérée. Que ce soit grâce à une telle situation, ou plus modestement, grâce à une bonne activité d'introduction, on conçoit le rôle important des proximités ascendantes qui accompagnent la généralisation (décontextualisation). Cela permet d'expliciter le passage entre ce qu'ont (effectivement) fait les élèves en contexte et la notion à présenter. Cela nécessite un repérage (interprétatif) des activités des élèves. L'hypothèse implicite ici est que l'appui explicite (objet de la proximité) sur le cas traité par les élèves (en contexte) induit un certain sens pour le cas général, dans la mesure où on reste dans quelque chose de proche de ce qu'ont fait, et de ce que savent les élèves. Le transfert généralisateur avec conservation du sens serait facilité par ce discours d'explicitation. Les proximités horizontales globales peuvent aussi jouer un rôle pour éclairer l'enjeu de la notion.

Cela dit, il ne s'agit pas non plus à l'inverse de négliger les aspects techniques, qui peuvent d'ailleurs contribuer aussi à l'élaboration recherchée, dans l'autre sens (par exemple par une généralisation qui peut naturellement suivre des répétitions).

Dans tous les cas, les proximités descendantes, qui apparaissent dans le discours d'accompagnement entre la notion, présentée de manière générale et ce qu'auront (effectivement) à faire les élèves en contexte, sont importantes–elles éclairent l'ajustement attendu du général au contextualisé, qui est central dans les exercices, et contribuent notamment à l'installation des traitements internes. Il en est de même des proximités horizontales locales : discours d'accompagnement, contextualisé, sans changement de niveau de généralité.

2) Or, du côté des capsules, il est difficile a priori d'y développer des proximités ascendantes, qui dépendent fortement des élèves présents - ou alors ça ne marche que pour une classe connue, avec une vidéo élaborée quasiment après l'activité des élèves !

On peut en revanche y développer des proximités horizontales, mais sans lien avec un questionnement réel des élèves (elles risquent de rester un peu "formelles") et de même des proximités descendantes mais, là encore, non ajustées aux élèves présents (puisqu'il n'y a pas d'interaction). Par exemple on peut faire des anticipations (descendantes) mais on sait bien que ça peut être inutile pour des élèves, qui ne se sont pas encore posé la question.

3) Pour qu'une capsule "remplace" un cours, il faudrait donc soit qu'il n'y ait pas trop "besoin" de proximités ascendantes (donc pas après une activité d'introduction, sauf exception), soit même que le contenu du cours ne soit pas trop "conceptuel", n'appelle donc pas trop de proximités autres qu'horizontales (explications locales ou même globales mais qui ne mettent pas en jeu de relation entre une activité (effective) contextualisée des élèves et le décontextualisé correspondant - par définition hors d'atteinte dans la capsule). On peut ainsi supposer que l'exposé (dans la capsule) de traitements internes peut être clarifié par des proximités horizontales bien choisies - mais en reconnaissant que, ce faisant, on prend le risque de réduire l'exercice des math correspondantes (à ce seul traitement) et de perdre l'inscription des traitements internes à leur place dans l'édifice plus complet. Sauf si d'autres parties du cours non capsulées ont lieu, bien entendu.

Si par exemple on pense au chapitre inégalités en seconde, la réalisation d'un tableau de signes peut être capsulable mais plus difficilement la théorie qui va avec...

En revanche on conçoit l'intérêt des capsules sur l'utilisation de certains instruments, en sachant qu'il y a des compléments (théoriques) à apporter tout de même !

Mais on a affaire à des vrais élèves, des vrais professeurs, avec des conditions de travail dégradées, difficiles, cela fait autant de variables externes à retenir et à intégrer dans ce raisonnement "théorique".

C'est tout l'enjeu d'un cahier des charges : poser les questions du choix des contenus des capsules, de leur modalités d'utilisation par les élèves et de leur inscription dans l'ensemble du cours, compte tenu des objectifs attachés à l'enseignement et du reste...

III.5 Méthodologie rapide : des éléments communs pour l'analyse de cours filmés et de capsules sur le net

a) Le dispositif global et le contexte

Le contexte est impérativement à préciser sur chaque capsule : niveau scolaire, thèmes, durée, supports (avec ou non le (la) prof, le tableau – préparé ou non, animé ou non, avec ou non du son, comment on s'adresse aux élèves – tu, nous, mon, est-ce qu'on suggère qu'ils fassent quelque chose à part regarder ?…)

Une première étude indispensable est ainsi de déterminer les conditions d'utilisation des capsules en classe – quelles vidéos sont utilisées précisément, à quel moment du scénario global, avec quelle fréquence ? Sur tous les chapitres ou non ? Qu'est-ce que les élèves sont censés (en) faire : quel est le contrat, a-t-il été explicité, voire travaillé ? Comment le professeur « vérifie » l'écoute des vidéos à la maison - cf. le questionnaire, voire ce qui suit ?

b) les contenus –éléments de relief

A priori, on peut préciser ce qu'il y a dans le thème : quels contenus « minima » - (définition, théorème, méthode, construction, vocabulaire, exercice résolu, …) – *quels acquis antérieurs supposés*, à quel moment de quel programme ?

Y a-t-il des « musts », des enjeux sur l'ordre ? Y a-t-il des éléments non transformables en exercices à dire ? Peut-on penser à des commentaires à développer ? Cf. difficultés repérées.

c) Pour les déroulements

A posteriori :

i) sur les contenus abordés : Y a-t-il une introduction (quand, pourquoi, liens, plan), une conclusion (que retenir explicité ou non, liens) ?

Quels choix précis de contenus, d'exemples, quelles activités des élèves pendant le cours (y compris exos) ? Quelles différences entre l'analyse a priori et le déroulé ?

Y a-t-il des éléments non transformables en exercices, ni évaluables ?

ii) sur ce qu'ajoute l'enseignant : quels statuts des connaissances ou savoirs (explicite ou non) ?

Quels liens, quel (type de) méta, quelle structuration (ordre) ?

Quelles proximités avec les connaissances supposées des élèves, entre général et particulier, reformulations (horizontales) etc… sont développées, quelles occasions de proximités ne sont pas prises, quels implicites (ou manques) ?

Quelle rigueur, quel vocabulaire (im)précis ?

iii) Sur l'écrit

Quelles différences oral/écrit, quid des supports ?

On peut se référer aux usages du tableau dans un cours et l'appliquer à une capsule : est-ce un lieu de savoir (avec quel degré de rigueur ? Quelles traces en a-t-on ? Que dire de l'ensemble ? A quel rythme est-ce effacé ? Y a-t-il le temps de « recopier », de prendre des notes ? Le même cours se retrouve-t-il ailleurs ?). Y a-t-il des indications sur ce qui est projeté sur le tableau « tout prêt » ? Lieu d'écriture (quel partage, à quel rythme ?), brouillon public…

iv) Finalement, aux yeux de l'observateur, quelles visions (globale, procédurale) sont adoptées, que seront censés faire les élèves avec ce qu'ils voient et ce qu'ils entendent ?

IV Résultats : diverses analyses liées à des capsules

IV.1 Les inéquations en seconde : mise en regard du relief, de deux manuels, de deux vrais cours et d'une capsule

a) Éléments de relief

Aspects curriculaires et épistémologiques

En troisième les inégalités et inéquations du premier degré ont été traitées, à la fois algébriquement et graphiquement. La règle des signes est connue depuis la cinquième sur les produits de nombres mais rien n'a été dit sur le produit de deux expressions algébriques.

La résolution d'une inéquation du second degré met en jeu une application de la règle des signes étendue à des facteurs (deux au moins) gardant un signe constant sur des intervalles et la connaissance du signe des expressions algébriques du premier degré sur R.

Cependant, s'il est possible pour les élèves en seconde de déterminer le signe d'une expression algébrique du premier degré directement, par un calcul, la résolution algébrique d'une inéquation du second degré nécessite (en général) de reconnaitre d'abord une factorisation, qui n'est pas encore enseignée.

En seconde, la notion de fonction continue et le théorème des valeurs intermédiaires sont inconnus donc le signe constant d'une expression sur un intervalle (lié aux racines) n'est pas justifié à ce niveau, sauf pour le premier degré, où il est montré directement. Néanmoins l'outil principal reste la règle des signes, extrapolée subrepticement à tous les nombres gardant le même signe sur un intervalle, et dont la justification, même pour deux nombres, est rarement présentée ou rappelée en classe.

D'ailleurs le tableau de signes n'a été introduit dans l'enseignement qu'au début du 20° siècle. Il présente un intérêt pour organiser les résultats (à partir du second degré), il est facilement évaluable et sera réinvesti en première avec le tableau de variation d'une fonction (signe de la dérivée). Enseigné comme objet, il est utilisé comme outil pour résoudre les inéquations produit ou quotient.

Aspects cognitifs

Globalement : le lien entre la résolution d'une inéquation et la recherche du signe d'une expression algébrique sur R n'est pas toujours explicité, or il faut s'apercevoir qu'on résout une inéquation en en cherchant le signe sur R avant de ne garder que les intervalles adéquats, contrairement à ce qui peut se faire dans une étude directe (pour le premier degré ou pour un carré…).

Une autre difficulté que rencontrent les élèves est de distinguer les différents types de facteurs (nombres, expressions du premier degré, du second degré…) et d'adapter le tableau au nombre de facteurs dont ils sauront donner le signe.

Prendre l'initiative de dresser un tableau de signes n'est pas une évidence pour la plupart des élèves qui privilégient souvent une approche algébrique plus immédiate même si elle conduit à une impasse. La nécessité du tableau ne s'impose pas dans tous les cas et d'autres méthodes peuvent parfois être envisagées.

Changement de registres, du graphique à l'algébrique : d'une part le lien entre les propriétés vues sur une représentation graphique et les propriétés correspondantes d'une expression algébrique pose des problèmes à bon nombre d'élèves de seconde. Si plus de la moitié d'entre eux, par exemple, savent hachurer la partie du plan correspondant à $x>0$ ou à $y<0$, en revanche un quart seulement réussit à résoudre graphiquement des inéquations telles que $xy>0$ ou $y>x$ (Duval, 1988).

D'autre part, si la lecture graphique des signes d'une expression algébrique du premier degré est relativement congruente à la lecture algébrique directe, l'interprétation graphique d'un tableau de signes pour un produit de deux facteurs du premier degré (représenté par une parabole) est non congruente au travail algébrique.

Vocabulaire : il est important de noter les changements de formulation, voire de points de vue, implicites ou non, marqués par l'utilisation des mots positif, supérieur à zéro et de signe + (négatif, inférieur à zéro, de signe-).

b) des manuels : math'x programme 2010 Didier, transmath

Manuel Didier : Chapitre 5 : Inéquations, Etude de variations

Le chapitre débute par quelques rappels portant sur les règles concernant les inégalités, la résolution d'inéquations du premier degré, la lecture d'un tableau de variation de fonction, le choix du registre à convoquer pour résoudre une équation du second degré, les fonctions affines.

Suivent deux activités, la première interroge sur le signe d'une expression algébrique d'abord à deux inconnues lorsqu'on connaît leur signe, ensuite à une inconnue mais pour toute valeur de x. La seconde activité permet de repérer dans un tableau proposé des valeurs de x (première ligne) et le signe de leur image.

La méthode est exposée sur un exemple intitulé pourtant « activité ». L'expression dont on cherche le signe, notée f(x), est un polynôme du second degré explicite proposé sous forme développée. On questionne d'abord le signe de chaque monôme pour savoir si on peut en déduire directement le signe du polynôme. La forme factorisée est ensuite à valider. Le signe de chaque facteur est étudié dans deux tableaux distincts.

Pour différentes valeurs de x on demande le signe de chaque facteur puis celui du produit.

Les résultats des deux « petits » tableaux sont rassemblés dans un tableau récapitulatif qui implicitement utilise la règle des signes. Il est indiqué à chaque ligne « signe de … »

La conclusion est classique. f(x) est nul/positif/négatif   pour …

Le bilan porte au final sur la forme de f(x) la mieux adaptée à l'étude de son signe.

Le tableau de signes n'est pas considéré comme un objet d'étude dans le cours où on ne trouve que la méthode pour résoudre graphiquement une inéquation et les règles pour obtenir des inéquations équivalentes.

Un exercice résolu propose une inéquation à résoudre où, après factorisation, l'outil tableau de signes est mis en œuvre. C'est seulement à cette occasion que la règle des signes est explicitée de façon détaillée.

Dans le Transmath (Nathan), la résolution des inéquations produits est proposée dans un exercice résolu après avoir étudié les tableaux de signes d'expressions du premier degré. L'expression étudiée est un polynôme du second degré déjà factorisé. Il s'agit de regrouper les tableaux donnant le signe de chaque facteur en un tableau global en utilisant la règle des signes d'un produit (explicitement indiqué). On conclut rapidement en donnant l'ensemble des solutions ;   on insiste sur le sens des crochets. Une remarque précise qu'en fait on a étudié le signe d'un produit selon les valeurs de x.

c) Deux « vrais » cours[9]

c.1 Cours filmé dans une classe de seconde (professeur BLO.)

Contexte

Avant le cours : l'objectif déclaré par l'enseignant est d'amener les élèves au tableau de signes pour une résoudre une inéquation produit

Activité d'introduction :
Une société veut fabriquer des tapis de souris composés d'une image carrée de 10cm de côté encadrée par une bande de couleur de largeur constante. On appelle x la largeur de la bande colorée. Pour des raisons économiques, l'aire du grand carré ainsi formée ne doit pas dépasser 225cm². On veut déterminer la largeur de la bande colorée.

Activité ouverte, réflexion quelques minutes des élèves puis débat oral.

Compte rendu de la séance : (ponctuée par des propositions des élèves, ce sont des habitudes mises en place depuis le début de l'année)
-schéma de résolution
-mise en inéquation : $4x^2+40x < 125$
-tracé de la fonction $4x^2+40x$ par un tableau de valeurs
-résolution graphique en traçant la droite y=125
-*question du professeur* : montrer que l'inéquation est équivalente à $(2x-5)(2x+25) < 0$
- équation produit nulle
-règle des signes
- tableau de signes en rappelant le cours du chapitre précédent : signe d'une fonction affine
-solution cohérente avec la résolution graphique

[9] Merci beaucoup aux deux enseignantes qui nous ont donné leurs vidéos.

Cours (nous avons eu accès au fichier pdf de ce cours)

I résolution graphique
Méthode pour f(x) >k (6'45)
Exemple à partir d'une courbe donnée sur un papier à tout le monde (14'24)
Méthode pour f(x)<g(x)(17')
Exemple à partir de deux courbes données sur un papier à tout le monde (18')

II résolution algébrique d'inéquations
<u>1) signe de ax + b</u>
Deux tableaux pour a >0 et a <0 (jusqu'à 3'45)

2) Le Scénario extrait : résolution algébrique d'une inéquation, à partir du signe d'un produit obtenu avec la règle des signes, sur un exemple

Les élèves recopient ou écrivent sous la dictée. Le professeur attend que les élèves aient écrit. Elle répète pour faciliter la recopie. On retrouve l'importance temporelle de l'écriture des élèves.

Elle pose des questions limitées mais variées. Les élèves répondent (un certain nombre), voire anticipent.

Le professeur répond aux questions des élèves (notamment à la fin où elle reprend longuement).

Durée : 15 minutes.

Contenus exposés : Rappel de la règle des signes sur les nombres avec la participation des élèves ; annonce d'une proposition plus générale sur la règle des signes d'un produit de deux facteurs A et B (nombres ou expressions algébriques) et donnée d'un tableau récapitulatif que les élèves copient.

Annonce d'une méthode pour déterminer le signe d'une « expression algébrique produit », à partir d'un exemple.

Exemple : « signe de (2x+1)(x-4) » : discussion préalable sur les méthodes (développer, factoriser) que P réfute ou commente. Exposé de la méthode en contexte : précision sur la nature des facteurs (fonctions affines), recherche des valeurs qui font changer leurs signes (résolution avec l'aide des élèves des deux équations 2x+1=0 et x-4=0), préparation du tableau de signes vide qui est décrit (les élèves copient). On complète : on place les valeurs remarquables, dans l'ordre, on indique le signe du premier facteur (cf. cours juste avant), le signe du second, le signe du produit et on ajoute les valeurs qui annulent le produit.

Plusieurs questions d'élèves concernant les zéros, les signes du produit, le nombre de facteurs amènent des réexplications.

[Enfin résolution de l'inéquation (2x+1)(x-4)≤ 0, commentée en insistant sur le sens des crochets

19'36 : fin]

<table>
<tr><th>Temps</th><th>Ce que dit le prof</th><th>Ce que le prof écrit</th><th>Commentaire</th></tr>
<tr>
<td>4’38

5’08

5’16

5’29</td>
<td>Alors vous vous rappelez ce qu’on a dit tout à l’heure sur le produit de choses positives et négatives (les élèves répondent).
On a dit moins par moins ça fait plus, plus par moins ça fait moins, plus par plus plus.
Donc ça c'est ce qu’on appelle la règle des signes
Donc on fait une petite proposition entre parenthèses vous pouvez écrire règle des signes, pas des animaux, hein, règle des signes
(efface le tableau) et on fait un tableau
(Elle l’écrit au tableau sans rien dire)</td>
<td>2) Signe d’un produit

<table>
<tr><td>signe de A</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>signe de B</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Signe de A×B</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table></td>
<td>Rappel avec un vocabulaire imprécis.

Proximité ascendante de ce qui précède au nouveau (formalisé en une règle, étendu implicitement aux expressions algébriques)</td>
</tr>
<tr>
<td>6’

6’32

6’47

7’10</td>
<td>Alors A et B c’est, des expressions algébriques et la question c’est le signe du produit. Alors vous m’avez dit si les 2 sont positifs le produit est positif. Si le premier est négatif, le deuxième positif ça fait moins, si j’inverse ça fait encore moins et si je prends deux négatifs ça fait plus.
Ca c’est ce que vous venez de me dire ;
Question d’élève.
Oui. J’ai dit si A est positif, B positif, A fois B il est positif. Moins par plus ça fait moins, plus par moins ça fait moins et moins par moins ça fait plus.
(le prof se tait 21’’ les élèves recopient)
Et on va en déduire une méthode pour déterminer le signe d’une expression algébrique produit.
(élève « Mais madame c’est normal en fait c’est simple ça. »)
Oui, je ne dis pas le contraire. Vous le savez depuis longtemps mais il y a des choses que vous savez</td>
<td>
<table>
<tr><td>signe de A</td><td>+</td><td>−</td><td>+</td><td>−</td></tr>
<tr><td>signe de B</td><td>+</td><td>+</td><td>−</td><td>−</td></tr>
<tr><td>Signe de AxB</td><td>+</td><td>−</td><td>+</td><td>−</td></tr>
</table></td>
<td>Implicites : entre signes de nombres et signes d’une expression et entre signes (+, -) et positif ou négatif (>0, <0)

Proximité ascendante répétée et horizontale générale avec deux répétitions, mélangeant positif et plus

Proximité ascendante de ce qui précède vers le nouveau (de la règle des signes à une méthode)</td>
</tr>
</table>

7'25 7'50 8'08	depuis longtemps et vous ne savez pas les faire. Donc méthode, méthode pour déterminer le signe, méthode pour déterminer le signe d'une expression algébrique produit. (*elle dicte) (silence*) Pour faire la méthode on va prendre un exemple bien particulier. On va prendre une expression et on va faire l'étude algébrique. (*un élève de mande ça veut dire quoi, elle répète*) Méthode pour déterminer le signe d'une expression algébrique produit. Produit c'est-à-dire c'est un produit l'expression algébrique, quelque chose fois quelque chose, un produit ; Alors quel exemple je fais		<u>Implicites</u> : expression algébrique produit (de quoi ?) – généricité d'un exemple Lève partiellement l'implicite « produit » pour répondre à un élève <u>Implicite</u> : le titre est inéquation et ici on cherche un signe…(le)
8'35 8'52 9'10	Cherchons le signe de 2*x*+1 fois *x*-4. J'attends que tout le monde ait fini d'écrire. (*Elève « C'est partie leçon ? »)* C'est toujours dans la méthode hein. La méthode on va la faire sur un exemple. (*Elève « On développe. »)* Chaima, ah, surtout pas ! (*élève « On factorise »).* Tu veux factoriser quoi ? (*élève ...)* On va faire un tableau de signes. Effectivement on utilise ce que vous savez sur les signes. Alors la première partie. C'est une fonction ? (*Elève « Affine »).* Affine. Le coefficient directeur ici vaut ? (*Elève « 2 »*) 2 c'est donc positif donc votre expression là, d'abord moins puis plus, croissante. Celle-ci c'est aussi affine. Le coefficient directeur vaut ?*(élève «1 »)* 1, positif donc c'est aussi moins, plus. En quelle valeur ça change de	Cherchons le signe de $(2x+1)(x-4)$	Répétition (sur un exemple), mais pas explication généricité <u>Annonce le nouveau</u> (tableau de signes), proximité <u>descendante</u> avec ce qui précède (ce que vous savez sur les signes). <u>Fonction affine</u> (et pas expression algébrique du premier degré, mélange <u>implicite</u> pour permettre l'utilisation de ce qui précède ?), proximité <u>descendante</u> avec ce qui vient d'être fait <u>Questions locales aux élèves</u> (le prof mène le jeu, du signe et de la

<table>
<tr>
<td>9’23

9’45</td>
<td>signe celle-là ?
(élève « c’est –b/a »)
Oui alors pas besoin, on peut aussi résoudre l’équation. Quand est-ce que ça vaut zéro ?
(élève «En 4 »)
Quand x vaut 4 et celle-ci ?
(élève « Quand x vaut 0,5. »)
Quand x vaut moins 0,5. On l’écrit.
Premièrement on résout 2x+1=0 (elle l’écrit) et x-4=0 (elle l’écrit en laissant un blanc). La première ça fait 2x= -1, x= -1 sur 2, -1/2 (-0,5) et celle-là elle est beaucoup plus facile ça fait x=4 donc on a les deux valeurs.
Elles sont importantes ces deux valeurs</td>
<td>On résout $2x + 1 = 0$
$\Leftrightarrow 2x = -1$
$\Leftrightarrow \quad x = -\frac{1}{2}$

et $x - 4 = 0$
$\Leftrightarrow \quad x = 4$</td>
<td>valeur 0) reprise du résultat précédent non signalé sauf « donc », avec mélange implicite signe et croissant (?) – problème du 1 (devant le x de x-4)?
Refus (contestation) du –b/a… refus proximité descendante…
Implicite : « Change de signe » remplacé par « vaut zéro », sans commentaire

Écriture dans un autre ordre

Au tableau il y a des équivalences entre les lignes du calcul écrites pour résoudre l’équation mais sans rien en dire</td>
</tr>
<tr>
<td>10’35

10’51

11’

11’55

12’16</td>
<td>Elles sont importantes ces deux valeurs (élève « Ca sert à quoi le zéro alors? »)
Faut trouver en quelle valeur ça vaut zéro pour pouvoir utiliser les tableaux de signes de la fonction affine comme on a fait.
(élève « pourquoi affine ? »)
chaque morceau, chaque facteur, on regarde quand est ce qu’il vaut zéro pour déterminer le signe et donc on en déduit le tableau de signes. On en déduit le tableau de signes. (elle dessine le tableau, elle laisse du temps aux élèves pour copier). Alors c’est un tableau qui va avoir 4 lignes en tout, quand même un assez gros tableau. S’il vous reste deux lignes en bas de votre page je sais pas si ça tiendra.
Alors la méthode c’est mettre une ligne par facteur et je vais mettre une ligne pour 2x+1 et une ligne pour x-4 (elle laisse du temps aux élèves pour copier).</td>
<td><table><tr><td>x</td><td>$-\infty$ $+\infty$</td></tr><tr><td>$2x+1$</td><td></td></tr><tr><td>$x-4$</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table></td>
<td>Annonce de l’importance des deux valeurs [où ça s’annule], mais non justifiée – implicite zéro levé par question d’élève

Proximité ascendante : reprise de ce qui vient d’être fait (les zéros pour étudier le signe)
Un élève questionne l’implicite (affine et pas premier degré)
En partie levé (facteur)

Annonce de la structure du tableau (justifié techniquement)

Proximité horizontale locale : une ligne pour 2x+1, une ligne par facteur (du produit)…
Rien n’est dit sur la ligne des x bornée par -∞, +∞ (écrit sans rien en dire)</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr>
<td>12’50</td>
<td>Alors on remplit les signes. Pour remplir les signes on commence par mettre les deux valeurs. Je mets laquelle en premier?
(élève « -1/2 »)
Pourquoi ?
(élève « Négative »)
Surtout parce qu’elle est plus petite que l’autre. Je mets la plus petite en premier. -1/2, 4 avec des traits en dessous. <u>Attention</u>, il faut bien essayer de mettre en dessous pour pas que le tableau devienne illisible.</td>
<td>
<table>
<tr><td>x</td><td>-∞ $-\frac{1}{2}$</td><td>4</td><td>+∞</td></tr>
<tr><td>2x+1</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>x-4</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td>
<td>Le professeur mène le jeu : <u>annonce</u>, on remplit les signes.
Proximité as<u>cendante</u> (?) avec ce qui a été fait avant (en partie encore <u>implicite</u>), « les deux valeurs ».
En revanche les places respectives sont justifiées (ordre sur R, sur la première ligne, en partie implicite ici).
Mise en garde matérielle</td>
</tr>
<tr>
<td>13’33</td>
<td>Et on remplit les signes. Alors on commence par 2x+1. 2x+1 il s’annule en quelle valeur ?
(élève «En -1/2 »)
En -1/2 donc à -1/2 dans la ligne 2x+1 je mets un zéro. Seulement en -1/2 hein puisqu’il s’annule que en -1/2. Ensuite je remplis les signes. C’est moins, plus puisque le coefficient est positif donc ici ça fait moins, plus, plus. Je répète si on prend 2, 2 est positif donc d’après le tableau des signes qu’on avait tout à l’heure sur les fonctions affines ça donne moins, plus, plus</td>
<td>
<table>
<tr><td>x</td><td>$-\frac{1}{2}$</td><td>4</td><td></td></tr>
<tr><td>2x+1</td><td>- 0</td><td>+</td><td>+</td></tr>
<tr><td>x-4</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>(..)(..)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td>
<td><u>Questions locales aux élèves</u> pour remplir le tableau – pas de commentaires sur les deux signes + dus aux deux cases de chaque ligne au lieu d’une seule comme avant… mais reprise (deux fois) évoquée) de l’argument du signe de a…
Proximité <u>descendante</u> avec ce qui précède :
« d’après le tableau des signes qu’on avait tout à l’heure »</td>
</tr>
<tr>
<td>14’17

14’30

14’45</td>
<td>Le deuxième (élève «on met le zéro en 4. »)
on met le zéro en 4, ça s’annule en 4 et
(élève «Là ça va être moins moins plus. »)
moins moins plus (en écrivant) et le coefficient vaut 1.
(élève « On fait la règle des signes. »)
Et la troisième ligne on met le produit en effet on applique la règle des signes.
Et la dernière chose, j’abaisse les zéros.
(élève « Pourquoi on abaisse les zéros ? »)
Parce que si celui-là vaut</td>
<td>
<table>
<tr><td>x</td><td>$-\frac{1}{2}$</td><td>4</td><td></td></tr>
<tr><td>2x+1</td><td>- 0</td><td>+</td><td>+</td></tr>
<tr><td>x-4</td><td>-</td><td>- 0</td><td>+</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>x</td><td>$-\frac{1}{2}$</td><td>4</td><td></td></tr>
<tr><td>2x+1</td><td>- 0</td><td>+</td><td>+</td></tr>
<tr><td>x-4</td><td>-</td><td>- 0</td><td>+</td></tr>
<tr><td>(...)(...)</td><td>+ 0</td><td>- 0</td><td>+</td></tr>
</table>
on applique la règle des signes
</td>
<td>Participation spontanée des élèves

Proximité <u>descendante</u> : en effet on applique la règle des signes…

<u>Annonce</u> : abaisse les zéros (non justifié) -</td>
</tr>
</table>

15’09	zéro en -1/2 si je fais le produit par l’autre, le produit des deux ça fera, si celui-là vaut zéro en -1/2 si je multiplie par x-4 ça fera encore (*élève «zéro* ») Et là pareil pour 4 donc ça vaut zéro aux deux valeurs qu’on avait distinguées. Ca va ? Non, pourquoi ? Qu’est ce qui ne va pas ? Quel morceau t’as pas compris ? Alors comment on écrit les plus ? Pourquoi tu m’as dit c’est moins, plus ? (autre *élève « Tu mets plus quand c’est plus grand que zéro, moins quand c’est plus petit.* »)		question d’élève <u>Réponse</u> sur le fait que le produit vaut zéro mais pas sur l’utilité de la question même de marquer les zéros. <u>Question</u> : ça va ? Réponse : Un élève n’a pas compris et le dit, <u>reprise.</u>
15’43 16’ 16’11	Le coefficient directeur ici c’est 2. 2 est positif. On a écrit tout à l’heure et on a écrit dans le cours des fonctions affines que le signe c’est moins, plus. Ca veut dire avant le zéro moins, après le zéro plus. Si j’ai 15 cases derrière le zéro j’ai 15 plus mais je mets autant de plus qu’il y a de cases derrière le zéro. En gros c’est moins, plus. Celle-là. Encore une fois le coefficient directeur 1 est positif donc c’est encore moins, plus. Moins avant le zéro, plus après le zéro. La dernière ligne, on a appliqué, qu’est ce qu’on a appliqué dans la dernière ligne, la règle des signes (elle écrit). On applique la règle des signes en colonne. Moins par moins, plus, plus par moins, moins, plus par plus, plus et les zéros on les abaisse puisque s’il y en a un des deux qui vaut zéro à cet endroit-là, le produit des deux vaut. Si je prends un truc qui vaut zéro fois un autre truc qui vaut pas zéro ça fait ? (*élève «zéro.* »)	 Ajout du 1 devant x au tableau	Le professeur <u>reprend de la même façon</u>, sans chercher davantage ce que l’élève n’a pas compris mais en explicitant davantage. Proximité <u>descendant</u>e (on a écrit dans le cours), explicitée par rapport au zéro et par rapport au nombre de cases avant ou après le zéro (*<u>implicite</u> des deux <u>cases</u> <u>est levé</u>*). Ainsi que l’implicite du 1 devant x dans le facteur x-4 Précise qu’on applique la règle des signes en colonne, <u>proximité descendante</u> (mais ne reprend pas l’implicite du passage de la règle sur les nombres à celle sur les expressions) –ajout « en colonne » (seulement montré jusqu’ici) Reprend les zéros – mais pas à quoi ça sert (d’où une question ?), proximité <u>horizontal</u>e générale

16’50	(*élève «on les abaisse tout le temps* ?») Pour les produits oui. (*élève « Et s’il y a plus de deux (facteurs)* ? ») Je peux vous en mettre 15. Ya beaucoup plus de valeurs et le tableau est beaucoup plus grand. Si je prends un produit avec trois facteurs j’ai une troisième valeur ici et j’ai une troisième ligne ici mais la règle des signes elle		Ajoute la possibilité d’un troisième facteur : proximité ascendante ? extension règle des signes à plus que deux facteurs
17’35	fonctionne pareil c’est à dire si j’ai moins plus moins, moins par plus ça fait moins, ces deux-là ensemble, ça fait moins quand on multiplie par moins ça fait plus. La règle des signes elle fonctionne à plus que deux.		
19’26	Retour à l’inéquation initiale, résolution de l’expression négative ou nulle avec un intervalle (crochets ouverts)	Non transcrit	

Caractéristiques des déroulements

Nous avons relevé des questions aux élèves et des questions des élèves, des participations spontanées des élèves, des annonces (3) et mise en garde, des éléments passés sous silence (implicites), que l’étude du relief aide à repérer (7), des proximités horizontales, générales (2) et locale (1), et des proximités descendantes (5) et ascendantes (5). Enfin certaines parties du cours sont d’abord préparées à l’oral puis écrites.

Il faut noter qu’on peut hésiter entre proximité descendante et ascendante dans certains cas : comme il y a déjà eu le cours sur le signe des expressions du premier degré, l’allusion à ce résultat peut mettre en jeu aussi bien l’activité préliminaire que le cours. C’est le contexte qui nous a amenée à trancher.
Certaines questions d’élèves peuvent ramener l’enseignant à lever un implicite (même si cela reste le plus souvent local).

Précisons.

Les élèves sont sollicités (et certains répondent) sur la méthode à suivre (avec réponse erronée à exclure), la nature des facteurs du produit de l'exemple, le signe de chaque facteur du premier degré et les zéros, et le remplissage des lignes 1 (avec l'ordre), 2 et 3 du tableau (« l'ancien donc »). Il y a même participation spontanée pour la ligne 4, nouvelle. Sont ainsi provoquées des sous-activités de d'organisation du raisonnement, de reconnaissance, et de traitement interne.

Leurs questions portent sur la difficulté de la question, le produit (or il y a un implicite), le rôle du zéro dans la recherche du signe (idem : la question de l'enseignant *quand est-ce qu'elle change de signe* ? n'a pas été préparée), la raison de dire « affine » (idem), la raison d'abaisser les zéros (idem), l'ensemble de la démarche (permet de récapituler, d'expliciter qu'on met le même signe dans toutes les cases précédant ou suivant le zéro pour une expression du premier degré – implicite jusque-là, d'expliciter que devant x de x – 4 il y a 1, et de préciser qu'on applique la règle des signes en colonne, et pas seulement de le montrer), le fait qu'on pourrait mettre plus de facteurs (d'où proximité ascendante). On peut donc noter que ces questions ne portent pas seulement sur le traitement interne.

Restent implicites (cf. relief) : la question du vocabulaire, entre signes (+, -) et positif ou négatif (>0, <0) n'est pas abordée (mais peut-être pas problématique ?) ; la généricité de l'exemple et les variables éventuelles de la méthode (même si l'extension à plus de facteurs est évoquée à la fin, grâce à un élève) ; le rapport entre croissant et signe n'est pas abordé, alors que cela est évoqué une fois ; la justification qui permet de passer du signe d'un produit de nombres aux signes d'un produit d'expressions de signes constants sur un intervalle n'est pas esquissée, pas plus que la nécessité du détour qui permet de passer de la résolution d'une inéquation au tableau de signes correspondant (et retour) : c'est seulement « résolu » en actes, à la fin. Autrement dit des questions de changements de points de vue ou de registres de représentations[10] (intervenant dans les traitements), mais aussi d'organisation (et justification, globales) et de reconnaissance de ce qui est mis en jeu.

Ce cours ne consiste qu'en l'exposé d'une méthode, annoncée mais non énoncée, à partir d'un exemple résolu dans le cours. Le travail à partir de l'exemple résolu avant le cours et du début du cours permet des proximités ascendantes/descendantes selon le contexte et ce qui est évoqué. Essentiellement sur la règle des signes (rappelée, étendue à un produit d'expressions ou appliquée dans un tableau de signes), et sur les signes et les zéros d'une expression du premier degré (appelée ici fonction affine, vraisemblablement en référence à ce début de cours).

Les annonces portent sur ce qui est nouveau ou important localement (c'est une structuration locale) : on va présenter une méthode, on va utiliser un tableau de signes, les deux valeurs annulant chaque facteur sont importantes, voilà la structure du tableau, on va remplir le tableau, on doit abaisser les zéros.

En ce qui concerne les différences oral/écrit, il y a des éléments marqués au tableau sans aucun commentaire. Dans la résolution des équations (pour obtenir la nullité de chaque facteur) les équivalences sont systématiquement écrites mais restent passées sous silence. Sans problème ?
La ligne des *x*, si elle est complétée au tableau, ne semble pas considérée comme valant commentaire.

Le vocabulaire est précis sauf une fois (« choses » à la place de facteurs) et dans l'utilisation du mot « fonction affine » – expression du premier degré serait plus adéquat ici.

[10] Dont on a déjà constaté qu'ils restent souvent implicites.

c.2 Cours dans une classe de seconde (professeur BRU)

Scénario de la séance (détaillé car nous n'avons pas le texte correspondant)

A. introduction : il s'agit de trouver le signe d'une expression (plutôt négatif ou positif) – le plus simple est constitué des fonctions affines

1) les inéquations du premier degré (25')

a) définition du signe : déterminer le signe c'est trouver les intervalles sur lesquels elle est positive ou négative

b) rappel de l'étude graphique pour ax + b : les deux graphes (la droite monte ou descend selon le signe de a, on reprend le signe à chaque fois) – ça change quand la droite coupe l'axe des x

c) Signe d'une expression affine ax+b : étude algébrique

Les élèves recopient le tableau TNI

Deux colonnes dessinées : graphique puis tableau de signes (même principe que tableau de variation)

a >0

a<0

Remarque de l'enseignant : en pratique on trouve la valeur –b/a en résolvant ax + b = 0 (pas besoin de l'apprendre par cœur)

Un truc : le signe de a est dans la colonne après le zéro

d) Une démonstration pour le cas a >0.

Trois étapes : ax + b = 0, justifier l'intervalle pour ax + b > 0, puis <0 .

e) Deux exemples de tableaux de signes

5x -3 et -2x + 8

Un exercice est proposé.

2) **L' extrait (C)**

Titre du paragraphe de l'enseignant 2**) inéquation produit**

Les élèves recopient ou le TNI (préparé) ou ce que le professeur écrit au tableau. L'enseignante attend que les élèves aient écrit. Elle répète une fois pour faciliter la recopie (et peut-être à la fin de celle-ci, pour que les élèves entendent ce qu'ils ont écrit).
Le professeur leur pose des questions locales, « *rappelez-moi ce que j'entends par règle des signes* », leur demande les différentes étapes pour remplir une ligne du tableau en lien avec ce qui précède : résolution de l'équation du premier degré, ajout des zéros sur la ligne des x, ordre, signe de a dans 2x-1, le nombre de cases avant le zéro, l'application de la règle des signes.
Les élèves répondent (un certain nombre).

Durée 10'21

Contenus
Présentation de la méthode appliquée à un exercice type pour déterminer le signe d'un produit de deux facteurs A(x)B(x) - le plan : signe de A(x), signe de B(x) ; tableau application de la règle des signes.
Les élèves copient
Rappel de la règle des signes sur les nombres avec participation des élèves.
Donnée de l'exercice type (à apprendre par cœur) : dresser le tableau de signes de (2x-1)(-1-3x).
P commente la structure de l'expression proposée et redonne la technique à utiliser pour chaque facteur. Résolution successive des deux équations 2x-1=0 et -1-3x=0 avec participation des élèves
(les élèves copient) Préparation du tableau de signes vide avec précisions sur le nombre de lignes, les valeurs à indiquer, leur ordre …
Le tableau est complété ligne à ligne, *les élèves recopient.*
Les zéros sont placés, pas le temps de revenir à l'inéquation initiale.

Dans un premier temps, le professeur avait présenté la totalité du chapitre. Nous nous intéressons ici au deuxième paragraphe concernant les inéquations produit. Nous donnons néanmoins la transcription de cette présentation car elle renseigne sur le scénario que suit cette enseignante qui annonce toujours ce qui va être fait.

	Oral	Tableau	Commentaires
	Chapitre 8, si vous pouvez commencer à noter le titre : tableau de signes et résolution d'inéquations. C'est forcément un chapitre qui va être un peu en lien avec ce qu'on a déjà vu sur les fonctions affines et les droites. Déjà on va apprendre à faire ce que c'est qu'un tableau de signes et pour vous que le signe d'une expression. On va apprendre à trouver si l'expression est plutôt positive ou négative et on regroupera tout ça dans un tableau et après on appliquera ça à la résolution d'inéquations pour voir est ce que résoudre une inéquation par exemple … positif ça reviendra à juger quand est ce que l'expression est comment ? (*un elève «positif »*) positif. …………………………………		Commentaire méta : lien avec les connaissances anciennes explicité. Proximité ascendante (lien avec fonctions affines et droites). Présentation rapide du plan du chapitre avec un vocabulaire approximatif *« plutôt positive… »*
10'' 20''	**II Inéquations produit et inéquations quotient** On va commencer par les inéquations produits et on va noter la méthode qu'on va ensuite appliquer directement sur un exercice type. *Les élèves copient le tableau* *Reprise (lecture par le prof)* :	Méthode : Pour trouver le signe d'un produit A(x).B(x), on peut trouver le signe de A(x) et le signe de B(x) en regroupant ces	Annonce (ambiguë) - (une/la méthode ?) Implicite : rapport entre

1' 1'26 2'14	donc la méthode je la lis. Pour trouver le signe d'un produit, comme c'est une méthode générale, le produit je l'ai appelé A(x)B(x), *puis elle lit exactement ce qui est écrit* *Les élèves copient* Ce qui est spécifique dans cette méthode, on va le faire tout de suite après sur un exemple, c'est que au lieu de faire, comme ça, plein de petits tableaux comme on a fait en exercice juste avant séparés, ce qu'on va maintenant faire, on va prendre deux expressions affines qui sont multipliées l'une avec l'autre, donc on va faire le signe de la première, le signe de la deuxième, et ensuite, en mettant tout ça dans un même tableau on appliquera la règle des signes. Rappelez-moi ce que j'entends par la règle des signes ? Quand on multiplie deux nombres de même signe, le résultat est (*un élève « positif »*) positif et quand on multiplie deux nombres de signes opposés le résultat est (*plusieurs élèves « négatif »*) négatif. Ce qu'on va faire maintenant c'est on va faire plusieurs lignes dans un tableau, les premières lignes comme on a fait avant, ensuite on fera une ligne blanche, on fera une multiplication par règle des signes.	résultats dans un même tableau de signes, puis on applique la règle des signes.	résolution d'une inéquation et signe d'un produit ? Que sont A(x) et B(x) ? Vocabulaire : *générale*, que comprennent les élèves ? Le « on peut » écrit au tableau et qui n'est pas commenté, est contradictoire avec la méthode. Proximité ascendante et annonce ce qui suit en lien en partie avec ce qui précède ; on mélange ce qui autorise la méthode – la règle des signes – et la réalisation du tableau – le comment. Expressions affines : pas usuel ? question aux élèves sur la règle des signes Statut de cette règle ? – le passage de la règle des signes pour deux nombres à la règle pour des expressions (un ensemble de valeurs) est implicite. Proximité descendante, qui concerne les premières lignes du tableau (reprise) et la règle des signes. Annonce de la structure du tableau
2'45 3'40	Exercice type *le prof écrit à la main en silence – en vérifiant sur ses notes, les élèves copient, le prof relit* Dresser le tableau de signes de (2x-1)(-1-3x) (*le prof répète)* En fait c'est bien un produit, les deux parenthèses, on a première expression affine c'est 2x-1, sauf qu'au lieu de faire comme dans l'exercice d'avant juste le signe de ça, on multiplie aussi par une deuxième expression affine qui est (-1 – 3x)	Exercice type. Dresser le tableau de signes de (2x-1)(-1 -3x)	Implicite : généricité pas évoquée. implicite – référence à A(x), et B(x), ajout expression affine proximité descendante : on complète ce qui a déjà été fait en multipliant
4'07	Donc, là pour le coup on va trouver deux valeurs à mettre		proximité descendante (là pour le coup) : deux

4’32 4’58	dans le tableau de signes, y en a une qui va venir du premier facteur et une qui va venir du deuxième. La méthode pour trouver le signe de ça et le signe de ça par rapport à ce qu’on a fait avant, on commence par faire quoi ? (*un élève intervient)* Voilà, on va prendre le premier et on résout égal 0. Donc (*elle écrit sans rien dire*) (*les élèves copient*) 2x = … (élèves) 1 Donc x = (…) ½ *(elle écrit sans rien dire à droite de ce qui précède)* -1 – 3x = 0 ? *(élève «1 est égal à 3x »)* 1 est égal à ? *(élève « 3x »)* Si je fais passer le 1 de l’autre côté *elle montre le signe et écrit finalement*, là on fait l’un ou l’autre, peu importe, donc -3x est égal à ? *(élève «1»)* Donc x est égal à -1/3, toujours le signe moins en haut -1.	on résout 2x-1=0 ⇔ 2x = 1 ⇔ x = 1/2 on résout -1 – 3x = 0 ⇔ 3x = -1 ⇔ x = -1/3	valeurs, chacune vient de ce qui a déjà été fait Questions locales: on fait quoi d’abord pour trouver le signe ? écrit des ⇔ entre les lignes sans le lire les élèves participent à la résolution des équations
5’46	Autant dans le premier au lieu d’un demi on pouvait mettre 0,5 autant maintenant pour les tiers vous ne mettez jamais des nombres approchés puisqu’on a des chiffres après la virgule. On fait le tableau de signes ?		Commentaire sur le fait que 1/3 n’a pas d’expression décimale exacte Annonce

<table>
<tr>
<td>6’

6’47

7’02

7’24</td>
<td>(elle dessine à la main le cadre du tableau avec 4 lignes et une colonne. Les élèves copient)
Donc, <u>je vous avance</u>, vous voyez que ici j’ai mis 4 lignes, la première ligne c’est x, sur la deuxième ligne je vais mettre signe de (2x-1) (elle l’écrit), sur la troisième ligne je vais mettre signe de (-1– 3x) (idem) et sur la dernière ligne je vais appliquer ma règle des signes pour faire le produit des deux.
(elle écrit « signe de (2x-1)(-1–3x) »)
Là pour le coup, sur la ligne des x j’ai combien de valeurs à ajouter entre – ∞ et + ∞ ?
(Elèves « deux »)
Deux, vous faites attention à la remarque que j’ai faite tout à l’heure. Je les mets dans quel ordre ?
(Elèves « Croissant »)
Croissant. (Elle écrit – ∞) Laquelle je mets en premier ?
(Elèves « -1/3 »)
-1 /3, elle est négative
Dès que vous mettez deux valeurs, vous partagez en 4.</td>
<td><table><tr><td> </td></tr><tr><td> </td></tr><tr><td> </td></tr><tr><td> </td></tr></table>
<table><tr><td>X</td></tr><tr><td>Signe de 2x-1</td></tr><tr><td>Signe de -1-3x</td></tr><tr><td>Signe de (2x-1)(-1-3x)</td></tr></table>
<table><tr><td>x</td><td>-∞</td><td>-1/3</td><td>½ +∞</td></tr><tr><td>Signe de 2x-1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Signe de -1-3x</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Signe de (.)(.)</td><td></td><td></td><td></td></tr></table></td>
<td><u>Proximité horizontale matérielle</u> et <u>méthodologique</u> : 4 lignes et rappel de la méthode sans référence explicite à A(x)B(x)

<u>Questions locales aux élèves</u> : ajout des racines, ordre,

Elle a écrit en silence - ∞. Elle écrit en silence ½ et + ∞
Elle trace en silence les lignes verticales en dessous des deux valeurs</td>
</tr>
<tr>
<td>

7’43

8’06</td>
<td>Donc ce tableau de signes on a mis deux valeurs, donc <u>faut pas se tromper</u> on va pas mettre des zéros partout, pour la première ligne on va remplir le signe de 2x-1, le signe de 2x-1 quelle valeur est-ce qu’on a trouvée quand on a résolu égal 0, (élève « ½ »)
Oui on a trouvé ½, donc le zéro sur cette ligne là c’est sous quelle valeur (un élève « ½ ») ½ <u>on se trompe pas</u>, cette ligne là c’est celle qui correspond à ma valeur ½, je mets mon zéro sous le ½ (elle l’écrit en même temps) donc 2x-1 que vaut a ? (un élève « deux ») donc après le zéro je mets un ? (un élève « plus ») Plus.
Avant le zéro, j’ai combien de cases ? (élève «deux ») deux pourquoi ? parce que comme j’ai</td>
<td><table><tr><td>x</td><td>-∞</td><td>-1/3</td><td>½ +∞</td></tr><tr><td>Signe de 2x-1</td><td>-</td><td>-</td><td>0 +</td></tr><tr><td>Signe de -1-3x</td><td></td><td></td><td></td></tr></table></td>
<td><u>Prévient d’une erreur possible</u> (mettre des zéros dans une seule ligne sous les deux racines)
elle montre le calcul au tableau

de nouveau <u>prévient de la même erreur</u> (« on se trompe pas »)

<u>Questions locales aux élèves :</u> signe de a, combien de cases avant le zéro, insiste deux fois –
<u>Signale</u> encore une fois qu’on met le même signe dans toutes les cases après</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>combiné deux tableaux en un j'ai fait pour le deuxième néanmoins avant zéro qu'est-ce qu'on met comme signe (élève « moins ») moins (elle écrit). Deux fois le signe – c'est pas gênant. *</td>
<td><table><tr><td>Signe de (.)(.)</td><td></td></tr></table></td>
<td>le 0.</td>
</tr>
<tr>
<td>8'36

9'57

10'2
1</td>
<td>La sonnerie retentit mais le professeur propose aux élèves de poursuivre quelques minutes. **
Pour cette ligne-là -1 -3x on a trouvé quelle valeur ? Quand on a résolu égal 0, on a trouvé-1/3, -1/3.
On a trouvé -1/3 (elle l'écrit)
Que vaut a dans -1 -3x ?
Oui -3 moins c'est négatif après le zéro je mets (élève « moins ») un moins. Comme il y a deux cases, je le mets deux fois. Dans la première case je mets donc un (élève « plus ») plus.
Ensuite dernière ligne dernière ligne bilan, on applique la règle des signes ; moins fois plus moins, moins fois moins plus, plus fois moins moins.
Et ce qu'on fait aussi, on dit qu'on descend les zéros, c'est-à-dire à tous les endroits où une expression s'annulait on rajoute un zéro.</td>
<td><table>
<tr><td>x</td><td>-∞</td><td>-1/3</td><td>½ +∞</td></tr>
<tr><td>Signe de $2x$-1</td><td>-</td><td>-</td><td>0 +</td></tr>
<tr><td>Signe de -1-3x</td><td>+</td><td>0 -</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Signe de (.)(.)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
<table>
<tr><td>x</td><td>-∞</td><td>-1/3</td><td>½ +∞</td></tr>
<tr><td>Signe de $2x$-1</td><td>-</td><td>-</td><td>0 +</td></tr>
<tr><td>Signe de -1-3x</td><td>+</td><td>0 -</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Signe de (.)(.)</td><td>-</td><td>0 +</td><td>0 +</td></tr>
</table></td>
<td>Idem pour l'autre ligne.
Les élèves participent (<u>Question locale aux élèves)</u>

<u>Proximité descendante</u> (on applique) : -3c'est négatif, après le zéro, comme il y a deux cases je le mets deux fois
<u>Annonce : dernière ligne et méthode</u>

<u>Annonce : on descend les zéros (</u>non justifié<u>)</u></td>
</tr>
</table>

*Elle n'arrive pas à écrire sur le TNI et la cloche sonne. Elle met deux signes moins autrement

**Elle dit qu'ils vont finir, en compensation pas de devoir pour les vacances…Quelques secondes de brouhaha !… Elle ajoute pour les faire taire : la caméra aussi, alors tu te tais…

Caractéristiques des déroulements

Nous avons relevé des questions aux élèves, mais pas de question d'élèves audible, des participations des élèves (réponses), des annonces (5) et des anticipations d'erreurs (deux fois la même), des éléments passés sous silence (implicites - 4), que l'étude du relief aide à repérer , une proximité horizontale locale (1), et des proximités descendantes (4) et ascendantes (2). Notons que l'enseignant est pressé par le temps.
Répétons qu'on peut hésiter entre proximité descendante et ascendante comme précédemment : comme il y a déjà eu le cours sur le signe des expressions du premier degré, l'allusion à ce résultat peut mettre en jeu aussi bien l'activité préliminaire que le cours. C'est le contexte qui nous a amenée à trancher.
Précisons.
Les élèves sont sollicités (et certains répondent) sur la règle des signes, la ligne du tableau associée à une seule expression affine, signe et zéros, et le remplissage des lignes 2 et 3 du tableau (« l'ancien donc »).

Restent implicites (cf. relief), et on remarquera les similitudes avec l'autre extrait : la question du vocabulaire, entre signes (+, -) et positif ou négatif (>0, <0) n'est pas abordée (mais peut-être pas problématique ?) ; la généricité de l'exemple et les variables éventuelles de la méthode (même si l'extension à plus de facteurs est évoquée à la fin, grâce à un élève) ; la justification qui permet de passer du signe d'un produit de nombres aux signes d'un produit d'expressions de signes constants sur un intervalle n'est pas esquissée, pas plus que la nécessité du détour qui permet de passer de la résolution d'une inéquation au tableau de signes correspondant (et retour).

Ce cours ne consiste qu'en l'exposé d'une méthode, juste énoncée en toute généralité, à partir d'un exemple résolu dans le cours. Le travail à partir de l'exemple résolu avant le cours et du début du cours permet des proximités ascendantes/descendantes selon le contexte et ce qui est évoqué. Essentiellement sur la règle des signes (rappelée, étendue à un produit d'expressions ou appliquée dans un tableau de signes), et sur les signes et les zéros d'une expression du premier degré (appelée ici fonction affine, vraisemblablement en référence à ce début de cours).

Les annonces portent sur ce qui est nouveau ou important localement (c'est une structuration locale) : on va présenter une méthode, on va utiliser un tableau de signes tel et tel, voilà la structure du tableau particulier, on va remplir le tableau, on doit abaisser les zéros.

En ce qui concerne les différences oral/écrit, il y a des éléments marqués au tableau sans aucun commentaire. Dans la résolution des équations (pour obtenir la nullité de chaque facteur) les équivalences sont systématiquement écrites mais restent passées sous silence. Sans problème ?
La ligne des *x*, si elle est complétée au tableau, ne semble pas considérée comme valant commentaire.

Même remarque sur « affine ». Que signifie « *générale* » pour les élèves ?

Ambiguïté entre la méthode et « on peut ».

d) Une capsule

Dans cette vidéo intitulée « Dresser un tableau de signes » d'une durée de 8'11, le professeur Yvan Monka est filmé au tableau. Il écrit sur un tableau blanc sans autre fond sonore (site Maths et tiques).

Cette vidéo s'inscrit dans une série de 13 capsules, sur équation et inéquation en seconde. Dans la série « inéquation », il y a une première capsule intitulée Résoudre une inéquation, en réalité il s'agit d'une inéquation du premier degré, suivie d'une capsule d'exercices sur le même titre, puis Dresser un tableau de signes, puis Résoudre une inéquation en étudiant le signe d'un produit, suivie d'une capsule d'exercices sur ce dernier thème. Viennent ensuite les inéquations quotients. La capsule que nous analysons s'inscrit donc dans un sous-ensemble de 5 à 7 capsules. Notons que chaque capsule hormis celles intitulées exercices présente un seul exercice, dont on comprend (mais toujours implicitement) qu'il est « générique ».

Durée : 8'11

Contenus

Méthode pour dresser un tableau de signes (pas pour résoudre une inéquation, pour trouver le signe d'une expression) sur un exemple donné d'emblée, sans commentaire sur sa portée (généralités).

Annonce de la recherche du signe de chaque facteur, présentation du tableau vide.

Recherche du signe de chaque facteur associée à la recherche de l'endroit où l'expression change de signe (sans références, sans justification). Résolution des deux équations associées aux facteurs pour trouver les « zéros » placés dans le tableau. On met aussi les zéros du produit.

On complète par les signes de chaque facteur : référence au graphique, à un « truc », à un essai (on admet que le signe est constant sur tout l'intervalle sans le dire).

On remplit la dernière ligne du tableau en appliquant la règle des signes et on traduit le résultat sur le signe du produit sur R avec des intervalles.

L'enseignant s'adresse aux élèves (virtuels) en les tutoyant. On le voit et on voit un tableau sur lequel s'affichent des éléments pré-écrits (cela gagne du temps !) ou sur lequel il écrit selon les moments. Il utilise des expressions familières (« faut pas rêver »). Quelques questions émaillent son discours sans qu'il laisse un temps de réflexion voire de réponse aux élèves (« Et bien la dernière ligne c'est quoi ? »). On étiquette encore sous le vocable « proximités » des phrases qui semblent avoir comme objectifs de rapprocher le discours tenu par l'enseignant des élèves, même absents.

	Oral	Ecrit	Remarques
45s	Bonjour, dans cette vidéo tu vas apprendre à dresser un tableau de signes d'une expression ; voilà l'expression avec laquelle tu vas travailler. L'objectif de l'exercice est, en gros, de savoir pour quelles valeurs de x « tout ça » (il montre) est positif, pour quelles valeurs de x tout ça est négatif. Comme ça brutalement ça paraît pas évident d'y répondre ; c'est pour ça en fait qu'on va faire ça en plusieurs étapes. On va d'abord déterminer pour quelles valeurs de x ce facteur là (*il montre 3x-9*) est positif, pour quelles valeurs de x ce facteur (1-2x) est positif ou négatif et on va obtenir l'ensemble grâce à la règle des signes. Et pour faire tout ça et pour simplifier la discussion, on va présenter ceci dans un tableau.	Dresser le tableau de signes de l'expression $(3x-9)(1-2x)$	Dans l'introduction, l'objectif et la méthode sont annoncés, sans préciser le rôle de l'exercice (implicite). Proximité horizontale générale : dresser le tableau de signes sert à savoir pour quelles valeurs tout ça est positif… Étapes annoncées : signe de chaque facteur et règle des signes, présentées dans un tableau (plus simple) – anticipation ? *On ne dit rien sur la nature des deux facteurs – la méthode proposée ne s'applique que pour des facteurs du premier degré. Comment procéder pour plus de deux facteurs ? Les variables seraient à préciser (implicites). Le professeur n'envisage pas d'autres méthodes (implicite).*
	Préparons ce tableau. Voilà notre tableau est prêt, il contient 4 lignes. La 1ère ligne ça sera pour les x ; c'est normal car la question est de savoir pour quelles valeurs de x cette expression est positive ou négative.		La taille du tableau peut poser problème aux élèves et n'est pas justifiée (donné d'emblée). Il remplit la première colonne en parlant. Le mot *normal* fait référence à la raison d'avoir

<table>
<tr>
<td></td>
<td>On a dit qu'on s'attaquera d'abord au 1er facteur c'est-à-dire $3x-9$ et on fera une étude sur cette ligne pour 3x-9 , puis ensuite le 2ème facteur donc $1-2x$pour en déduire le signe du tout c'est-à-dire $(3x-9)(1-2x)$.
Il remplit la colonne en même temps.
Voilà, on a donc complété la 1ère colonne, reste à savoir maintenant ce qu'on va mettre sur la 1ère ligne.</td>
<td><table><tr><td>x</td><td></td></tr><tr><td>3x-9</td><td></td></tr><tr><td>1-2x</td><td></td></tr><tr><td>(3x-9)(1-2x)</td><td></td></tr></table></td>
<td>cette ligne, ce serait plutôt logique…
L'ordre d'étude est re-précisé avec l'attribution de chaque ligne (proximité <u>horizontale locale</u>).
Le tableau est rempli par colonne, ce qui est artificiel au regard de la méthode (sauf pour la première).
On ne met pas « signe de» dans les lignes 2, 3, 4 de la première colonne…</td>
</tr>
<tr>
<td>1'35</td>
<td>Bien bon, « faut pas rêver » cette expression sera pas toujours positive ou toujours négative, elle va donc changer de signe !

Reste à savoir où elle va changer de signe. Et quand on saura où elle va changer de signe, et bien on pourra mettre les valeurs de x correspondantes. Eh bien cette expression va changer de signe là ou ce facteur là (il montre 3x-9) s'annule et là où ce facteur là (1-2x) s'annule.</td>
<td></td>
<td>Le changement de signe est introduit sans lien avec un argument mathématique : faut pas rêver !!! Et si c'était x^2+3 ?
Implicitement on peut penser à un contrat, si on fait étudier le signe c'est qu'il change…
La recherche du signe est remplacée par celle du changement de signe (et donc ne s'appliquerait pas si le signe est constant). L'enseignant affirme que le changement de signe a lieu là où le facteur s'annule sans précaution ni référence (par exemple parce que ce sont des expressions du premier degré) – <u>implicite</u> et se prive d'une proximité descendante. Et x^2 ?</td>
</tr>
<tr>
<td>2'</td>
<td>Pour le trouver, commençons par résoudre l'équation 3x-9=0 puis ensuite l'équation 1-2x=0 et de cette façon on saura là où ces deux expressions s'annulent.
3x-9=0 ça donne 3x=9 c'est-à-dire x=9/3 ou x=3 (il encadre le résultat)
1-2x=0 c'est-à-dire -2x=-1 x=-1/-2 c'est-à-dire x=1/2(il encadre le résultat)</td>
<td>$3x-9=0$ $1-2x=0$
$3x=9$ $-2x=-1$
$x=\frac{9}{3}$ $x=\frac{-1}{-2}$
$\boxed{x=3}$ $\boxed{x=\frac{1}{2}}$</td>
<td>Résoudre les équations donne l'endroit où ça s'annule : proximité <u>horizontale locale.</u></td>
</tr>
<tr>
<td>2'45</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>3'</td>
<td>Voilà, la 1ère expression s'annule en 3, la 2ème s'annule en ½ : on va les écrire dans l'ordre, c'est très important de les écrire dans l'ordre, sur la ligne des x. Donc dans l'ordre, la plus petite valeur est ½ , la plus grande est 3.La ligne des x est complétée. On va indiquer également les zéros.
Alors on a dit que 3x-9 égal à 0 lorsque x=3. Donc 3x-9 est égal à zéro lorsque x est égal à 3. Ici je mets un 0. On a dit que 1-2x est égal à 0 lorsque x est égal à ½. On a dit que 1-2x est égal à 0 lorsque x est égal à ½. Je mets ici un 0.</td>
<td><table><tr><td>x</td><td>½ 3</td></tr><tr><td>3x-9</td><td></td></tr><tr><td>1-2x</td><td></td></tr><tr><td>(..)(..)</td><td></td></tr></table>
<table><tr><td>x</td><td>½</td><td>3</td></tr><tr><td>3x-9</td><td></td><td>0</td></tr><tr><td>1-2x</td><td>0</td><td></td></tr><tr><td>(..)(..)</td><td></td><td></td></tr></table>
<table><tr><td>x</td><td>½</td><td>3</td></tr><tr><td>3x-9</td><td></td><td>0</td></tr><tr><td>1-2x</td><td>0</td><td></td></tr><tr><td>(..)(..)</td><td>0</td><td>0</td></tr></table></td>
<td>L'importance d'écrire en ordre (affirmation présentée comme une évidence) n'est pas justifiée (<u>implicite</u>). Quel est l'ordre choisi puisque $\pm\infty$ ne figurent pas encore sur la ligne des x ?

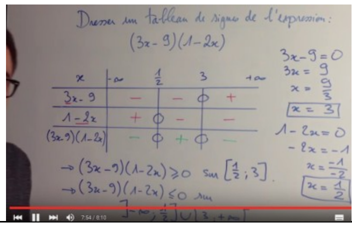
Les calculs sont très détaillés, les résultats répétés deux fois, le placement du zéro sous la racine est montré (ici).
Des traits verticaux sont tracés sans explication</td>
</tr>
<tr>
<td>3'41</td>
<td>Et bien sûr si jamais ça s'annule (il montre 3x-9), tout s'annule donc</td>
<td></td>
<td>Le théorème concernant la nullité d'un produit n'est pas rappelé mais utilisé (<u>implicite</u>).</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>lorsque 3x-9 est égal à 0 et bien tout s’annule (il met un 0 dans la 3^{ème} ligne sous 3). De la même manière si jamais ça s’annule (il montre 1-2x) tout s’annule. Donc là je peux aussi mettre un zéro en ½.</td>
<td></td>
<td>Le professeur se prive ici d’une proximité descendante (sauf bien sûr), et on ne sait pas à quoi ça sert ! Aucun lien n’est annoncé entre la recherche du signe de l’expression et la nullité.</td>
</tr>
<tr>
<td>3’57</td>
<td>Reste maintenant à compléter les signes qui sont ici.
Je sais que là j’ai un zéro donc là j’ai un changement de signe (il montre la 1^{ère} ligne) autrement dit, si ici elle est positive, là, elle devient négative. Si jamais, à l’inverse, ici elle est négative, là elle devient positive.
Bien, maintenant la question est : de quel signe est 3x-9 avant 0 ? Il y a différentes façons de le faire. Soit on peut revenir à la représentation graphique des fonctions affines, ce n’est pas forcément le plus simple, soit il y a un petit truc pour s’en rappeler, soit on peut faire un essai.
Alors le petit truc, pour s’en rappeler, et bien c’est déjà de regarder le coefficient qui est devant le x. Et bien le coefficient qui est devant le x ici c’est 3, il est positif. Bien, si le coefficient devant le x est positif, et bien on commence par un − , le contraire tout simplement ; c’est une méthode, elle vaut ce qu’elle vaut !
Ici j’ai également − , là elle s’annule, après j’ai plus.
Une autre méthode, et bien c’est de faire un essai ; je prends un nombre qui est avant le 3, là j’ai 3, ½, je vais prendre 0 par exemple, je vais prendre 0 et je vais regarder de quel signe est le résultat. Je remplace ; 3 fois zéro 0, moins 9 égal -9. Le résultat est négatif, ça confirme bien.</td>
<td><table>
<tr><td>x</td><td></td><td>½</td><td></td><td>3</td><td></td></tr>
<tr><td>3x-9</td><td>−</td><td>|</td><td>−</td><td>0</td><td>+</td></tr>
<tr><td>1-2x</td><td></td><td>0</td><td></td><td>|</td><td></td></tr>
<tr><td>(..)(..)</td><td></td><td>0</td><td></td><td>0</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>x</td><td></td><td>½</td><td></td><td>3</td><td></td></tr>
<tr><td>3x-9</td><td>−</td><td>|</td><td>−</td><td>0</td><td>+</td></tr>
<tr><td>1-2x</td><td>+</td><td>0</td><td>−</td><td>|</td><td>−</td></tr>
<tr><td>(..)(..)</td><td></td><td>0</td><td></td><td>0</td><td></td></tr>
</table></td>
<td>Retour aux signes dans chaque ligne.
Il explicite encore ce que veut dire changer de signe (proximité <u>horizontale locale</u>). Il restreint la question au signe avant le zéro. Mais il ne fait référence au fait que ce sont des connaissances anciennes (signe d’une expression du 1^{er} degré).
Plusieurs méthodes annoncées : graphique (sans amorce de proximité descendante), truc, essai.

Le truc est donné <u>sans aucune justification (gros implicite)</u>. C’est ce qui va être utilisé par la suite. Rien n’est dit sur le fait qu’on emplit les deux cases ne va pas de soi (implicite).
.

L’essai s’appuie sur le fait admis sans être précisé que l’expression garde un signe constant avant le zéro (<u>implicite</u>). Cette deuxième méthode est utilisée comme validation.
Le calcul est détaillé.</td>
</tr>
<tr>
<td>4’59</td>
<td>2^{ème} ligne : ici le coefficient devant le x est -2 : on a dit tout à l’heure avec notre petit truc que si le coefficient devant le x est moins, et bien on commence par un plus.Là ça s’annule donc ça change de signe moins, moins (il met les signes).</td>
<td><table>
<tr><td>x</td><td></td><td>½</td><td></td><td>3</td><td></td></tr>
<tr><td>3x-9</td><td>−</td><td>|</td><td>−</td><td>0</td><td>+</td></tr>
<tr><td>1-2x</td><td>+</td><td>0</td><td>−</td><td>|</td><td>−</td></tr>
<tr><td>(..)(..)</td><td>−</td><td>0</td><td>+</td><td>0</td><td>−</td></tr>
</table></td>
<td>Le professeur présente, pour la 2^{ème} ligne, les deux méthodes à l’identique.
Il indique que le coefficient est « moins » au lieu de « négatif ».</td>
</tr>
<tr>
<td>5’25</td>
<td>De la même manière on aurait pu faire un petit essai. Je prends une valeur qui est avant ½, par exemple 0. Je remplace 1-2fois 0 ça fait 1-0 donc 1. Ben 1 est positif. C’est bien ce qu’on a trouvé. Voilà.
Et la dernière ligne ? Et bien la dernière ligne c’est quoi ?
C’est le produit des deux lignes ici. Bien si c’est un produit, on peut donc</td>
<td></td>
<td>C’est une fausse question, sans aucun temps de réflexion.
L’expression « produit de deux</td>
</tr>
</table>

6’34	appliquer la règle des signes qui nous dit quoi, ben qui nous dit que + par - ça fait - , - par – ça fait plus , plus par - , - (il remplit la 3ème ligne.) On a terminé. On voit que notre expression (3*x*-9)(1-2*x*) (*il lit facteur*) est positive sur, alors elle est positive où ça ? Et bien elle est positive ici (il montre), là. Elle est positive donc pour quelles valeurs de x ? (il remonte à la première ligne). Sur ½, 3 ([1/2 ; 3]) d’accord ? Et (3*x*-9)(1-2*x*) est négative sur et bien elle est négative ici et ici c’est-à-dire ici c’est avant ½ donc alors on aurait pu l’écrire (il écrit $-\infty$ et $+\infty$ sur la 1ère ligne) et bien elle est négative sur l’intervalle qui va de $-\infty$ à ½ (]-∞ ; ½]) union cet intervalle-là 3 à +∞.([3 ;+ ∞[) Voilà, et cette séquence est terminée.	$(3x-9)(1-2x) \geq 0$ sur $\left[\frac{1}{2};3\right]$ et $(3x-9)(1-2x) \leq 0$ sur $\left]-\infty;\frac{1}{2}\right] \cup [3;\ +\infty[$	lignes » est ambiguë (facteur pas ligne !). *La règle des signes est généralisée à un produit d’expressions algébriques gardant un signe constant sur sur un intervalle sans explicitation ni justification ni exploration (<u>implicite</u>).* L’enseignant lit sur le tableau les signes et le traduit algébriquement. Le lien avec la représentation graphique d’une fonction du second degré (cité), qui aurait permis une autre vérification, n’est pas proposé. 

Caractéristiques du déroulement

Nous avons relevé des annonces (3), des éléments passés sous silence (implicites - 8), que l’étude du relief aide à repérer, des proximités horizontales, générales (2) – sur la méthode utilisée sur l’exemple, répétée en la précisant et locale (1) – sur l’équivalence entre s’annuler et changer de signe, et pas de proximités descendantes ni ascendantes.

Les implicites : ne sont pas abordées la question du vocabulaire, entre signes (+, -) et positif ou négatif (>0, <0) ; la généricité de l’exemple (quand ça s’applique) et les variables éventuelles de la méthode ; le fait que les facteurs soient du premier degré à l’appui de la relation entre signe et zéro, et comme justification de l’affectation des signes différents de part et d’autre du zéro ; la non-unicité de la méthode ; la justification qui permet de passer du signe d’un produit de nombres aux signes d’un produit d’expressions de signes constants sur un intervalle ; l’intérêt du détour qui permet de passer de la résolution d’une inéquation au tableau de signes correspondant (et retour) : c’est seulement « résolu » en actes, à la fin ; la justification de la nullité d’un produit ; la justification du « truc » ; la nécessité de remplir toutes les cases avant le zéro de la même façon ; l’adoption de l’ordre de gauche à droite sur la première ligne.
Tout se passe comme si il n’y avait pas besoin de justification effective concernant les choix éventuels de cette méthode, la recherche des signes d’une expression du premier degré, l’extension de la règle des signes, ce que la méthode permet de résoudre (ou pas)… En revanche les calculs sont très détaillés.

Les annonces portent sur ce qui est nouveau ou important localement (c'est une structuration locale) : on va présenter une méthode, on va utiliser un tableau de signes…

En ce qui concerne les différences oral/écrit, il y en a peu, le tableau est commenté sauf à la fin. la notation, de $+\infty$ à $-\infty$, est ajoutée à la fin. La résolution des équations écrite au tableau ne comporte pas de signe (équivalence) entre les trois lignes écrites.

Le mot normal est utilisé à la place de logique, il y a une expression familière : faut pas rêver… On parle d'expression affine (?).

Comparaison cours, capsule, (manuels pour les contenus)

La capsule est plus courte, mais il est difficile de se baser seulement sur cette capsule, qui peut être complétée par d'autres, de même que les cours étudiés peuvent être aussi complétés. Cela dit, le fait que certaines parties du cours s'affichent au tableau, ou sont pré-écrites « gagne du temps » (cf. cours n°2 et capsule).

Les trois cours portent sur le signe d'un produit (et pas directement sur résolution d'inéquations). La discussion sur la forme adéquate à choisir pour l'étude n'y figure donc pas (contrairement aux manuels).

Les contenus sont un peu plus réduits dans la capsule (par exemple seul l'exemple est donné d'emblée, la méthode générale n'est ni citée, comme dans le cours 1, ni a fortiori énoncée comme dans el cours 2), le vocabulaire utilisé est plus familier par moments, il y a beaucoup plus d'implicites dont certains qui mènent presque à des affirmations erronées par omission.

Selon les cours, la règle des signes est d'abord rappelée (éventuellement étendue aux intervalles) puis la méthode signalée ou l'inverse. Puis le travail détaillé est fait sur l'exemple (donné tout de suite ou pas). Le tracé du tableau vide est donné, plus ou moins rapidement, avec plus ou moins de commentaires. Puis on remplit ligne par ligne ou par colonne selon les cas. On aborde successivement le calcul des valeurs annulant chaque facteur, placées en ligne 1 – cela est ou non précédé d'un rappel de la nature de ces expressions du premier degré (fonctions ou expressions affines pour certains), les signes de chaque facteur – soit en reprenant un cours précédent, soit avec le « truc » (lignes 2 et 3) puis on utilise la règle des signes. En conclusion le résultat sur le signe est donné ou non avec des intervalles (l'enseignant qui ne le fait pas était très pressé par le temps, on peut supposer que ce sera repris).

La comparaison des temps dévolus par chaque enseignant aux différents segments du cours illustre très clairement des choix différents : l'auteur de la capsule privilégie nettement le remplissage du tableau (donnant lieu à calculs et détermination de signes). Dans les vrais cours en revanche, un certain temps est consacré aux généralités et à la règle des signes qui préside à la fabrication du tableau.

	Généralités (méthode)	Règle des signes	Exerci-ce généralités	Première colonne du tableau	Première ligne (avec résolution des deux équations)	Deuxième ligne	Troisième ligne	Quatrième ligne
Cours 1	2’ (II)	2’ (I)	(résolution séparée)1’ 43	Tableau 1’16	43’’	44’’	13’’	15’’
Cours 2	2’(I)	30’’ (II)	1’	1’	1’40 tableau	1’12	25’’	20’’
capsule	rien	5’’à la fin - besoin	45 ‘’ (I)	1’(II)	2 ‘(III)	1’25 (IV)	30’’(V)	30’’(VI)

Rappelons que dans les manuels, la méthode est exposée sur un exemple intitulé « activité » ou dans un exercice résolu après avoir étudié les tableaux de signes d’expressions du premier degré, où l’expression étudiée est un polynôme du second degré déjà factorisé.

Une fois éliminée la possibilité d’étude de la forme développée dans le premier manuel, dans les deux cas l’étude de la forme factorisée mène à l’étude du signe de chaque facteur dans deux tableaux distincts. On teste le signe du produit sur quelques valeurs puis on construit un seul tableau où on utilise implicitement la règle des signes dans le premier manuel, explicitement dans le second.

La conclusion est classique. f(x) est nul/positif/négatif pour … avec traduction sur intervalles et remarques sur leur écriture dans le second manuel. Le bilan porte au final sur la forme de f(x) la mieux adaptée à l’étude de son signe dans le premier manuel. Le tableau de signe n’est pas considéré comme un objet d’étude dans le cours.

On constate donc des différences avec les manuels – notamment dans les vrais cours où est développée une méthode, sur des exemples certes, et où la justification (admise) par la règle des signes est importante, même si c’est incomplet. La capsule se rapprocherait davantage des manuels, à ceci près que les détails du traitement n’y sont pas autant développés, loin s’en faut…

Déroulements

Une première différence flagrante (évidente dès le départ) est que, dans les deux vrais cours, en classe, il y a des phases où des élèves participent, mettant en jeu des connaissances plus ou moins anciennes (rappel sur la règle des signes, signe et calcul des racines des facteurs du premier degré). Dans le cours 1, cela permet même de lever des implicites. De plus les enseignants laissent un temps de recopiage, qui pourrait avoir un effet sur la mise en mémoire chez certains. Enfin un enseignant qui n’a pas eu le temps de finir peut reprendre au cours suivant, ce qui est évidemment plus difficile avec une capsule !

Tout cela (interventions de certains élèves, écriture de tous, retours) peut être favorable à l’établissement de ces relations entre connaissances anciennes et nouvelles, actuelles (associant ancien et nouveau) ou possibles (préparant les adaptations du nouveau), que nous supposons nécessaires pour l'acquisition des « pseudo-concepts » visés (ici la méthode).

Les proximités

On a trouvé les effectifs suivants : descendantes (5,4,0), ascendantes (5,2,0), horizontales générales (2,0,2) et locales (1,1,1).

Cela renforce le constat précédent, la capsule ne vise pas à rapprocher ancien et nouveau, ni à préparer (pointer) les adaptations du nouveau, ce qui est l'objet des premières proximités. En revanche les explications « à niveau de généralité égal » (horizontales) sont comparables entre les trois cours, et peu fréquentes. Elles sont relativement analogues qui plus est.

En ce qui concerne les implicites (8, 4, 7), on constate une certaine similitude, la capsule étant la forme de cours qui en présente le plus, alors que les élèves contribuent à en lever certains dans le cours 1. Ces implicites pourraient souvent donner lieu à des proximités horizontales, locales ou surtout globales (souvent des justifications manquantes).

En fait un certain nombre de ces éléments passés sous silence (plutôt locaux) sont liés à des activités qu'auront peut-être les élèves – et il se peut, qu'à l'instar de ce qui se passe dans le cours 1, l'enseignant ait l'occasion d'y revenir. Par exemple, concernant des sous-activités de traitement, la question du vocabulaire, entre signes (+, -) et positif ou négatif (>0, <0) ; l'adoption de l'ordre de gauche à droite sur la première ligne ; l'adaptation en contexte du fait que les facteurs soient du premier degré à l'appui de la relation entre signe et zéro, et comme justification de l'affectation des signes différents de part et d'autre du zéro (y compris le fait de remplir toutes les cases avant le zéro de la même façon) ; ainsi que la justification du « truc » . On conçoit même qu'il peut être plus utile d'expliciter ces éléments au fur et à mesure de leur « rencontre ».

Certains implicites sont liés à des sous-activités (à venir) d'organisation ou de reconnaissance des élèves (dont des choix) et il pourra être utile (nécessaire) d'y revenir selon les exercices proposés : la généricité de l'exemple (quand la méthode s'applique) et les variables éventuelles de la méthode (nature des facteurs), tout comme la non-unicité de la méthode, voire le travail préliminaire à faire pour s'y ramener (factoriser); l'intérêt du détour qui permet de passer de la résolution d'une inéquation au tableau de signes correspondant (et retour)(seulement « résolu » en actes, à la fin de deux des cours). La question qui se pose est celle de l'utilité de préparer ou non ce type de sous-activités, dont on a pu constater qu'elles sont souvent « différenciatrices » et différenciées selon les élèves. On a déjà souligné le fait que certains élèves peuvent entendre des généralités dont l'intérêt se révèlera plus tard, d'autres plus difficilement.

D'autres éléments enfin ne sont pas directement utiles à ces activités d'élèves – notamment la justification qui permet de passer du signe d'un produit de nombres aux signes d'un produit d'expressions de signes constants sur un intervalle, voire la justification (l'origine ?) de la règle des signes (ne serait-ce que pour signaler qu'on l'admet). Voire la justification de la nullité d'un produit et son intérêt ici. Cela pose la question des contenus des cours, et du choix d'y mettre des éléments de ce type, de surcroît non évaluables.

Les annonces sont gérées relativement de la même manière dans tous les cours, portant sur ce qui est nouveau ou important localement (c'est surtout une structuration locale) : on va présenter une méthode, on va utiliser un tableau de signes tel et tel, voilà la structure du tableau particulier, on va remplir le tableau, on va abaisser les zéros. Cependant il y a une différence importante entre les vrais cours et la capsule, en termes d'énoncé : la méthode générale n'est pas énoncée dans cette dernière (seulement évoquée par l'utilisation de « une expression »), contrairement à ce qui est fait dans les deux premiers cours. L'aspect générique de l'exemple est ainsi bien plus important dans la capsule.

Les différences oral/écrit sont moins marquées dans la capsule, sans doute est-ce lié au fait que l'enseignant n'improvise pas, et peut préparer ses commentaires (et son écrit). Cela n'entraîne pas d'enrichissement de cet écrit, qui finalement ressemble tout à fait aux autres, voire est moins « rigoureuse » (cf. équivalences). Le vocabulaire est relativement identique, avec quelques familiarités dans la capsule.

Quant à « l'impression globale », très subjective, on peut suggérer que dans la capsule l'enseignant a à cœur de montrer (oralement et par écrit) aux élèves « comment on fait », voire de leur montrer que c'est à leur portée. Dans les vrais cours, et peut-être grâce à la participation d'élèves, les enseignants abordent davantage les liens entre les connaissances (dans la mesure où ils connaissent parfaitement ce qui a été fait), voire certaines justifications. En revanche la préparation d'adaptations futures (sur des tâches non immédiates donnant lieu à des sous-activités dépassant le traitement), voire les justifications « inutiles » pour les activités des élèves ne sont pas abordées.

IV. 2 Une expérience en première année universitaire[11]

Contexte institutionnel

L'expérience de classe inversée décrite dans cette partie s'est déroulée en février 2015 à l'Université de Mons, en Belgique. Elle a été menée au tout début d'un cours de mathématiques pour des étudiants en informatique de première année universitaire. Précisons d'emblée que ces étudiants sont habitués au système « cours magistraux – TD » et ne sont pas du tout familiers avec la pratique de la classe inversée. En réalité, il s'agissait d'une première expérience de ce type de pédagogie à la fois pour l'enseignant et pour ses 31 étudiants.

Le chapitre visé dans l'expérience concerne les suites. Dans le cours « classique » (ainsi nommé dans toute la suite) que nous donnons depuis plusieurs années maintenant, ce chapitre démarre par la définition d'une suite numérique et la représentation graphique d'une telle suite. Ce sont ensuite les notions de croissance d'une suite puis celles de suite majorée/minorée/bornée qui sont étudiées. Il s'agit d'un chapitre peu volumineux. Environ trois heures y sont consacrées en cours magistral et six heures en travaux dirigés suivant les cours[12]. De plus, les suites ont été étudiées au lycée, ce n'est donc pas un chapitre dont le contenu est complètement nouveau pour les étudiants. C'est la partie « cours » qui nous intéresse ici. L'enseignant y introduit les définitions, donne des exemples et des contre-exemples pour toutes les notions et établit des liens entre celles-ci. Que ce soit dans les exemples ou dans les démonstrations, toutes les justifications s'appuient sur l'utilisation des définitions (ou leur négation), ce qui implique une utilisation constante des quantificateurs et des notions de logique que ces définitions contiennent. Ce sont sans doute ces aspects qui distinguent les activités mathématiques des étudiants de celles qu'ils ont pu réaliser au lycée sur ces mêmes notions. En effet, dans ce cours, comme dans tous les cours de mathématiques suivis par les étudiants depuis leur entrée à l'université, l'accent est mis sur la manipulation du symbolisme contenu dans les définitions et dans la rédaction des raisonnements. La production d'exemples et de contre-exemples constitue elle aussi une attente forte dans les cours et dans les évaluations. Ces compétences auxquelles les étudiants sont souvent confrontés pour la première fois en entrant à l'université sont reconnues dans de nombreuses recherches sur la transition secondaire-supérieur comme des sources de difficultés récurrentes. Toutefois, leur acquisition participe, selon nous, à la prise de sens des notions enseignées et à leur disponibilité dans des tâches complexes. Pour aider les étudiants à les développer, nous rappelons souvent nos exigences sous la forme de commentaires méta (porter une attention particulière sur la structure logique des énoncés, des erreurs à ne pas commettre, des retours sur les méthodes utilisées,…) et nous veillons à rédiger le cours au tableau avec la rigueur attendue dans les productions des étudiants. Cette pratique nous amène à avoir beaucoup d'échanges avec les étudiants pendant le cours, que ce soit pour préciser le vocabulaire qu'ils utilisent dans leurs questions ou pour appuyer sur l'importance de rédiger les raisonnements en explicitant les démarches et en citant les résultats utilisés ou encore sur l'utilisation omniprésente des quantificateurs. En ce sens, de nombreuses proximités horizontales liées à la nature du travail personnel attendu ainsi qu'à la motivation sont tentées par l'enseignant dans ce cours.

---

[11] Réalisé et rédigé par S. Bridoux

[12] En cours magistral, le titulaire du cours expose la partie théorique aux étudiants. Les TD sont assurés par un doctorant. Celui-ci propose des exercices et laisse travailler les étudiants seuls en passant auprès d'eux avant de donner la correction au tableau. Dans les deux modalités (cours et TD) tous les étudiants sont présents.

C'est avant tout en tant qu'enseignant que nous relatons l'expérience de classe inversée que nous avons nous même menée avec nos étudiants, même si nous porterons de temps en temps notre casquette de chercheur pour analyser plus finement la matériel proposé aux étudiants ainsi que certains phénomènes observés durant l'expérimentation.

Dans ce contexte, nous commençons par décrire l'organisation puis le déroulement de cette expérience. Nous en retirons ensuite quelques éléments partiels et très limités sur les apprentissages amorcés par les étudiants au terme de l'expérience par le biais d'un questionnaire. Nous mettons enfin en regard ces premiers éléments avec les apprentissages des étudiants au terme du cours « classique » sur le même sujet, donné cette année, en février 2016 donc, ce qui nous amène à discuter l'expérience.

L'expérience

Le matériel

Le matériel fourni aux étudiants est constitué d'une vidéo de cours provenant du site Exo 7[13] (https://www.youtube.com/watch?v=eKWRb_wLczo&index=1&list=PL20E5F69BB88FEDEE) et du polycopié correspondant (http://exo7.emath.fr/cours/ch_suites.pdf). La capsule s'intitule « Suites – partie 1 : définitions » et dure 7'54''. Dans le poly, les trois premières pages portent sur les notions que nous enseignons dans le cours « classique ». Le cours et le poly sont très proches, ils abordent les mêmes notions, présentent les mêmes définitions, propriétés et exemples. Il y a dans la capsule quelques commentaires supplémentaires par rapport au poly mais ceux-ci sont peu nombreux et restent oraux (pas écrits). Nous en donnons un exemple dans ce qui suit. Comme la capsule et le poly traitent peu d'exemples (nous reviendrons plus loin sur cet aspect), nous avons complété ce matériel en rédigeant nous même une liste d'exercices d'entrainement ainsi que leur correction, telle qu'elle serait attendue par l'enseignant en termes de rigueur mathématique. En fait, ces premières tâches, simples et immédiates, sont précisément des exemples que nous traitons habituellement dans le cours « classique ».

Il nous semble important de mettre en évidence, de notre point de vue d'enseignant, ce qui distingue ce matériel du cours que nous présentons habituellement en amphi. Une première différence est le temps « consacré » au chapitre du point de vue du matériel, nous y reviendrons : de l'ordre de 8 minutes pour la capsule pour environ trois heures de cours magistral.

Ce n'est évidemment pas la seule différence. Pour préciser notre propos, nous donnons deux illustrations, ce qui concerne la définition d'une suite, dans le poly, la capsule et le cours classique, puis sur deux exemples sur la croissance et le caractère majoré d'une suite.

Voici l'extrait du polycopié donnant la définition d'une suite.

[13] Ce choix tient au fait que ce site couvre de nombreux contenus enseignés à l'université et a de plus une certaine renommée.

1.1. Définition d'une suite

Définition 1

- Une ***suite*** est une application $u : \mathbb{N} \to \mathbb{R}$.
- Pour $n \in \mathbb{N}$, on note $u(n)$ par u_n et on l'appelle n-ème ***terme*** ou ***terme général*** de la suite.

La suite est notée u, ou plus souvent $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ ou simplement (u_n). Il arrive fréquemment que l'on considère des suites définies à partir d'un certain entier naturel n_0 plus grand que 0, on note alors $(u_n)_{n\geqslant n_0}$.

Exemple 1

- $(\sqrt{n})_{n\geqslant 0}$ est la suite de termes : $0, 1, \sqrt{2}, \sqrt{3}, \ldots$
- $((-1)^n)_{n\geqslant 0}$ est la suite qui alterne $+1, -1, +1, -1, \ldots$
- La suite $(S_n)_{n\geqslant 0}$ de l'introduction définie par $S_n = S \times (1,1)^n$,
- $(F_n)_{n\geqslant 0}$ définie par $F_0 = 1$, $F_1 = 1$ et la relation $F_{n+2} = F_{n+1} + F_n$ pour $n \in \mathbb{N}$ (suite de Fibonacci). Les premiers termes sont $1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, \ldots$ Chaque terme est la somme des deux précédents.
- $\left(\frac{1}{n^2}\right)_{n\geqslant 1}$. Les premiers termes sont $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}, \ldots$

Dans cet extrait, le cours commence par la définition[14]. Les notations et le vocabulaire sont également fixés pour une suite de domaine $\mathbb{N}$ et ensuite pour une suite définie à partir d'un certain entier naturel n_0. Les premiers exemples sont alors donnés. Remarquons qu'aucun lien n'est alors établi avec la définition en ce sens que le lecteur a à sa charge de comprendre en quoi ces exemples sont effectivement des applications de $\mathbb{N}$ dans $\mathbb{R}$ (ou de $\mathbb{N}^*$ dans $\mathbb{R}$ dans le dernier exemple). Aucune explication n'est donnée sur la manière de calculer les premiers termes de chaque suite.

Le cheminement adopté dans le poly consiste donc à donner la définition puis à présenter des exemples relatifs à la notion qui vient d'être introduite. Ce choix serait l'occasion de tenter une (des) proximité(s) descendante(s) éventuellement accompagnées de proximités horizontales locales. Toutefois, dans ce support écrit, le processus de contextualisation de la notion de suite aux premiers exemples n'est pas du tout explicité.

Dans la capsule, en revanche, la même définition est écrite et lue par l'enseignant. Rien n'est dit sur la notation $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ pourtant présentée dans le poly. Les exemples du poly sont alors traités. Des explications supplémentaires sont données à l'oral uniquement (elles ne sont pas écrites) sur la manière de calculer les premiers termes des suites. Mais rien n'est explicitement dit sur le fait que les exemples définissent effectivement des fonctions. Il y a donc dans la capsule des proximités descendantes possibles mais celles-ci restent locales et liées à des aspects calculatoires, sans expliciter comment les cas particuliers s'inscrivent dans le cas général.

Dans le cours « classique », enfin, notre choix d'introduction est différent et est clairement lié à la présence des étudiants. Cela se traduit par une longue introduction précédant et préparant la donnée de la définition. Profitant du fait qu'ils ont rencontré des suites au lycée ou dans d'autres cours à l'université (par exemple le cours de programmation, donné au premier semestre), nous demandons ainsi tout d'abord aux étudiants de donner eux-mêmes des exemples de suites. De

[14] En guise d'introduction, le poly présente très brièvement un exemple où il s'agit de construire le terme général d'une suite géométrique.

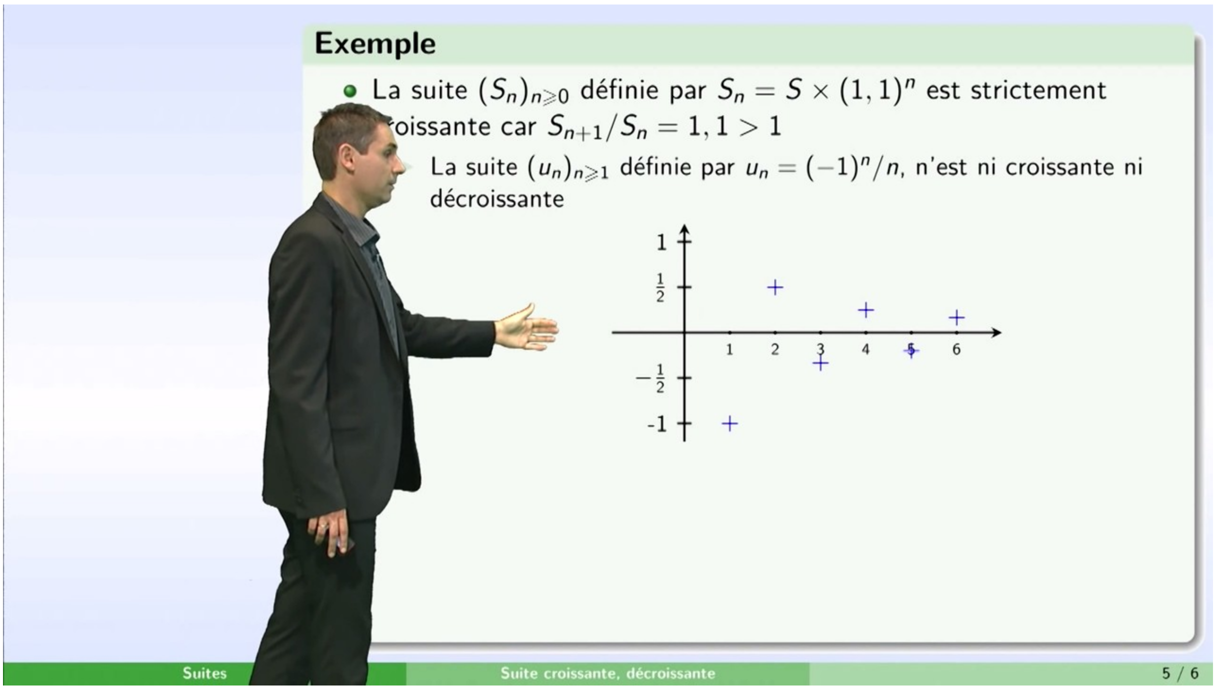
manière assez récurrente, les étudiants répondent à cette question en donnant les premiers termes de certaines suites telles que 0, 1, 2, 3,… ou $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \ldots$ Les premiers termes de la suite de Fibonacci sont aussi souvent donnés en exemple car cette suite est étudiée dans un des cours d'informatique. L'enseignant vient alors compléter cette liste avec d'autres exemples, comme des suites constantes, des suites arithmétiques ou géométriques, des suites dont le terme général contient des exposants ou des racines. En s'appuyant sur les exemples précédents qui sont majoritairement donnés en énumérant successivement les premiers termes, nous amenons petit à petit l'idée de numéroter chaque terme et de trouver une formule qui permet de calculer le terme correspondant à un indice donné. L'idée qu'une suite est en fait une fonction émerge donc assez naturellement ainsi que la question du domaine de ce type de fonction. La définition est alors construite avec les étudiants et est donnée de la manière suivante:

Une suite de nombres réels est une fonction de I dans $\mathbb{R}$ où $I = \{n \in \mathbb{N} : n \geq n^*\}$ pour un certain $n^* \in \mathbb{N}$. À un indice n on fait correspondre le terme x_n. On note la suite $(x_n)_{n \in I}$.

Après cette définition, l'enseignant propose quelques relations en guise d'exemples où il s'agit de déterminer si ce sont des suites, quel est leur domaine et d'en calculer, le cas échant, les premiers termes. Dans le cours « classique », l'enseignant s'appuie donc sur les connaissances « déjà-là » des étudiants pour formaliser la notion de suite. Ce cheminement est accompagné de tentatives de proximités ascendantes et de proximités horizontales dans le discours de l'enseignant.

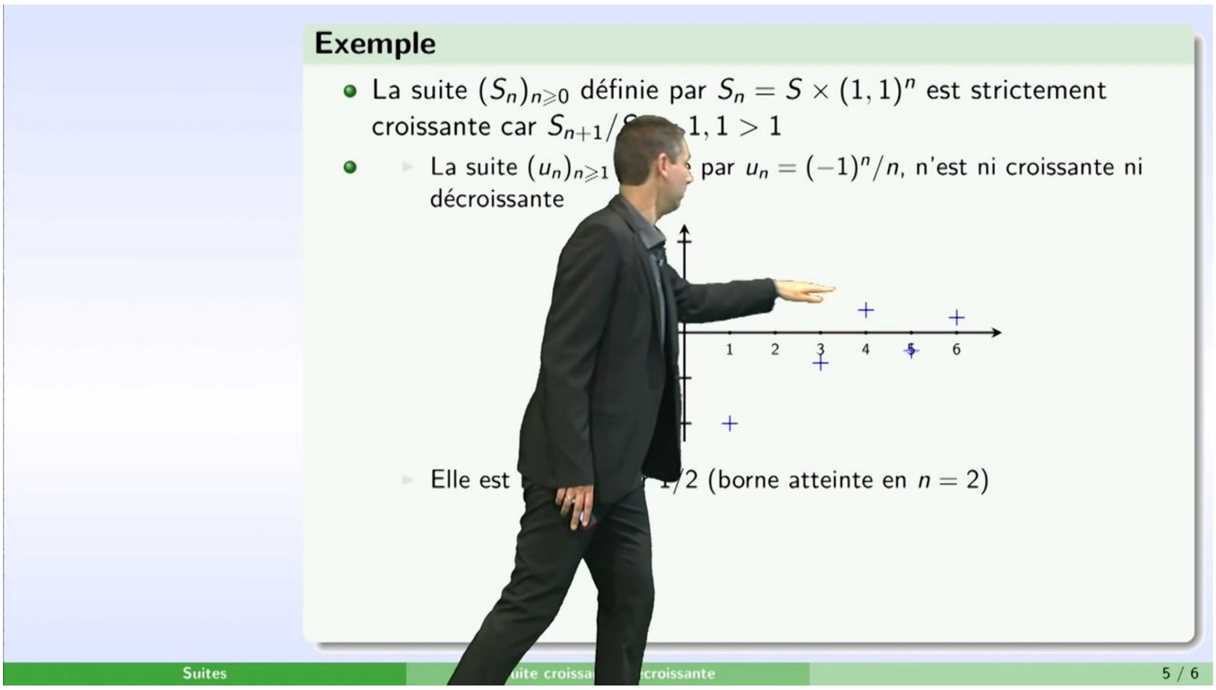
Comme nous l'avons expliqué, le poly (et la capsule) proposent une introduction plus brutale, sans appui sur des connaissances antérieures et un répertoire d'exemples plus pauvre. On voit bien que la manière dont ce matériel est utilisé est crucial : si le visionnement est fait après une introduction en cours magistral, cet appui peut être implicite…

Intéressons-nous maintenant aux justifications apportées dans les premiers exemples traités à partir de deux extraits de la vidéo portant sur la notion de croissance d'une suite et sur la notion de suite majorée. Le premier extrait dure environ 15 secondes. Nous l'avons retranscrit et nous en donnons également une capture d'écran.



Attention, une suite peut être ni croissante ni décroissante. Voici un exemple. On considère la suite de terme général -1 à la puissance n divisé par n pour n plus grand que 1. Elle n'est ni croissante ni décroissante (en même temps qu'il prononce cette dernière phrase, l'enseignant montre avec sa main le graphique représentant la suite mais son geste n'est selon nous pas suffisamment précis pour montrer quel endroit exact il faut regarder pour comprendre que la suite n'est ni croissante ni décroissante). C'est donc un argument de type « on voit sur le dessin » qui doit convaincre la personne qui visionne la capsule. Le formalisme (symbolisme) contenu dans la définition n'est ainsi pas utilisé pour justifier.

Dans l'extrait suivant qui dure environ 10 secondes, l'enseignant explique pourquoi cette même suite est majorée. Voici l'extrait et une capture d'écran.



Cette suite est majorée par $\frac{1}{2}$ (ici aussi, l'enseignant utilise un mouvement du bras pour représenter un pallier au-dessus des éléments de la suite), *borne qui en plus est atteinte par le terme* u_2. C'est de nouveau une observation graphique qui fait office de justification et ce choix d'exemple peut induire chez l'étudiant la conception qu'un majorant est un élément de la suite. Le fait qu'un majorant n'est pas unique n'est pas non plus souligné.

Dans le cours « classique », voici par exemple la justification donnée pour argumenter le fait que la suite $(x_n)_{n\in\mathbb{N}} = ((-1)^n)_{n\in\mathbb{N}}$ n'est pas croissante:

La suite n'est pas croissante car $\exists n \in \mathbb{N}, x_n > x_{n+1}$. *En effet, prenons n=2. Alors* $x_2 = (-1)^2 = 1$ *et* $x_3 = (-1)^3 = -1$. *Et 1>-1.*

Cette justification repose sur l'utilisation de la définition et de sa négation. C'est donc à partir du formalisme utilisé pour définir la notion que l'étudiant doit développer son raisonnement. Un argument graphique ou intuitif, comme dans la vidéo, ne sera pas accepté. Nos étudiants sont bien au courant de cette modalité. Dans le cours « classique » également, les dessins sont présentés par l'enseignant comme une aide pour développer les raisonnements et non pas comme un moyen de justification.

Bilan rapide

Ainsi le poly et la vidéo se limitent à la présentation des définitions et à quelques exemples simples. Il n'y a pas de commentaires explicatifs sur les notions introduites, comme par exemple sur le passage de la définition d'une notion au dessin qui l'illustre, ni sur la structure logique des définitions. On trouve très peu de justifications dans les exemples et celles qui sont fournies sont intuitives (« on voit sur le dessin ») au regard de la rigueur attendue dans nos cours. Peu de contre-exemples sont également donnés. Il n'y a pas non plus de liens entre les notions. En ce sens, il y a peu de tentatives de proximités, quelle que soit leur nature. Ainsi, des éléments spécifiques de l'activité mathématique à ce niveau d'enseignement comme établir des liens, donner des exemples, écrire rigoureusement un raisonnement, sont laissés à la charge de l'étudiant qui visionnera la capsule et/ou lira le polycopié.

Ces constats constituent des différences notables entre le cours « classique » et le matériel proposé aux étudiants. De notre point de vue, il est clair que le matériel fourni aux étudiants ne rencontre pas nos objectifs d'enseignant, notamment en ce qui concerne la rigueur attendue dans les justifications. Cependant, toutes les notions abordées dans le cours « classique » sont présentes dans le poly et la vidéo. De plus, ces manques pourraient être comblés par les étudiants qui sont bien au courant que ces aspects sont des attentes importantes dans le cours, nous pouvons donc faire l'hypothèse que l'habitude aidant, ils auront peut-être le réflexe d'approfondir le contenu du poly et de la vidéo. D'autre part, la liste des premiers exos donnée par l'enseignant est quant à elle rédigée avec la rigueur attendue dans le cours. En ce sens, le matériel fourni aux étudiants rencontre bien les objectifs de la pédagogie inversée.

Déroulement

Comme nous l'avons précédemment expliqué, cette expérience a été organisée au tout début d'un nouveau cours pour les étudiants, au second semestre. Une réunion a été planifiée par l'enseignant avec les étudiants. Il a tout d'abord donné quelques commentaires sur le cours qui démarre (contenus, mode d'évaluation,…). Il a ensuite expliqué que pour le premier chapitre du cours, les étudiants travailleraient seuls la partie théorique à partir d'un matériel mis à leur disposition sur la plateforme de cours en ligne. Un délai d'une semaine leur a été donné pour s'approprier le contenu du chapitre. Aucun commentaire sur la manière d'utiliser le matériel proposé n'a été donné par l'enseignant, estimant qu'au deuxième semestre de cours, les étudiants devaient être habitués aux exigences de l'enseignant et avoir développé une certaine autonomie dans le travail personnel. Il a également été spécifié aux étudiants que la séance prévue la semaine suivante serait un TD sur les notions visées.

En réalité, l'enseignant a prévu, lors de cette séance de TD, d'être présent[15] et de d'abord demander aux étudiants s'ils ont des questions sur le matériel qu'ils ont utilisé. Nous décrivons maintenant le déroulement de cette séance.

La première séance de TD

Nous analysons ici quelques phases du déroulement en classe de deux questions[16] posées par les étudiants au début de cette séance :

Question 1 : Je n'ai pas compris ce qu'est une suite constante. Pouvez-vous réexpliquer ?

Question 2 : Dans l'exercice où on montre que (n^2) n'est pas majorée, je n'ai pas compris ce qu'était une suite non majorée. Pouvez-vous réexpliquer ?

Il nous semble important de pointer le fait que les questions portent sur la liste des premiers exercices rédigés par l'enseignant. Aucune question n'a été posée sur le poly ou sur la vidéo. Pour chaque question, nous donnons tout d'abord la correction de l'exercice auquel elle se rapporte, telle

[15] Comme nous l'avons expliqué, le titulaire du cours n'est pas présent pendant les TD puisque ceux-ci sont assurés par un doctorant.
[16] Seulement trois questions ont été posées par l'ensemble des étudiants.

qu'elle est écrite dans le document rédigé par leur enseignant et donné aux étudiants au début de l'expérience. Nous commentons ensuite les échanges qui ont eu lieu entre l'enseignant et les étudiants pour apporter des éléments de réponse à chaque question.

Voici l'énoncé et la correction de l'exercice associé à la question 1:

<u>Énoncé</u> : Montrez qu'une suite constante est à la fois croissante et décroissante.

<u>Corrigé</u> : Une suite est constante si $\exists a \in \mathbb{R}, \forall n \in \mathbb{N}, x_n = a$. On a donc $(x_n)_{n\in\mathbb{N}} = (a)_{n\in\mathbb{N}}$. La suite est croissante (respectivement décroissante) car $\forall n \in \mathbb{N}, x_n \leq x_{n+1}$ (respectivement $x_n \geq x_{n+1}$) puisque $a \leq a$ (respectivement $a \geq a$).

En ce qui concerne la question 1, posée par plusieurs étudiants, c'est en fait la notation $(a)_{n\in\mathbb{N}}$ qui est source de difficultés. L'enseignant comprend que ces étudiants confondent « indice » et « élément de la suite ». Il revient donc à la notation utilisée dans le poly donné au début pour écrire une suite, à savoir $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ et la développe en écrivant les premiers termes : $u_0, u_1, u_2, \ldots$, ce qui n'est pas fait dans le poly ni dans la vidéo. Il revient ensuite à la définition d'une suite pour bien insister sur la distinction « indice-élément ».

En tant qu'enseignant, cet épisode nous amène à penser que les notations associées au concept clé du chapitre, à savoir les suites, ne sont pas installées chez un grand nombre d'étudiants et que l'aspect fonctionnel d'une suite pose des difficultés. Mais dans le déroulement, pour bien comprendre ce qui pose problème aux étudiants, nous revenons d'abord aux notations qui ont créé des difficultés puis à la définition, à l'inverse du cours « classique » où nous définissons d'abord l'objet « suite » avant d'y associer les notations. Tout se passe comme si de nouvelles proximités ascendantes étaient mises en œuvre.

Voici l'énoncé et le début du corrigé associés à la question 2 :

<u>Énoncé</u> : La suite (n^2) est-elle majorée ? Minorée ? Bornée ?

<u>Corrigé</u> : La suite (n^2) est minorée par 0 car c'est une suite positive. Elle n'est pas majorée, c'est-à-dire $\forall m \in \mathbb{R}, \exists n \in \mathbb{N}, n^2 > m$.

Pour la question 2, l'enseignant commence par demander aux étudiants ce qu'est une suite majorée avant d'aborder la négation de la définition correspondante. Pour ce faire, il demande aux étudiants de l'expliquer « avec leurs mots », il n'attend donc pas dans un premier temps la définition formelle mais bien la représentation intuitive que les étudiants ont pu se construire avec le matériel. Cette démarche est totalement différente du cours « classique » où l'enseignant part d'une caractérisation intuitive et montre que ce type de représentation est en général insuffisant pour justifier un argument. Cela montre aux étudiants la nécessité de formaliser le concept. Ici, le concept a été formalisé dans le poly et la vidéo et il faut revenir à une représentation intuitive. Cette représentation intuitive va amener l'enseignant à introduire la représentation graphique d'une suite, élément qui n'est pas introduit dans le poly et la vidéo alors que des suites y sont représentées graphiquement pour expliquer l'idée de pallier évoquée dans la vidéo. Là encore ce sont d'autres proximités qui sont actionnées…

De nouveau, l'enseignant reprend ici des éléments théoriques qui n'ont pas été construits par les étudiants en travaillant seuls. D'une certaine manière le temps consacré au cours est regagné ici, mais autrement…

Cette première partie de la séance a duré environ une heure. L'enseignant a ensuite proposé un exercice classique qui consiste à donner une liste de suites et à en demander le domaine et les premiers éléments. Les étudiants ont travaillé seuls pendant une quinzaine de minutes. L'enseignant s'engage alors dans la correction au tableau à partir d'un travail collaboratif avec les étudiants. Par un jeu de petites questions, il en profite pour aller un peu plus loin pour certaines suites en demandant si elles sont croissantes ou non, en évoquant des liens possibles entre la croissance et le caractère majoré d'une suite ou encore de produire d'autres exemples. Les questions de l'enseignant, bien que restant orales et pas écrites, provoquent des sous-activités chez les étudiants liées à la reconnaissance des définitions et à des mises en relation entre les notions.

Il est alors frappant pour l'enseignant de constater que les étudiants ne sont pas capables de produire d'autres exemples que ceux rencontrés dans le matériel et un nombre important d'étudiants pensent qu'une suite croissante ne peut pas être majorée. Des compléments sur le cours théorique sont de nouveau ajoutés ici par l'enseignant.

Ainsi, durant cette séance, des difficultés récurrentes et très peu présentes dans le cours « classique » sont repérées par l'enseignant : l'aspect fonctionnel des suites est absent chez un grand nombre d'étudiants, les notations ne sont pas du tout installées, le répertoire d'exemples que les étudiants se sont construits à partir du matériel est très pauvre et des conceptions erronées sont présentes chez beaucoup d'étudiants. De plus, l'enseignant a été amené à reprendre une grande partie du cours « classique » mais dans un ordre différent et en allant probablement moins loin dans les liens tissés habituellement puisqu'il s'agissait d'apporter des réponses précises aux questions des étudiants. Ce moment de cours « forcé » par les questions des étudiants a donc été complètement déstructuré par rapport au cours « classique ». Du point de vue de l'enseignant qui connait bien son public[17], d'autres constats viennent s'ajouter. Les étudiants semblent s'être concentrés sur la liste d'exercices[18], ils ne connaissent pas les définitions et celles qu'ils donnent lors de nos échanges sont en fait des représentations intuitives formulées dans la langue naturelle, le formalisme est absent ainsi que les quantificateurs (alors que les étudiants sont habitués aux exigences dans ce domaine). Au terme de cette séance, l'enseignant a le sentiment d'une étude très approximative de la part des étudiants, qu'il a complétée et reprise en mettant en jeu de nouvelles proximités. Elles émergent des questions/difficultés/conceptions erronées des étudiants, et donc introduites par l'enseignant sans qu'il les aient prévues (proximités ascendantes). Mais ces « erreurs » ou imprécisions à rectifier n'apparaissent pas, semble-t-il, d'habitude, traduisant notamment le fait que, selon nous, cette manière de procéder pour ce chapitre n'a pas du tout favorisé l'autonomie des étudiants. Ils semblent ne pas être allés au-delà de ce qui est écrit ou dit dans le matériel, contrairement à ce qui est favorisé dans le cours « classique » (trouver de nouveaux exemples, contre-exemples, utiliser les quantificateurs, tisser des liens…) par le discours de l'enseignant. Néanmoins, pour mieux comprendre ce que les étudiants ont acquis durant l'expérience, un questionnaire leur a été proposé au début de la séance suivante.

[17] Nous travaillons avec ces étudiants depuis le début de l'année, donc depuis six mois.

[18] Ce constat rejoint ce qui est dit par des élèves du lycée dans les questionnaires présentés à la section II, B.

Les apprentissages des étudiants

La durée du test proposé à l'issue de la reprise du cours et des exercices en TD est de 30 minutes. Le questionnaire, donné en complément à la fin de ce paragraphe, contient principalement des tâches d'entrainement : représenter graphiquement une suite, étudier la croissance d'une suite, donner une définition. Le questionnaire contient également une question portant sur les liens entre les notions. Ceux-ci ont été peu travaillés dans le cours visionné (ou lu) (contrairement au cours « classique ») mais, comme nous l'avons expliqué, la capacité à tisser des liens et à produire des exemples est une compétence attendue de l'enseignant et fait partie de la « philosophie » des cours de mathématiques suivis par les étudiants depuis leur entrée à l'université. C'est donc l'occasion de tester si ce réflexe est présent chez les étudiants lorsque cela n'est pas rappelé par l'enseignant. Nous présentons tout d'abord les résultats à cette question 2 dont voici l'énoncé :

Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ? Justifiez votre réponse.

- *Une suite peut être à la fois croissante et décroissante.*
- *Toute suite croissante n'est pas bornée.*
- *Toute suite minorée ne peut pas être décroissante.*
- *Il existe une suite qui est à la fois majorée par 1 et par 2.*
- *Toute suite minorée par 1 est aussi minorée par 2.*

Un premier constat est que beaucoup de définitions données par les étudiants dans leurs réponses sont erronées, souvent formulées de manière intuitive avec des mots du langage courant, et les quantificateurs en sont presque toujours absents. Nombreux sont aussi les étudiants qui confondent les expressions « à la fois croissante et décroissante » et « ni croissante ni décroissante ». La production d'exemples pose elle aussi des difficultés : plusieurs étudiants pensent que la suite $\left({}^{-1}/_{n}\right)_{n\geq 1}$est bornée par -1, que la suite $(n)_{n\in\mathbb{N}}$ est constante ou que la suite $(2^n)_{n\in\mathbb{N}}$ est bornée. Enfin, les justifications sont peu présentes et celles qui sont données ne sont pas complètes ou restent intuitives. Ces erreurs précises sont d'autant plus frappantes qu'elles ne sont, dans notre souvenir, jamais apparues dans le cours « classique ».

Regardons maintenant la question 3. Elle porte sur l'étude de la croissance de la suite $\left(\frac{3^n}{n!}\right)_{n\in\mathbb{N}}$ qui est une tâche très proche d'un exercice proposé dans la liste rédigée par l'enseignant. 93% des étudiants utilisent la méthode présentée dans ce document. Précisons que le poly et la vidéo ne donnent pas de commentaires pour étudier la croissance d'une suite quelconque à partir de la définition proposée. La méthode donnée par l'enseignant dans le document rédigé par lui consiste à développer l'inégalité $x_n \leq x_{n+1}$ pour arriver à une inégalité de la forme $n \leq \cdots$ et à se prononcer sur la véracité de celle-ci pour en déduire la croissance de la suite. 61% des étudiants donnent une conclusion correcte (la suite n'est ni croissante ni décroissante) mais rien n'est explicitement dit sur le lien entre la véracité de l'inégalité et le fait d'en déduire que la suite n'est ni croissante ni décroissante. Ce lien est pourtant fait dans le corrigé. Ainsi, que ce soit en classe inversée ou dans un cours « classique », nous constatons que l'explicitation des démarches et les justifications à apporter dans les raisonnements posent des difficultés aux étudiants.

Le questionnaire contenait également des questions plus générales pour mieux comprendre comment les étudiants ont travaillé avec le matériel qui leur a été fourni. Nous leur avons notamment demandé combien de temps ils ont passé sur chaque support (Question 5). La réponse majoritairement donnée est de l'ordre de 15 minutes (rappelons que la capsule dure environ 7 minutes). La question se pose donc de savoir si le travail se réduit à la simple écoute de la vidéo et si les étudiants ont pris des notes, d'autant qu'ils complètent souvent leur réponse avec des propos tels que « *j'ai lu deux fois le poly* » ou « *j'ai regardé deux fois la vidéo* ».

Nous avons également cherché à recueillir l'avis des étudiants sur ce mode d'enseignement. Nous leur avons donc demandé de dégager quels étaient selon eux les points positifs et les points négatifs de l'expérience (Question 6). Ainsi, pour les aspects positifs, 32% des étudiants ont apprécié de pouvoir apprendre par eux-mêmes, 42% y ont trouvé une liberté d'organisation que ne permet pas forcément le cours « classique ». Ils l'expriment par exemple sous la forme « on peut regarder la vidéo quand on veut » et 19% ont apprécié la possibilité de pouvoir revenir plusieurs fois sur un support. Ces étudiants estiment avoir mieux compris le cours en travaillant de cette manière. Il nous semble important de dire ici que ces réponses ont été apportées par les étudiants faibles, qui sont déjà en difficulté dans les autres cours de mathématiques, donnés au premier semestre et qui servent de base au cours visé dans cette expérience. Nous redoutons donc que cette manière de procéder leur a donné une vision erronée de la qualité et de la profondeur de leur compréhension du cours.

Les points négatifs qui ont été relevés par les étudiants dans cette expérience sont les suivants : 61% des étudiants regrettent le manque d'interaction avec l'enseignant car ils apprécient de pouvoir poser des questions et échanger avec celui-ci pendant le cours. 16% pensent que ce type de pédagogie fonctionnerait moins bien sur un sujet plus compliqué que celui choisi ici. Enfin, 19% des étudiants ont trouvé qu'ils étaient plus distraits que pendant le cours « classique ». Ils ont par exemple tendance à faire autre chose en même temps qu'ils visionnent la capsule. Il est frappant de remarquer que ces arguments sont précisément donnés par les bons étudiants.

Pour préciser encore ces premiers éléments qui ressortent de l'expérience, nous avons comparé les résultats obtenus à ce questionnaire avec ceux obtenus par les étudiants ayant suivi le cours « classique » cette année. Un questionnaire identique, à la fois dans sa forme et dans son déroulement, sauf pour les dernières appréciations (adaptées), leur a été proposé en février 2016, juste après la partie « cours magistral », dont le contenu a été présenté précédemment.

Le questionnaire réalisé en classe inversée avait mis en évidence des difficultés qui ne sont en général pas repérées dans le cours « classique » (nombre important de définitions erronées, production d'exemples incorrects,…). Nous n'avons effectivement pas retrouvé ces aspects en 2016. Les définitions sont majoritairement correctes et les notations sont mieux utilisées. En ce qui concerne les liens entre les notions (Question 2), les choix sur la véracité de chaque affirmation sont eux aussi corrects chez un grand nombre d'étudiants, nous avons également rencontré moins de conceptions erronées. Cependant, sur cette question, c'est le manque de justification qui est encore une fois une source de difficulté. Par exemple, pour l'affirmation « toute suite minorée par 1 est aussi minorée par 2 », voici le type de justification que nous avons trouvé: « *prenons la suite* $\left(1+\frac{1}{n}\right)_{n\in\mathbb{N}^{\geq 1}}$*. Elle est minorée par 1* (cette affirmation n'est pas justifiée) *mais pas par 2 car il y a des éléments inférieurs à 2 dans cette suite* (de nouveau, on n'a pas explicitement de tels éléments) ». Ainsi, que ce soit en pédagogie inversée ou dans un cours oral donné par un enseignant devant ses étudiants, la capacité des étudiants à justifier avec la rigueur attendue est une compétence qui n'est pas acquise et qui est sans doute le fruit d'un travail long et régulier, tant de la part de l'enseignant que des étudiants.

Le temps consacré à l'étude est également bien différent entre les deux modes d'enseignement : de l'ordre de 15 minutes déclarées sur le poly et la vidéo en classe inversée, ce qui correspond à regarder deux fois la vidéo, et de l'ordre de deux heures sur le cours « classique », ce qui correspond en fait à la durée du cours[19].

Conclusion

Nous avons volontairement embarqué nos étudiants dans cette expérience sans commenter le matériel donné et surtout sans donner d'indication sur la manière de l'utiliser et le temps à y consacrer. Le rôle de l'enseignant reste donc primordial, même dans le contexte de la classe inversée et ce, quel que soit le niveau d'enseignement. Le témoignage de L.A. (section II, A) semble d'ailleurs aller dans ce sens puisqu'il dit consacrer un certain temps (15 jours) à expliquer aux élèves comment visionner les capsules et un document explicatif est aussi à leur disposition. Cette expérience est aussi très limitée puisque nous nous sommes restreinte à analyser la partie « cours ». Nous ne pouvons donc pas savoir si certaines difficultés observées dans l'expérience auraient été surmontées par les étudiants durant les TD, en fonction des tâches proposées et des proximités développées.

Cela dit, cette première expérience « brute » de classe inversée met selon nous en évidence trois aspects négatifs concernant les apprentissages de nos étudiants. Le premier, déjà soulevé dans l'analyse du questionnaire, est l'apparition de difficultés qui ne sont pas présentes dans le cours « classique ». Nous pensons à la pauvreté du répertoire d'exemples que les étudiants se sont construits, à la production d'exemples erronés et au fait que les étudiants ne connaissaient pas leurs définitions. Nous avons ensuite été frappée par le peu de temps consacré à l'utilisation du matériel. Comme nous l'avons déjà dit, nos étudiants sont pourtant familiers avec les attentes de l'enseignant qui visent justement l'utilisation des définitions et l'importance de produire des exemples. Les commentaires de l'enseignant apportés dans le cours « classique » sur le travail personnel vont également dans le sens de passer un temps long sur un cours de mathématiques pour assimiler les notions enseignées. En l'absence de l'enseignant, notre sentiment est que les étudiants ont en quelque sorte zappé ces aspects importants de l'activité mathématique. Le dernier aspect frappant concerne cette apparente illusion qu'en classe inversée, tous les étudiants atteignent d'une certaine manière le même niveau. Le questionnaire a en effet montré que les bons étudiants ne se distinguent pas dans leurs résultats. Mais de notre point de vue, il s'agit d'une régression dans la conceptualisation de ces étudiants !

Bien évidemment, répétons-le, cette expérience a des limites évidentes qui amènent à minorer ces premiers constats négatifs.

Néanmoins, il est clair que la pédagogie inversée soulève la question difficile à étudier mais néanmoins cruciale de savoir quelle conceptualisation l'enseignant vise dans l'enseignement des mathématiques et du coup, quelles capsules choisir pour favoriser les apprentissages des élèves, et notamment sur quels contenus. L'expérience décrite ici, bien que très limitée, renforce également

[19] Au moment où le test a été proposé, deux heures de cours sur les trois que couvre le cours magistral ont été données, la dernière heure étant consacrée à terminer certaines démonstrations ou à aller plus loin dans les liens, les exemples,…

l'idée de la nécessité d'expliquer aux étudiants comment regarder ces capsules, comme le fait LA, voire même d'adopter des variations sur le moment de visionnement.

Complément : le questionnaire

Question 1

Représentez graphiquement la suite $\left(\frac{1}{n-3}\right)$.

Question 2

Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ? Justifiez votre réponse.

- Une suite peut être à la fois croissante et décroissante.
- Toute suite croissante n'est pas bornée.
- Toute suite minorée ne peut pas être décroissante.
- Il existe une suite qui est à la fois majorée par 1 et par 2.
- Toute suite minorée par 1 est aussi minorée par 2.

Question 3

Étudiez la croissance de la suite $\left(\frac{3^n}{n!}\right)$.

Question 4

Définissez « la suite $(x_n)_{n\in\mathbb{N}^{\geq 5}}$ est strictement décroissante ».

Question 5

Combien de temps avez-vous passé sur chaque type de support ?

Question 6

Donnez votre avis sur le mode d'enseignement choisi pour ce chapitre, c'est-à-dire étudier par soi-même à partir de différents supports proposés par l'enseignant. Veuillez mettre en évidence les points positifs et/ou négatifs de l'expérience.

En février 2016, dans le cours « classique », les questions 5 et 6 ont été remplacées par la question suivante : Combien de temps avez-vous passé sur le cours de Mathématiques pour l'Informatique 2 depuis le début du cours, c'est-à-dire depuis ce lundi 1er février 2016 ?

IV.3 Une expérience en géométrie en sixième : éléments de comparaison des pratiques d'une même enseignante en pédagogie inversée et en classe ordinaire[20]

Présentation du collège de notre expérimentation

L'équipe du collège de notre expérimentation a monté un projet afin d'améliorer l'intégration des enfants diagnostiqués à haut potentiel dans des classes ordinaires. C'est ainsi que dans deux classes de sixième une quinzaine d'élèves bénéficient de quelques aménagements de leur scolarité. Les deux classes de notre expérimentation sont constituées de 6 à 10 élèves à haut potentiel et d'élèves « ordinaires » ou avec d'autres besoins spécifiques (élèves « dys » et autres problématiques).

Les professeurs volontaires déclarent que pour enseigner dans ces classes ils modifient leurs pratiques pédagogiques : les aménagements réalisés le plus souvent affectent l'ensemble des élèves et ne sont pas nécessairement individuels. C'est ainsi qu'ils proposent plus de jeux de rôles en classe de Français, favorisent les travaux de groupes, mettent en place une classe mobile (avec tablettes). Dans cette dynamique, ces équipes et notamment les professeurs de mathématiques pensent que la pédagogie inversée est une éventuelle bonne alternative pour ces élèves EIP qu'ils décrivent comme très actifs. Ils expliquent que ces modifications de leurs pratiques sont bénéfiques pour l'ensemble de la classe : les résultats globaux ne sont pas meilleurs que d'autres classes mais la dynamique de classe et le climat de la classe sont évalués beaucoup plus favorablement dans ces deux classes[21].

Un ENT a été ouvert pour permettre aux professeurs de déposer leurs capsules et restreindre leur visionnage à leurs seuls élèves (seuls les élèves des classes de sixième concernés peuvent y accéder grâce à un mot de passe). De plus, le collège s'est doté d'une classe dite mobile (une tablette pour deux élèves).

Les capsules semblent être une bonne réponse à des nouvelles problématiques des professeurs : les élèves décrocheurs ou bien encore les élèves à besoins spécifiques mais aussi une bonne alternative pour dégager du temps en classe pour faire plus d'exercices.

Présentation de l'enseignante de notre expérimentation

Nous avons travaillé et échangé deux années de suite avec Elise, professeure de mathématiques dans deux classes de sixième. C'est une professeure expérimentée qui enseigne depuis une petite dizaine d'années. Lorsque nous l'avons rencontrée, Élise était sur le point de proposer sa première capsule, sa première classe inversée. Elle choisit le domaine de la géométrie pour commencer. Pour ce professeur, une capsule va être une bonne réponse pour montrer les différents gestes à faire pour tracer des droites parallèles, apprendre à utiliser un instrument comme le rapporteur. Elise explique par ailleurs son souhait que les élèves « manipulent plus », fassent plus d'exercices. Nous avons échangé avec elle la première année pour relever les raisons de ses motivations mais aussi les questions qu'elle se posait pour débuter en pédagogie inversée (cf. le témoignage en première partie). L'année (1) nous avons ainsi recueilli les questions et les difficultés qu'elle rencontrait pour ses premiers pas en pédagogie inversée. Elise nous a fourni les trois premières capsules réalisées (qui ne seront reprises que partiellement ensuite et que nous n'analysons pas ici).

La deuxième année nous avons mis au point une expérimentation auprès de ces deux classes de sixième. Les deux classes allaient aborder l'utilisation d'un nouvel instrument de géométrie : le rapporteur. La première classe allait le découvrir en visionnant une capsule (à la maison) tandis que l'autre classe allait découvrir, de manière plus ordinaire, en classe l'utilisation de cet instrument. A

[20] Observé et rédigé par C. Allard

[21] Nous rapportons ici les propos de quatre professeurs concernés (Mathématiques, Français, EPS, histoire géographie). Nous ne connaissons pas les critères pour évaluer la dynamique ou le climat de la classe.

cette occasion, les élèves devaient être confrontés à deux types de tâches : mesurer un angle et tracer un angle.
Il y a eu un problème de visionnement des capsules à la maison – du coup l'enseignante les a faites visionner en classe, sans intervenir… Nous avons donc eu accès à ce visionnement, ce qui constitue un intermédiaire avec ce qui se serait passé si tout avait bien marché. Cependant il serait imprudent de tirer de cette expérimentation partielle trop d'inférences, et notamment à partir des évaluations qui ont suivi, dont nous ne parlons pas ici si ce n'est à dire qu'elles n'indiquent pas de différences significatives.

Méthodologie et données.
Une observation rendait possible la comparaison des deux classes, de profils proches (d'après l'enseignante) et dont l'enseignement des mathématiques était assuré par le même professeur.
Comment comparer ? Ce sont les déroulements, associés aux contenus travaillés, qui nous intéressent au premier chef, dans la mesure où tout le reste est à peu près analogue (même enseignant, même niveau de classe, même thème, …).
Pour réaliser cette comparaison, nous avons donc filmé la classe O ordinaire (Sans Tablette) et la classe AT (Avec Tablette). Nous avons récupéré l'intégralité du cahier de cours, des exercices sur l'année et l'évaluation proposée sur l'utilisation du rapporteur.
Nous avons retranscrit l'ensemble des vidéos :
- deux séances de classe pour la classe ST
- une séance de classe pour la classe AT
- la vidéo des capsules (dont nous avons retranscrit le texte et capturé quelques images)
- les textes des capsules sur « mesurer » et « tracer » un angle à l'aide d'un rapporteur

Résultats
1) La classe sans tablette

Durée des séances et objectifs de l'enseignant
Elise propose 3 séances au moins sur l'utilisation du rapporteur. La première séance est consacrée à des notions sur les angles et à la présentation du rapporteur (le centre, la double graduation et la ligne de base qu'elle ne nomme pas, elle le désigne par un geste). La deuxième séance est consacrée à apprendre à mesurer avec un rapporteur et la troisième séance à tracer un angle d'une mesure donnée à l'aide du rapporteur. Nous avons pu analyser les vidéos des séances 2 et 3. .

Connaissances en jeu

Deux types de connaissances sont en jeu – des connaissances instrumentales, explicites, sur l'usage du rapporteur, pour mesurer et tracer un angle, et d'autres plus conceptuelles mais implicites. Il s'agit d'un approfondissement des connaissances sur les angles de demi-droites non orientés : nature, mesure en degrés, vocabulaire et notations. En fait cet approfondissement est en partie implicite et provient de l'apprentissage de l'usage d'un instrument (qui, lui, embarque ces connaissances !). Par exemple on sous-entend que tout angle a une mesure, qui ne dépend pas de sa position particulière ni de la longueur de ses côtés (c'est un invariant), ou encore que son nom peut varier… C'est l'usage de l'instrument qui met en acte ces implicites, par le placé du rapporteur et la lecture de la mesure, implicites que l'élève peut « adopter » lui aussi. On conçoit cependant l'importance du cours associé !
On peut constater que les fiches méthodes restent au niveau du procédural instrumenté : il s'agit d'une description de ce que l'élève a à faire avec l'instrument, à partir d'un angle « quelconque ».

Description du scénario (et éléments du déroulement prévu) des séances de la classe O
Ces deux séances durent environ 45 minutes chacune. Ces deux séances se découpent selon le même type de scénario, avec la même chronologie. Elise débute son cours en faisant de nombreux rappels sous la forme d'un cours dialogué. Elise mobilise ainsi les connaissances anciennes et articule avec les nouvelles.
C'est ainsi que lors de la séance 1, elle rappelle les noms des différents angles selon leurs *mesures « 90° c'est un angle droit, un angle plein c'est 360°… »*. La phase de rappel est suivie de la présentation de la partie plus nouvelle du cours « mesurer avec un rapporteur » ou « tracer un angle de mesure donnée ». Enfin les élèves ont à faire une série d'exercices, l'enseignante passe dans les rangs, discute avec les élèves lorsqu'elle s'aperçoit d'une erreur tant du côté des notations que de la mesure de l'angle ou encore de la tenue de l'instrument. Puis collectivement Elise corrige rapidement les exercices. Le cours d'Elise est un cours dialogué, nous notons que les interactions avec les élèves sont nombreuses, les sollicitations de Solène sont nombreuses. Finalement les expositions de connaissances mises sur la place publique et entendues (potentiellement) par tous sont assez nombreuses.
Nous avons « découpé » les séances en épisodes en tenant compte des éléments de connaissances produits (anciennes ou récentes). Nous avons déterminé 9 épisodes . Pour les trois premiers à titre d'exemple nous montrons les connaissances qui ont circulé en classe.
Les épisodes donnés ici sont ceux qui correspondent au scénario de la séance sur « mesurer un angle avec un rapporteur ». Pour la séance consacrée à « tracer » des angles, nous retrouvons les mêmes types d'épisodes, ce qui change ce sont les contenus des épisodes de rappel qui visent à articuler les connaissances anciennes et les nouvelles (c'est ainsi qu'Elise rappelle le nom des angles en fonction de leur mesure..).

1a. Rappel : caractériser un angle par rapport à sa mesure
- Un angle a un nom, son nom, c'est par rapport à son ouverture.
- 90° c'est un angle droit, 180° un angle plat, 0° un angle nul, un angle plein 360° de 0 à 90° un angle aigu, de 90 à 180), c'est un angle obtus, de 180 à 360, c'est un angle rentrant.
- Mesurer, ça veut dire qu'on utilise un rapporteur.
  Un rapporteur, c'est un instrument de mesure.

1b. Rappel : noter et nommer les angles
- On nomme un angle BCA avec un chapeau. *(Dessin de l'angle au tableau + écrit le chapeau).* Sans chapeau BCA est un triangle *(cache le chapeau)*
- Je peux déterminer la valeur exacte de cet angle en utilisant un rapporteur.

2. Estimer pour contrôler
- Avant d'effectuer la moindre mesure à l'aide du rapporteur, on peut déjà estimer s'il s'agit d'un angle aigu ou obtus pour avoir un ordre de grandeur.

3. Rappel : définir le centre en s'appuyant sur une description de l'artefact
- Le centre du rapporteur est à l'intersection de la verticale du 90° et de l'horizontale de 0° à 180°
- Sur le rapporteur, il y a une double-graduation

4a. Présenter et discuter les étapes de la fiche méthodologique avec un élève
4b. Présenter et discuter les étapes de la fiche avec un autre élève
5. Anticiper une difficulté (l'enseignante met en garde sur une difficulté liée à l'utilisation du rapporteur en relation avec la double-graduation présente sur certain rapporteur**)**
6. Réguler (double-graduation)
7. Mettre en activité (distribution de la fiche méthode et de la fiche d'exercices)

8. Réguler individuellement (l'enseignante passe dans les rangs et rectifie un geste, interroge sur la justesse d'une réponse)
9. Correction des exercices et régulations selon les erreurs des élèves

Lors de la séance 1 puis de la séance 2, Elise distribue deux fiches méthodes récapitulant les étapes à réaliser pour mesurer puis tracer un angle à l'aide du rapporteur (voir complément). Le texte de ces fiches (texte du savoir procédural a de l'importance puisque à l'oral Elise s'appuie dessus. Par exemple elle dit *« on fait coïncider le zéro degré du rapporteur avec un coté de l'angle »* et sur la fiche méthode on peut lire : *« faire coïncider le zéro degré avec l'un des côtés de l'angle. »*
Par ailleurs les élèves essaient de reprendre des éléments du vocabulaire lorsque l'enseignante les sollicite pour qu'ils explicitent la méthode qu'ils ont utilisée pour réaliser les exercices[22].

Études des proximités
Les connaissances travaillées et formulées le sont à suite des échanges entre élèves et avec l'enseignant. L'enseignante pose des questions puis reformule, par exemple :

> *Amélie : je mets le centre du rapporteur sur le sommet de l'angle*
> *Ens : alors on fait coïncider le centre du rapporteur avec le sommet de l'angle.*
> Il y a là une proximité très représentative de la manière dont l'enseignante procède : ainsi formulée, on peut reconnaître une proximité horizontale, sans changement de niveau de généralité, juste une reprise donnant lieu à un enrichissement langagier. Si, en revanche, l'enseignante avait ajouté quelque chose comme « dans ce cas-là, quand on « met » un point sur un autre, pour décrire mathématiquement ce qui se passe on utilise le mot « fait coïncider »… on aurait évoqué une proximité ascendante, car quelque chose de général aurait été avancé.

Le cours se déroule ainsi en instaurant un dialogue avec et entre les élèves, en précisant le langage à utiliser, les gestes à réaliser.
Ces deux séances vont permettre aux élèves de rencontrer de façon parfois implicite trois des aspects des angles[23] :

- Ouverture : une région de l'espace délimité par deux rayons partant du même point
- Angles fixes : coin d'une surface plane
- Rotation autour d'un axe simple.
-

Il y a deux séances de 45 minutes pour traiter les deux tâches (mesurer et tracer des angles). L'enseignante va répéter 3 fois intégralement le texte provenant de la fiche méthodologique au cours des échanges avec la classe. Ces répétitions sont produites à l'issue d'une discussion, du passage d'un élève au tableau, lors de la correction d'un exercice. Nous notons aussi des répétitions partielles (de la fiche méthodologique) lors des épisodes de régulations, elles ont alors pour objectif de rappeler l'élément qui semble faire défaut à l'élève qui sollicite l'enseignant.

2) Classe avec Tablette

Durée des séances et objectifs de l'enseignant

Les deux mêmes types de tâches (mesurer et tracer des angles) sont traités dans cette unique séance que nous avons filmée. Certains élèves n'ont pas pu avoir accès à la plateforme les jours précédents. L'enseignante profite du temps de « récréation » des élèves pour installer les tables en « îlots » et installer les capsules sur les tablettes. Cette difficulté matérielle nous offre l'opportunité de voir dans certaines conditions une utilisation de ces capsules lorsque les élèves découvrent les cours tout seuls. L'expérience de la classe inversée ayant échoué, l'enseignante est

[22] La fiche méthode (complément) est donnée avant la phase d'exercices.
[23] Nous empruntons à Mitchelmore et White (1998) la distinction des différents aspects des angles.

conduite à improviser une partie de son déroulement sur une séance écourtée (perte de temps pour charger les capsules sur les tablettes)

Description du scénario

Dans le scénario de la classe avec tablette nous retrouvons certains des épisodes de la classe sans tablette.

Il y a juste l'écoute de la tablette, il n'y a rien qui remplace les phases de rappels ou plutôt à la place ils écoutent le texte de la vidéo et se lancent ensuite dans les exercices.

Il n'y a pas de correction d'exos, puisqu'elle passe dans les rangs et valide (zéro collectif !).

Les élèves entrent dans la classe, attendent que les tablettes se chargent. Ils s'installent autour des îlots. Ils ont une tablette pour deux (et parfois un rapporteur pour deux).

4	**Présenter via la tablette les étapes de la fiche méthodologique** (capsule sur mesurer un angle à l'aide du rapporteur, puis la capsule sur tracer un angle à l'aide du rapporteur)
7	**Mettre en activité** (en laissant la liberté d'écouter les capsules puis de faire les exercices)
8	**Réguler individuellement** des erreurs des élèves ou des difficultés de manipulation du rapporteur

Utilisations de la capsule

Au début du cours les élèves écoutent (en apparence) et regardent la capsule. Plusieurs stratégies ont été relevées :

- Ecouter une fois et faire les exercices (stratégie minoritaire).
- Ecouter une fois, puis commencer les exercices, écouter la capsule, faire un arrêt sur image, observer les mains sur la capsule, faire comme dans la capsule (certains tournent leur feuille pour orienter les angles comme sur la capsule (par exemple sommet vers la gauche), puis poursuivre l'écoute et les exercices Ecouter plusieurs fois et faire les exercices. Les élèves sont en position de faire comme en ayant la possibilité de faire un arrêt sur image.

En moyenne les élèves ont écouté trois fois la capsule, certains l'ont écoutée 8 fois.
Une fois l'écoute terminée, ils font les exercices. Ils les terminent très rapidement car ils ont la possibilité de réécouter, revoir les gestes. Cette capsule sert alors de répétiteur.
Un élève, à ce sujet explique :

> Elève : en fait, quand en fait quand quand quand on travaille eh ben, on, on , la, passe en boucle, on met sur pause quand on met sur pause et quand on a besoin d'un truc, on, on met sur euh sur play, et après et après , eh ben on dit c'qu'il explique, enfin, on la repasse, on la repasse en boucle quand on ne comprend pas, comme ça on apprend comment y faut faire.

Exemple en classe :

> n°1 *Un élève explique à l'autre. Tablette verticale.*
> *Le rapporteur est placé (photo)*
> é1 : Tu continues le trait (*parcours)* et normalement, t'as l'angle (*parcours)*
> é2 : OK. *Il démarre la capsule.*

Tab : Pour mesurer l'angle xOy, il faut faire coïncider le centre du rapporteur et le sommet de O de l'angle.
é2 *arrête la capsule et place son rapporteur. Appuie sur play.*
Tab : Puis faire coïncider la graduation zéro degré avec l'un des côtés de l'angle
é2 *arrête la capsule et place son rapporteur, parcourt avec son doigt le long du rapporteur, il écrit « 40° », appuie sur play*
Tab : Enfin suivre les graduations de zéro degré, dix degrés (*pointage 0)* vingt degrés (*pointage 20)* jusqu'à rencontrer l'autre côté de l'angle (*pointage).* Il est parfois nécessaire de prolonger un côté pour pouvoir lire la mesure. x *(pointage)* O *(pointage)* y *(pointage)* mesure 70 (*écrit)* degré.
é2 *efface « 40° » et écrit cBa = 40°*

L'enseignante enchaîne donc et les élèves peuvent regarder et écouter la deuxième capsule selon les mêmes stratégies décrites pour la première capsule. (Le texte des capsules est en complément)
Cette différence dans la manière d'écouter le discours va dans le sens d'une apparente et efficace différentiation : les élèves avancent à leur rythme.
En revanche nous ne notons aucune reprise collective des erreurs possibles, des reformulations.
A ce sujet, une élève diagnostiquée EIP déclare :

Elève : « ça ne m'a pas trop plu car je n'aime pas faire les exercices en classe, je préfère les faire à la maison. En classe, on peut poser des questions pour approfondir pas seulement pour savoir si on a compris alors que l'ordinateur ne peut pas nous en dire plus.
Une heure à faire des exos c'est casse pied parce qu'au bout de 5, 6 exercices on a compris, enfin, j'ai compris… »

Nous notons là tout le paradoxe de la situation. Elise se lance dans la pédagogie inversée en espérant répondre aux besoins de ces élèves, et pour une des 10 élèves concernée le projet ne correspond pas (nous n'avons pas eu le droit de savoir quels étaient les autres élèves EIP donc nous n'avons pas pu les interroger). Les autres élèves (3 ou 4) que nous avons interrogés apprécient cette nouvelle organisation (est-ce le bénéfice de la nouveauté ?) qui leur donne le sentiment d'être autonomes, d'avancer à leur vitesse et d'oser faire répéter plusieurs fois (il est plus facile de faire répéter une capsule que de solliciter 8 fois un enseignant)

Difficultés
Dans l'exercice d'application proposé, les élèves doivent mesurer un angle noté sur la fiche d'exercice ($\widehat{ABC}$) alors que la capsule montre un angle $x\widehat{O}y$. Plusieurs élèves écrivent alors $a\widehat{B}c$ qui correspond au formalisme montré dans la tablette. Ils montrent alors qu'ils ne font pas de différence entre le point C et une direction c pour la demi-droite au niveau des notations. L'enseignante contrairement à la classe sans tablette ne corrige pas cette adaptation un peu malheureuse de la notation d'un angle. Dans la classe sans tablette, toutes les notations proposées étaient de la forme ($\widehat{ABC}$).

Dans un autre exercice sur « tracer » un élève regarde, stoppe et fait en même temps que la tablette. Il oriente le rapporteur comme celui de la tablette et ne change pas les notations (l'angle à tracer se nommait $\widehat{ABC}$).

Rapporteur : double graduation petites
Droite tracée
Tab : *écrit A, puis x*
é écrit A et x
Tab : Puis on utilise le rapporteur.

Il faut tout d'abord faire coïncider le centre du rapporteur et le sommet A de l'angle. Puis faire coïncider la graduation zéro et le côté Ax
é place le rapporteur, le pivote d'un demi-tour, place une marque à 25 degrés, arrête la tablette, emprunte une règle, trace de la marque au sommet A

Dans la capsule, le rapporteur utilisé a une double graduation, certains élèves ont des rapporteurs avec une simple graduation. En classe, cela pose quelques difficultés d'orientation de l'instrument qu'au cas par cas, Elise, quand elle s'en aperçoit peut régler. En revanche, la difficulté réglée n'est pas partagée avec la classe, ce qui réduit significativement le répertoire du nombre d'exemples, d'erreurs ou d'obstacles.

Nous nous posons alors la question suivante : comment un élève peut-il adapter l'usage de son instrument lorsqu'il est seul à la maison ou plutôt comment va-t-il faire le lien entre ce qu'il a compris chez lui et les exercices à faire en classe. Même pour l'apprentissage d'un instrument, il semblerait que la présence du professeur soit essentielle. C'est en classe également que les élèves peuvent se rendre compte de la diversité de cet instrument (présence ou non de la double graduation, présence ou non de la graduation sur la ligne de base, présence ou non du nom du centre….)

Les proximités

L'enseignante ne dit rien pendant le visionnage (qui était censé être fait à la maison). Ses seules interventions sont liées à des régulations (épisode 8) et par conséquent aux erreurs des élèves ou bien à leurs éventuelles sollicitations. Les élèves étant installés en groupe, dans un premier temps, sollicitent en premier lieu leurs camarades.
La séance filmée est courte et montre très peu d'interactions entre l'enseignante et les élèves. La plupart des échanges sont à l'initiative d'Elise comme ci-dessous. On notera que l'enseignante ne revient pas sur le fait que l'élève dit mesurer la distance entre les deux droites. Cela nous laisse penser que la conception de la mesure de l'angle n'est pas « aboutie » chez cet élève.
Dans ce dispositif de classe inversée, Elise semble ne plus s'autoriser à faire des corrections, à interagir avec les élèves, à faire des ajouts sur et autour du cours.

é *regarde la tablette, parle à sa voisine, tourne la tête (plutôt que la tablette car orientation différente de la tablette et de la feuille).* J'ai compris.
E : Alors montre moi comment tu fais maintenant.
é: Euh ben on place euh le zéro // *pointage du point O*
On place le p'tit rond // *pointage sur rapporteur*
Là-dess, euh à la pointe // *pointe O*
E : Alors le centre sur le sommet, le centre du rapporteur sur le sommet de l'angle
é: On met le zéro sur la ligne // *parcours de la ligne*
E : hm
é: Et puis après on mesure la distance entre les deux droites // *elle parcourt le long du rapporteur*
Et là, elle fait 25 ... degrés

Enfin Elise ne prévoit pas un temps de correction des exercices, elle passe dans les rangs et valide rapidement laissant parfois des erreurs.

Conclusion

Les conditions de visionnement des tablettes amènent à être très prudent sur l'interprétation de cette expérience. Cette expérimentation nous permet cependant de réfléchir aux besoins des élèves face à l'acquisition de procédures, qu'on peut visualiser, et à la répétition d'un geste, voire d'un cours. Si certains élèves n'ont besoin de ne voir qu'une fois les gestes (dans le cas des constructions géométriques) d'autres montrent que plusieurs visionnages est une aide. Nous pensons qu'il est raisonnable de penser que, pour d'autres techniques, le poids du nombre de répétitions (ou « revisionnements ») est aussi important.

Mais la question posée est celle de l'écoute, solitaire, d'un cours, dont on peut se demander si ça suffit pour apprendre, d'autant plus quand ce cours est réduit à quelques minutes, et même si ensuite l'enseignant centre les séances de classe sur la réalisation d'exercices (et quels exercices ?). Il restera toujours aux élèves à faire des adaptations (cf. difficultés), tout ne peut être montré dans le temps de la capsule, et les élèves n'ont pas anticipé quoique ce soit, ce qui les rend moins critiques… L'observation des élèves pendant le visionnage a révélé à ce sujet la question des prises de point de vue, les élèves orientant par exemple leur feuille ou leur instrument comme dans le film.

Nous comprenons également que les professeurs parfois las de répéter se tournent vers cette nouvelle forme de pédagogie d'autant plus qu'elle semble répondre à plusieurs injonctions comme, même si nous ne sommes pas sûrs que ce soit une solution qui répondrait à des besoins de différentiation :

- Respecter les rythmes d'apprentissage des élèves en apprenant toutefois à la même vitesse
- S'assurer que le cours a été lu (écouté)
- Utiliser les nouvelles technologies
- S'assurer que l'élève est en activité, manipule, pratique.

De plus, nous savons qu'être à l'aise avec une technique ne conduit pas nécessairement à construire le sens (cf. distance entre deux droites confondues avec la mesure de l'angle) : la question posée est celle de la dialectique nécessaire entre les techniques et ce qui les fonde, et du rôle des capsules à cet égard.

Paradoxalement, et l'élève EIP qui n'était pas satisfaite de cette expérimentation le souligne, la minoration des interactions entre élèves et professeurs (annulées pendant les visionnements) pourrait engendrer une réduction de la place de l'élève dans l'apprentissage : celui-ci ne participe plus, il exécute, au mieux il échange avec ses camarades autour d'une tâche simple et isolée.

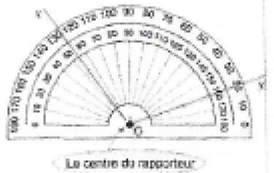
Il y a ainsi une réduction de la place du collectif dans le sens du partage, les élèves font bien les mêmes tâches, entendent bien le même discours, la classe inversée semble mettre les élèves les uns à côté des autres et non ensemble. L'institutionnalisation est externalisée elle n'est pas co construite, le travail de cohérence, de lien, entre les activités ne semble pas être fait.

Nous avons vu que dans certaines zones difficiles l'un des arguments présentés en faveur de ce type de dispositif est celui de « raccrocher les décrocheurs », de rendre plus attractif la « lecture du cours » qui semble être devenue une tâche « non porteuse d'apprentissage » pour les élèves. L'utilisation de ces courtes vidéos, est-elle une réponse à ce qui semble devenir si difficile à réaliser pour un professeur : exposer des connaissances ?

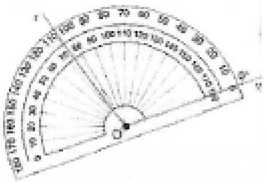
Mesurer un angle avec le rapporteur : Fiche méthode

Exemple. Mesurer l'angle $\widehat{xOy}$.

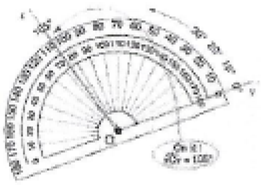
Étape 1 Faire coïncider le centre du rapporteur et le sommet O de l'angle.



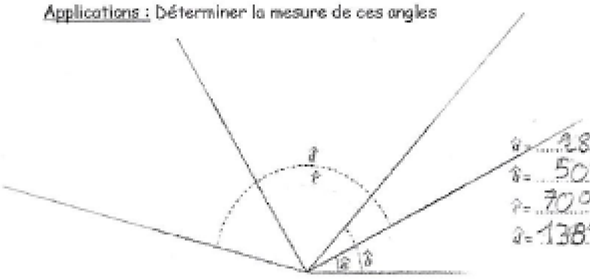
Étape 2 Faire coïncider la graduation 0° avec l'un des côtés de l'angle.



Étape 3 Suivre les graduations 0°, 10°, 20°… jusqu'à rencontrer l'autre côté de l'angle ; il est parfois nécessaire de prolonger un côté, pour pouvoir lire la mesure.



Applications : Déterminer la mesure de ces angles



$\hat{a}$ = 28°

$\hat{b}$ = 50°

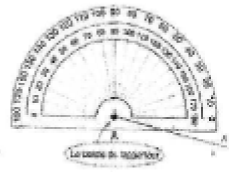
$\hat{c}$ = 70°

$\hat{d}$ = 138°

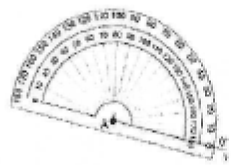
Tracer un angle d'une mesure donnée
Fiche méthode

Exemple. Tracer un angle $\widehat{xAz}$ de 58°.

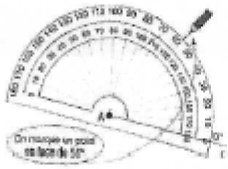
Étape 1 Tracer une demi-droite : [Ax) par exemple.
Faire coïncider le centre du rapporteur et le sommet A de l'angle.



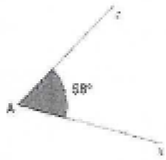
Étape 2 Faire coïncider la graduation 0° et le côté [Ax).



Étape 3 Suivre 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50° et marquer un point en face de 58°.

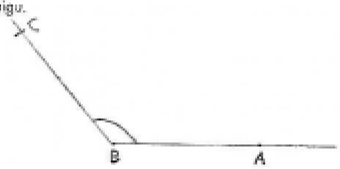


Étape 4 Relier ce point au point A, la demi-droite s'appelle [Az).
Un angle $\widehat{xAz}$ de 58° est tracé.

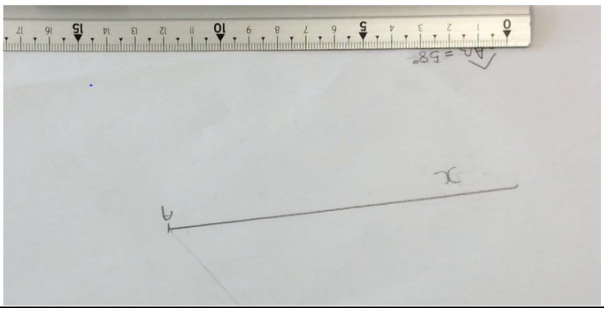


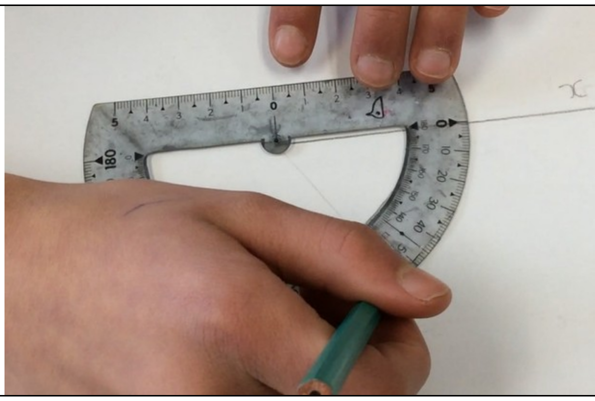
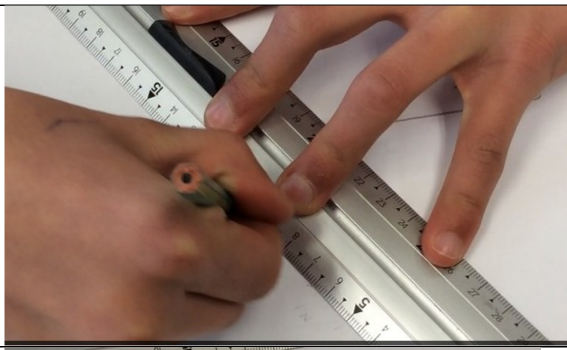
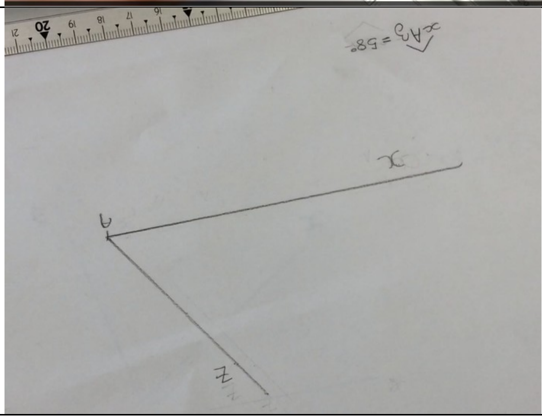
Étape 5 Contrôler.
58 < 90 donc $\widehat{xAz}$ est un angle aigu.
Le vérifier sur le dessin.

Applications : Tracer un angle $\widehat{ABC}$ de 130°



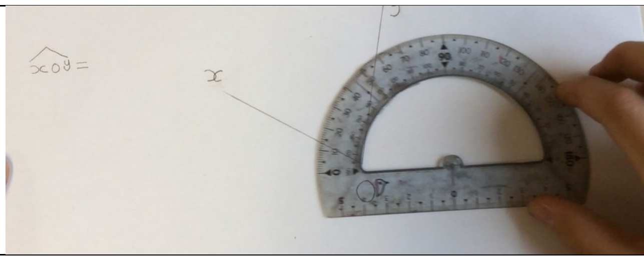
Textes des deux capsules utilisées en classe.
Capsule de 1 minute 23 secondes

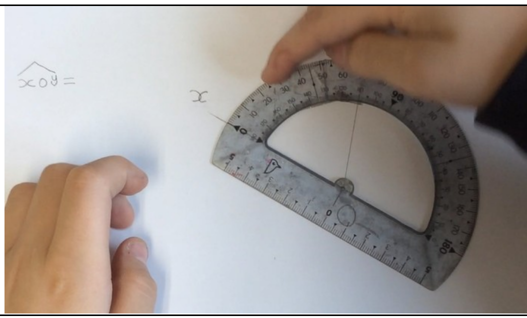
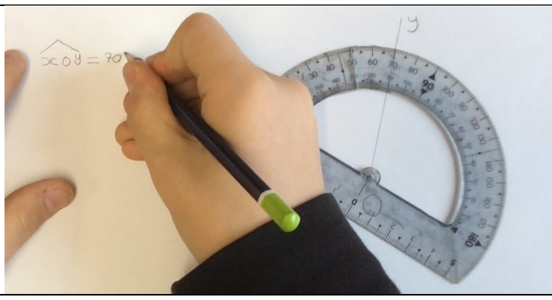
Tracer un angle d'une mesure donnée On souhaite tracer un angle xAz de 58 degrés (vidéo orientée face à l'élève)	
Pour cela il faut tracer une demi droite Ax	

Puis on utilise le rapporteur Il faut d'abord faire coïncider le centre du rapporteur et le sommet A de l'angle	
Puis faire coïncider la graduation zéro et le coté Ax	
Suivre zéro degré, dis degrés, vingt degrés, trente degrés, quarante degrés, cinquante degrés	
Relier ce point au point A La demi-droite s'appelle Az	
On peut vérifier le tracé en comparant l'angle formé à un angle droit Ici il s'agit bien d'un angle aigu	

Capsule 2

Durée : 37 secondes

Pour mesurer l'angle xOy Il faut faire coïncider le centre du rapporteur et le sommet de O de l'angle	

Puis faire coïncider la graduation zéro degré avec l’un des côtés de l’angle	
Enfin suivre les graduations de zéro degré, dix degrés vingt degrés jusqu’à rencontrer l’autre côté de l’angle	
Il est parfois nécessaire de prolonger un côté pour pouvoir lire la mesure	
xOy mesure 70 degrés.	

IV.4 Exemples de capsules de construction en sixième

a) Il y a des capsules de construction à ce niveau sur plusieurs sites, par exemple sur le site de l'**académie de Paris,** rubrique *classe inversée en 6ème (4). Les capsules sont accompagnées d'exemples de questionnaires de fin de visionnement, d'un film tourné en classe et de commentaires de* Mireille de Montlaure, *où elle explique comment elle utilise la première capsule en classe et commente « on se libère de tous ceux qui comprennent vite ». On voit aussi une élève qui n'avait pas visionné la capsule avant la séance, elle va au CDI la voir, revient, fait le tracé et se trompe, en tentant de reproduire, peut-être sans comprendre.*

Voici la liste de ces vidéos, données sans lien avec le reste, montrant un tableau blanc, avec les tracés et instruments, qui sont vus dans leur utilisation (cf. gestes) – sans professeur, et avec quelques commentaires entendus. *En fait il s'agit de montrer les tracés, faits pas à pas.* Aucune question n'est posée (ni avant, ni pendant). Pas d'introduction ni de conclusion. Il n'y a *aucune discussion, par exemple sur des cas particuliers, ni a fortirori démonstration, ni même justification un peu générale, la question de la preuve n'est pas soulevée. Tout se passe comme si on restait dans le domaine de la géométrie visuelle, avec mesures –géométrie I)….*

1. Construction du centre d'un cercle donné (instrumentpoche) (2'58)

Les prérequis semblent être : connaître la médiatrice d'un segment et sa construction au compas, ainsi qu'un certain vocabulaire sur le cercle.

2. Mesurer un angle avec un rapporteur

3. Construction du symétrique d'un triangle : sans son, très rapide…

4. bissectrice d'un angle (tracé)

b) le site Maths et Tiques : **CONSTRUIRE DEUX DROITES PERPENDICULAIRES**

Il s'agit de la première des 5 vidéos du site Maths et Tiques concernant les parallèles et perpendiculaires, les deux premières étant des constructions. Les capsules suivantes sont plus « théoriques », mettant en jeu des propriétés géométriques rappelées, voire des démonstrations (même si le mot n'y est pas).

Au fur et à mesure qu'on entre dans le site, le titre change (subrepticement) : il devient « construire une droite perpendiculaire à une autre droite et passant par un point donné (avec une équerre) ». Puis l'enseignant qui apparait sur la vidéo déclare : « *tu vas apprendre à construire la perpendiculaire à une droite passant par un point ».*

Les passages de « une » à « la », d'une formulation symétrique (deux droites perpendiculaires) à une formule dissymétrique (une droite perpendiculaire à une autre), l'introduction d'une donnée supplémentaire (le point), de construire à tracer sont réalisés (en acte), sans commentaires. On pourrait ajouter qu'il n'y a aucun doute à avoir, il n'y a qu'une telle droite et construire veut dire tracer (équivalent).

Le titre pourrait être : apprendre à utiliser l'équerre pour tracer la droite perpendiculaire à une autre passant par un point donné

Il s'agit pour l'élève d'imiter un tracé détaillé et commenté au fur et à mesure de sa réalisation visible au tableau. C'est un tracé effectif, outillé par l'équerre, décrite matériellement.

Droite et point initiaux sont pré tracés (apparaissent au tableau), *codés (d) et A*, mais on n'en parle pas, et on ne précise pas que le point A est « en dehors » de la droite. On ne précise donc pas ce que veut dire « donné » (c'est seulement en acte, on voit qu'n s'est donné un point et une droite)… Le nom (d) ne sera pas utilisé tout de suite, on parle en revanche tout de suite du point A. La nouvelle droite n'aura pas de nom…

On évoque d'abord le fait d'imaginer la droite perpendiculaire (?) : avec un geste répété, sur le tableau (et au niveau du coude). On ne la trace pas encore mais on la montre… Phrase pas très claire (on aurait pu penser à une animation virtuelle ?).

Puis des étapes sont explicitées : première, deuxième…

Les mots utilisés sont techniques : <u>première étape</u>, *on pose l'équerre contre la droite* (on ne dit pas le côté de l'angle droit de l'équerre – on joue donc sur l'imitation non explicitée !). *Ains*i, dit l'enseignant, *on est assuré d'avoir une droite perpendiculaire* : pourquoi donc ?

Puis l'enseignant insiste sur la <u>deuxième </u>condition : passer par A. *On fait glisser l'équerre contre la droite (d) jusqu'à ce qu'on touche le point A.*

L'enseignant insiste sur les difficultés matérielles (sous-entendu normales) *: bien reposer contre (d) et A…Il faut être parfaitement aligné contre (d) et contre A.*

<u>Il </u>passe au tracé

<u>Troisième étape</u> : *on trace un petit bout de droite perpendiculaire puis on va prolonger*. Il insiste sur l'endroit où « s'arrêter » et où reprendre (pointe du crayon, ajuster…).

Finalement, rien n'est dit sur l'approximation du dessin, au contraire on insiste sur le fait d'être bien aligné avec l'équerre… En revanche l'enseignant a insisté sur les difficultés matérielles de réalisation.

Il n'y a aucune justification, même a posteriori, ni a fortiori discussion, ni alternative…

Aucune définition n'est rappelée, le mot angle droit est prononcé seulement la première fois à propos de l'équerre : il s'agit de repérer l'angle droit de l'équerre : il est d'ailleurs montré avec le doigt, sans plus, sans évoquer les deux côtés de l'angle droit de l'équerre – qui sont à la base de la construction (à reconstituer sur le papier) ou le côté hypoténuse de l'équerre (le symbole graphique de l'angle droit sera dessiné à la toute fin de la construction). Le fait que des droites perpendiculaires forment un angle droit (qu'on peut interpréter comme un changement de point de vue non immédiat) n'est ainsi rappelé qu'à la toute fin : *on n'oublie pas de marquer le symbole puisque deux droites perpendiculaires forment un angle droit.*

Cette capsule est suivie d'une deuxième, très analogue, même si le tracé est plus compliqué : **CONSTRUIRE DEUX DROITES PARALLELES,** en réalité il s'agit de tracer **une** droite parallèle à une autre droite donnée passant par un point donné.

c) rapide bilan

En fait ce sont des techniques matérielles qui sont montrées sur ces capsules, des tracés effectifs avec instrument, commentés au fur et à mesure du tracé par le détail des actions matérielles réalisées, en répétant et en insistant sur les difficultés matérielles éventuelles.

On ne situe pas la vidéo par rapport à un cours – il n'est pas question de rappeler les définitions utilisées, ni d'évoquer de justification. On se fonde exclusivement et de façon très lourde sur le tracé, sur le « vu ». On ne dit pas que c'est approximatif… Plus généralement on note une confiance totale à la figure – non distinguée du tracé (sans le dire

On reste en géométrie I mais sans expliciter le contrat dans lequel on se place. Il n'y a pas d'interactions simulées (sauf le tutoiement et quelques fausses questions dans le deuxième site).

Cependant, et en intégrant les conditions d'utilisation de ces vidéos, certaines capsules peuvent aider les élèves à tracer effectivement avec l'instrument étudié dont ils voient l'utilisation. Cela peut constituer une valeur ajoutée, évitant des répétitions du professeur, montrant au tableau des gestes qu'il faut faire horizontalement (avec des objets gradués différemment par exemple). Cela permet de faire des arrêts sur image... On a vu des extraits d'élèves de sixième qui le disent bien.

V. Retour sur les capsules, perspectives

Il y a des grandes diversités, non seulement entre capsules mais encore selon les thèmes et même selon les sites. Sur certains sites accessibles à tout le monde, avec beaucoup de capsules, ce n'est pas le premier cours sur une notion ou une méthode qui est présenté mais plutôt une application, un exercice type résolu, une méthode ou une construction. D'autres capsules sont « privées » et nous n'y avons pas eu accès.

Nous avons déjà évoqué par ailleurs la diversité des usages que nous ne connaissons pas non plus, hors le témoignage du premier paragraphe.

Ce que nous pouvons indiquer ici est donc très partiel, en référence à la diversité des contenus des capsules et des utilisations, même si nous avons essayé de réfléchir à certaines récurrences.

1) Quelques remarques sur les contenus, sans tenir compte des conditions d'utilisation ni des élèves

Souvent la capsule n'est pas située précisément par rapport à un scenario (pas d'introduction, rien sur les acquis antérieurs supposés, pas toujours de conclusion ou de bilan dépassant le contenu strict présenté) – cela donne des produits chacun très isolé, découpé ; cela permet sans doute plusieurs utilisations mais quid de la mémoire d'une classe ? Quelle hiérarchisation entre divers savoirs peut s'esquisser ?

En extrapolant nos constats limités, mais récurrents, on peut suggérer que le temps gagné par le fait que la capsule doit être très courte, très abordable par un élève seul, est lié à une certaine réduction de ce qui est général, non directement lié à des activités d'élèves, lesquelles sont en revanche bien détaillées. Ainsi peut-on deviner que souvent le « statut » des affirmations n'est pas précisé (on entendra « on sait que… » mais d'où ça vient ? Admis, démontré, …? ce n'est pas repris) – voire il n'y a pas beaucoup (voire pas) de justifications qui ne servent pas directement à l'utilisation de ce qui est en jeu. Il y a peu de commentaires méta généraux (ou de proximités horizontales générales).

On montre, on répète… on détaille les petits calculs ou tracés simples que l'élève aura à refaire (*x^2 c'est x fois x, on remplace x par…, voilà comment on place un point d'abscisse et d'ordonnée données),* mais les fondements du travail ne sont pas toujours dégagés explicitement. Souvent il n'y a pas de questions préliminaires générales (même non posées aux élèves) pouvant éclairer ce qui est en jeu, ni d'alternatives (même si elles existent).

Ce qui est écrit au tableau (plus ou moins préparé à l'avance) n'est pas toujours rigoureux (on a trouvé *$f(x) = ax$ fonction linéaire*, des repères incomplets,…); de même qu'à l'oral le vocabulaire n'est pas toujours totalement précis, mais plutôt « parlant », voire familier. Comme à l'oral, de nombreux implicites sur ce qui apparait au tableau peuvent être relevés (usage non précisé des couleurs par exemple, manque de légende à l'oral et à l'écrit), choix non explicités (repères indiqués ou non, quadrillage ou non, …).

<u>Les implicites à l'oral</u>

On relève un certain nombre d'implicites (faute de temps !) : dans certaines capsules on ne dit rien sur ce qu'est x par exemple, on ne précise rien de l'utilisation (subreptice) d'un repère orthogonal (et pas orthonormé), on ne dit rien sur la manière de relier les points pour obtenir une courbe qui s'affiche « par miracle » au tableau. Les questions d'existence, d'unicité ou de choix possibles de méthodes… sont souvent passées sous silence comme si, là encore, dès « ça ne sert pas », on ne le dit pas (par exemple pour tracer une droite, on ne signale pas qu'on peut aussi placer deux points variables dans une capsule illustrant une autre méthode).

Les questionnaires qu'on a vus sont restreints.

2) Premiers questionnements

D'un côté les partisans de l'introduction des capsules en expliquent les avantages en termes d'engagements d'élèves – dans l'écoute de la capsule grâce à sa rapidité, à sa simplicité, à la souplesse de l'écoute (on peut interrompre, revenir…), et à la contrainte du questionnaire, et dans le travail postérieur classe, long, plus différencié que d'habitude, adapté à des questions habituellement moins posées. Cela conduit à des cours sur capsules qu'on pourrait qualifier de « minimaux ». Les déroulements des séances d'exercices sont très importants pour compléter.

De l'autre côté on a des cours éventuellement plus développés, avec des improvisations et des participations d'élèves qui peuvent amener des adaptations, mais dont on ne peut pas garantir qu'ils sont entendus par tous (même si des interrogations écrites peuvent remplacer les questionnaires, mais on a constaté que ce n'est pas généralisé). Avec encore une grande importance des activités complémentaires en exercices.

Dans cette perspective, on peut être interpelé par les contenus réduits des capsules, et aussi par le fait que chaque élève visionne seul la capsule (individualisation du visionnement) ; on perd alors peut-être certains avantages du collectif présentiel (on l'a vu sur les inéquations en seconde, avec l'intérêt des questions d'élèves) – mais on sait aussi, répétons-le, que tous les élèves ne sont pas impliqués au même titre dans ce collectif ; on perd aussi éventuellement une certaine homogénéisation de la classe (cf. mémoire). On perd enfin en partie, on l'a constaté partiellement, la possibilité d'improviser des proximités (et singulièrement les ascendantes), de développer les proximités descendantes pendant le cours. Plus généralement, en termes de différences entre élèves, n'y a-t-il pas un risque (différentiel) de dérive des mathématiques travaillées vers le technique, au détriment du théorique ou du technologique (démonstrations) ? Comment préserver le caractère global des mathématiques enseignées (organisation et nature des connaissances) ?

La question devient : tout ce qui est introduit à l'occasion des exercices sera-t-il suffisant à retrouver ce qui peut manquer ?

Cela nous semble conduire à un travail non seulement sur les ressources en elles-mêmes mais sur leur utilisation dans l'ensemble du scénario, ce que nous aurions envie d'appeler un cahier des charges.

3) En tenant compte des conditions d'utilisation : vers un cahier des charges ?

Vu la diversité des niveaux et des thèmes que recèlent les contenus présentés (technique, théorique, technologique, cours magistral, méthode, autres) – on peut se demander si des contenus sont plus propices que d'autres à fabriquer des capsules. En particulier, comme il est difficile de faire mener aux élèves une activité introductive en vraie grandeur avant la vidéo (ou même pendant), le choix des thèmes est très important. Ainsi la réduction des contenus que comportent inévitablement les capsules, mais qui peut constituer un « gain de temps » pour les élèves, la réduction du travail des élèves à partir des capsules, vu l'impossibilité de développer toutes les interactions et proximités permises par la présence des élèves au cours, mais qui peut amener à une présentation très succincte et « frappante », et au développement d'autres proximités, nouvelles, au moment où les élèves travaillent en classe sur les exercices à la suite du cours, amènent à souligner la nécessité de choisir à la fois les contenus et les contrats d'utilisation des capsules, pour que ça puisse apporter un plus...

Par ailleurs, et dans le même ordre d'idées, les capsules pourraient être proposées pas toujours en remplacement d'un cours mais peut-être comme complément, à la maison, pour réviser ou pour un élève absent… pour assurer que le cours soit entendu à défaut d'être lu, pour accompagner les élèves à saisir le fondamental ou à s'emparer rapidement des aspects techniques (utilisation du rapporteur, résolution d'équation à une inconnue)

Il reste aussi des questions liées au matériel lui-même, à son élaboration, à sa spécificité.

On peut ainsi se demander ce qu'induit une présentation sur vidéo : y a-t-il ou non un risque de figer des choses qui se voient par rapport à des choses qui se disent à l'oral sans traces autres que des notes sur un cahier ?

Lorsque c'est son enseignant qui est filmé (entendu, vu ?), est-ce que ça change quelque chose ?

Quelle est l'importance de la mise en scène, de l'accompagnement musical, de la durée, du mode des prises de vue (cf. les capsules « dessins animés » comme celles proposées par canopé en primaire) ?

Enfin, indirectement, nous suggérons que la discussion en formation sur ces ressources (et sur les moments d'exposition des connaissances) présente un intérêt spécifique. Cela permet d'aborder les choix qui peuvent se poser, les incertitudes et les improvisations incontournables pour laisser de la place et s'adapter aux élèves…

Outre les questionnements précis sur les contenus des cours et les déroulements avec les explicitations de différents niveaux de liens possibles, cela permet de justifier une entrée dans « le relief » et cela peut contribuer pour les débutants, à construire la disponibilité nécessaire. Cela amène à questionner aussi les dénaturalisations éventuelles souvent ignorées par les débutants que les enseignants ont à débusquer, notamment en écoutant les élèves : justifications non immédiates implicites, différences écrit/oral…

Bibliographie

ALLARD C. (2015), *Étude du processus d'institutionnalisation dans les pratiques d'enseignants de fin d'école primaire : le cas des fractions*. Thèse de Doctorat, Université Paris-Diderot.

BRIDOUX S., CHAPPET-PARIES M., GRENIER-BOLEY N., HACHE C. & ROBERT A. (AVEC LA COLLABORATION DE LEVI, M.C. ET PILORGE F.) (2015), Les moments d'exposition des connaissances en mathématiques (secondaire et début d'université). *Cahier du Laboratoire de Didactique André Revuz,* n°14, Juillet 2015.

BRIDOUX S., GRENIER-BOLEY N., HACHE C. , ROBERT A. (2016) Les moments d'exposition des connaissances en mathématiques ; analyses et exemples (à paraître). *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives.*

BROUSSEAU G. (1998), *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage

BUTLEN D. & PEZARD M. (2003), Étapes intermédiaires dans le processus de conceptualisation. *Recherche en Didactique des mathématiques* **23.1**, 41-78, Grenoble, La Pensée sauvage.

DOUADY R. (1987), Jeux de cadres et dialectique outil-objet. *Recherches en Didactique des Mathématiques* **7/2**, 5-31.

MARGOLINAS C. (2015), Connaissance et savoir. Concepts didactiques et perspectives sociologiques ? *Revue française de pédagogie* **188**, 13-22.

MITCHELMORE M., WHITE P (1998) Development of Angle Concepts : A Frameworkof Research , *Mathematics Education Research Journal,* vol.10, n°3, p.4-27.

PARIES M. (2004), Comparaison de pratiques d'enseignants de mathématiques. Relations entre discours des professeurs et activités potentielles des élèves. *Recherches en Didactique des Mathématiques* **24 2-3**, 251-284.

ROBERT A. (1998), Outils d'analyses des contenus mathématiques à enseigner au lycée et à l'université. *Recherches en Didactique des Mathématiques* **18/2**, 139-190.

ROBERT A. & ROBINET J. (1996), Prise en compte du méta en didactique des mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques* **16.2**, 145-176.

ROBERT A. & ROGALSKI J. (2002), Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *Revue Canadienne de l'Enseignement des Sciences, des Mathématiques et des Technologies* Vol 2 (4), 505-528.

ROBERT A. & VANDEBROUCK F. (2014), Proximités-en-acte mises en jeu en classe par les enseignants du secondaire et ZPD des élèves : analyses de séances sur des tâches complexes. *Recherches en Didactique des Mathématiques* **34 2-3**, 239-285.

TENAUD I. (1991), *Une expérience d'enseignement de la géométrie en Terminale C : enseignement de méthode et travail en petits groupes.* Thèse de Doctorat, Université Paris 7.

VERGNAUD G. (1990), La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques* **10.2**, 133-170.

Annexes

A) Les questionnaires élèves

1) les textes

Questionnaire professeur – on réserve ici le mot « cours » à l'exposition des connaissances.

Dans quel type d'établissements enseignez-vous ?
À quels niveaux scolaires ?
Pour vos réponses, vous pouvez penser à un chapitre et une classe en particulier, voire introduire des différences selon les notions et les niveaux (précisez s'il vous plait).
Dans tous les cas indiquez si vous évoquez un cours nouveau pour vous ou non.

1) La préparation (organisation et contenus)
a) Ressources
- Programmes : Regardez-vous le programme de la classe, de l'année n-1, n+1 ?
- Manuels ou autres documents : Utilisez-vous le (un, des) manuel, vos cours des années d'avant… ?
- Internet : le consultez-vous ? L'utilisez-vous ? (Comment ?)

b) Echanges
- Discutez-vous avec un(e)/des collègue(s) ?

c) La préparation proprement dite
- Préparez-vous tout le chapitre d'un coup ? Quels ajustements faites-vous au fur et à mesure ? Comment décidez-vous de ce que vous mettez dans le cours ? (Indiquez vos interrogations)
- Prévoyez-vous une introduction? Laquelle ?
- Quelle place relative donnez-vous aux définitions, théorèmes et propriétés, démonstrations, exemples, exercices résolus, méthodes, autres ?
- Etes-vous amené à n'exposer pendant le cours que ce que les élèves auront à utiliser ou sinon quels enrichissements apportez-vous ? (Donnez des exemples)
- Préparez-vous les exercices à proposer en classe/à la maison/les évaluations en même temps que les cours ? Pourquoi choisissez-vous tel exercice plutôt que tel autre ?
- Ecrivez-vous tout ou partie du cours à faire ?
- Qu'est-ce que vous modifiez d'une année sur l'autre ? Quelles alternatives pouvez-vous envisager ?

d) Apprenez-vous le cours avant de le faire ?

2) Les déroulements en classe (Signalez les différences entre séances)
- Qu'est-ce que vous écrivez (support ?) – était-ce prévu précisément ? Qu'est-ce que les élèves écrivent (sur quoi) ?
- Qu'est-ce que vous dites (rapport avec ce que vous écrivez) - était-ce prévu précisément ? Quel type d'improvisation ou de modification faites-vous ? Pourquoi ?
- Sur l'ensemble des séances concernées, quelle est la proportion du temps d'écriture des cours (à peu près) ?
- Sur chaque temps de cours quel est les temps moyen d'échanges avec les élèves ?

- Pouvez-vous « finir » ce qui est prévu ? Sinon le reprenez-vous? Quelle différence entre la durée effective du cours et le « prévu » ?
- Faites-vous parfois un bilan du cours ?
- Est- ce que vous incitez vos élèves à compléter le cours avec un manuel, en faisant d'autres exercices ?
- Installez-vous des habitudes pour citer des éléments de vos cours dans les contrôles ?
- Y a-t-il des questions de cours dans certains contrôles ou des interrogations ?
- Interrogez-vous les élèves à l'oral sur le cours ?

3) Impressions, attentes, questionnements
- Quand avez-vous l'impression d'avoir fait un « bon » cours ? Pourquoi ? Quelles difficultés récurrentes rencontrez-vous ? En discutez-vous avec vos collègues ?
- Qu'attendez-vous que les élèves retiennent du cours ?
- En quoi pensez-vous que la participation à ces moments de cours sert aux apprentissages des élèves ?
- Pensez-vous que certains supports sont plus adaptés que d'autres ? Lesquels ?
- Est-ce que les évaluations des élèves vous renseignent suffisamment sur leur apprentissage du cours ?
- Est-ce que vous pensez que certains cours pourraient être raccourcis, supprimés ? Plus généralement, pensez- vous que les cours en classe pourraient être supprimés (pédagogie inversée) ?
- Avez-vous changé vos pratiques et comment depuis le début de votre carrière ?

B) Questionnaire élèves du professeur (de la classe)

1) Pendant les cours
- Quelles traces écrites le professeur vous donne-t-il ? Les recopiez-vous ?
- Arrivez-vous à tirer parti de ce que dit le professeur ?
- Quel temps dure le cours dans une séance (en moyenne) ?
- Êtes-vous interrogés sur le cours ?

2) L'apprentissage
- Quelles difficultés rencontrez-vous pour apprendre votre cours ?
- Apprenez-vous le cours – au fur et à mesure, avant le contrôle ? Comment ? A quoi ça vous sert ?
- Utilisez-vous un manuel ? Internet (comment ?) ?

3) Impressions
- Avez-vous du mal à retenir les définitions ? Les théorèmes ? Les propriétés ?
- Est-ce qu'il y a des phrases du cours que vous trouvez compliquées ? En citer une.
- Pendant le cours, avez-vous l'impression d'avoir compris ? Indiquez par un nombre entre 0 (je ne comprends rien) et 10 (je comprends tout)
- Pendant le cours, avez-vous l'impression d'avoir appris? Indiquez par un nombre entre 0 (je ne comprends rien) et 10 (je comprends tout).
- Pouvez-vous expliquer à quoi vous « sert » le cours ? Y-a-t-il des parties du cours qui vous semblent plus utiles que d'autres ?
- Est-ce que vous pensez que le cours pourrait être supprimé ? Pourquoi ?

2) conditions de passation : variables.

3) résultats détaillés

2nde 153 élèves, 1Ter (1ère et Ter S pour la plupart) 191 élèves

En pourcentages (total pas forcément égal à 100 car certains n'ont pas répondu ou pas compris la question, d'autres ont donné plusieurs réponses)

Pendant les cours

- *Arrivez-vous à tirer parti de ce que dit le professeur ?*
  Les résultats sont voisins ; 13% en 1Ter avouent ne pas tirer parti

	Oui	Non	Un peu/ça dépend
2nde	57	10	30
1Ter	61	13	25

- *Quel temps dure le cours dans une séance (en moyenne) ?*
  Cette question n'a pas pu être exploitée car beaucoup d'élèves ont donné le temps d'une séance de mathématiques (50 ou 55 min)

- *Etes- vous interrogés sur le cours ?*
  Dans une même classe, certains répondent oui et d'autres non: ils ne perçoivent pas toujours les différentes formes d'interrogation (pendant la correction d'exercices par ex). Problème de contrat ? Cette question est à relier avec leurs difficultés à apprendre le cours.
  En Terminale, la question ROC du baccalauréat incite les professeurs à interroger plus régulièrement sur le cours et les élèves à mieux reconnaitre les questions portant sur le cours.

	Oui	Non	Parfois
2nde	30	36	33
1Ter	50	12	37

1) L'apprentissage

- *Quelles difficultés rencontrez-vous pour apprendre votre cours ?*

	Aucune	Comprendre 2	Formules 3	Perso 4	Démo 5	Liées aux traces écrites 6	Appliquer Définitions 7	Trop de choses 8	Tot diff
2nde	38								44
1Ter	21								74

En 1Ter, 21% seulement n'ont aucune difficulté pour apprendre contre 38% en 2nde : les élèves de 2nde ont sans doute moins besoin de connaitre le cours pour réussir et se rendent moins compte des difficultés liées au cours.

74% en 1Ter (ce qui est énorme, 3 sur 4) et 44 % en 2nde disent éprouver des difficultés, soit parce qu'ils n'ont pas compris, soit à cause des définitions, des formules, soit pour des raisons plus personnelles (du mal à se concentrer, à retenir, à s'investir…), soit encore à cause des démonstrations ou de la trop grande quantité de choses à mémoriser.

- *Apprenez-vous le cours – au fur et à mesure, avant le contrôle ? Comment ? A quoi ça vous sert ?*

	Oui	Non	Ça dépend	Seult avant contrôle	En faisant exos	Pas de réponse
2nde	33	12	8	37	6	2
1Ter	45	4	10	25	14	1

En 2nde, 37% indiquent qu'ils ne regardent le cours qu'avant le contrôle, contre 25% en 1Ter où ils sont plus nombreux à étudier le cours au fur et à mesure.

Dans les classes où ils déclarent être interrogés sur le cours, il semble qu'un plus grand nombre d'élèves apprend au fur et à mesure…

En cycle terminal, le lien cours/exos est sans doute mieux perçu.

- *Utilisez-vous un manuel ? (comment ?)*

	manuel	Manuel pour exos	internet	Manuel+internet	Ni manuel, ni internet	Pas de réponse
2	64	9	7	11	7	1
1Ter	48	18	8	17	5	1

Beaucoup d'élèves utilisent le manuel (de la classe ou pas), principalement pour les exercices. La question de l'utilisation d'internet n'a pas été posée à tous mais il semble que les 1Ter n'hésitent pas à consulter des sites (documents ou vidéos)

2) Impressions

- *Avez-vous du mal à retenir les définitions ? les théorèmes ? les propriétés ?*

	Oui	Non	Un peu/ça dépend	Pas de réponse
2	30	42	26	1
1Ter	31	43	24	1

Les résultats sont quasiment les mêmes !

Est-ce qu'il y a des phrases du cours que vous trouvez compliquées ? En citer une.

Oui	Non	Pas de réponse	Def citée
23	60	12	16
23	64	6	

…………diff pas spécialement liées à la complexité des formulations

- *Pendant le cours, avez-vous l'impression d'avoir compris ? Indiquez par un nombre entre 0 (je ne comprends rien) et 10 (je comprends tout)*
- *Pendant le cours, avez-vous l'impression d'avoir appris ? Indiquez par un nombre entre 0 (je n'ai rien appris) et 10 (je sais tout)*

	Compris (moyenne)	Appris (moy)
2	6,6	6,3
1Ter	6,4	6,1

Résultats proches. Compris> appris
Beaucoup d'élèves pensent qu'il leur suffit de comprendre et ne ressentent pas la nécessité d'apprendre ? Que signifie « apprendre » ? Le sens a-t-il évolué ? S'ils ont une idée, même floue (pseudo-concept), est-ce suffisant ?

- *Pouvez-vous expliquer à quoi vous « sert » le cours ? Y-a-t-il des parties du cours qui vous semblent plus utiles que d'autres ?*

	A apprendre	A comprendre, à expliquer	A faire exos/contrôles	Deux réponses au moins	A rien	Autres Donne méthodes	Développe logique	Culture générale	Pas de réponse
2	26	16	20	17	7				7
1Ter	15	26	17	21	2				5

- *Est-ce que vous pensez que le cours pourrait être supprimé ? Pourquoi ?*

Oui	Non	Ça dépend/ diminué	Pas de réponse

17	78	1	1
7	86	2	2

La question n'a pas toujours été comprise : il ne s'agissait pas de supprimer tous les cours de mathématiques !
On note que beaucoup plus d'élèves de 2^{nde} pensent que le cours pourrait être supprimé (16% contre 7% en 1Ter), ce qui renforce l'idée que les élèves de 2^{nde} n'ont pas mesuré les enjeux du cours et de son intérêt.

Sommaire

TITRE :

Quand le professeur de mathématiques est sur You Tube… Quelques réflexions sur les moments d'exposition des connaissances et les capsules pour des classes inversées.

AUTEURS:

Cécile Allard, Loïc Asius, Stéphanie Bridoux, Monique Chappet-Pariès, Françoise Pilorge et Aline Robert

RÉSUMÉ :

On peut trouver sur le net des vidéos dites « de cours » de mathématiques, très courtes (entre 1 et 7 minutes, sauf exceptions), qu'on appelle souvent capsules, en référence à la classe inversée, ou à la pédagogie inversée. Ce vocable s'applique (a priori) à des dispositifs d'enseignement où les élèves prennent connaissance des cours (moments d'exposition des connaissances) grâce à ces vidéos à regarder à la maison, souvent complétées par un questionnaire à remplir en ligne à la fin, le travail en classe étant principalement réservé à la recherche d'exercices. Même si les conditions effectives ne sont pas toujours celles-là, l'institution semble favorable à des dispositifs de ce type : souvent sont évoqués une motivation plus grande, un plus grand respect des rythmes individuels, plus de temps en classe pour faire des exercices, pour travailler avec les plus faibles (repérés par le questionnaire de fin de visualisation).

Nous avons donc voulu analyser cela de plus près, en utilisant des outils didactiques mis au point pour étudier les moments de cours, très particuliers en termes d'activités des élèves. Mais pour comprendre ce que les élèves peuvent retirer du visionnement de capsules, il faudrait connaître et analyser le dispositif complet dans lequel elles s'insèrent. Entre une capsule remplaçant un cours et la même, utilisée comme complément pour revoir ce cours par exemple, il peut y avoir un monde. Nos analyses seront donc incomplètes, limitées aux seules ressources, sans leur utilisation.

Nous donnons d'abord des témoignages d'utilisation effective, dans des classes, de vidéos de cours – au collège, chez un enseignant, en REP, qui a conçu ses propres capsules pour ses classes (mises sur YouTube) et qui a mené l'expérience dans des classes de cycle 4 depuis 3 ans, ce qui lui permet d'avoir une réflexion a posteriori qu'il expose ; puis chez une enseignante de 6ème, qui a travaillé ainsi en géométrie.

Nous faisons ensuite un détour par des éléments didactiques sur les moments d'exposition des connaissances, qui nous permettent de proposer des outils pour les analyser.

Nous indiquons ensuite des résultats de ces analyses sur plusieurs corpus : sur les inéquations « produit » en seconde, étudiées avec un tableau de signes (avec deux « vrais » cours et une capsule sur le même contenu), on dégage des différences. En première année d'université, une étude au cours d'une expérience très limitée renforce l'idée de la nécessité d'un « mode d'emploi ». Dans une sixième particulière, une expérience de ce type (en géométrie, intégrant des enfants diagnostiqués précoces),) est étudiée, avec mise en regard de la classe expérimentale et d'une autre classe témoin. Enfin nous donnons quelques régularités sur quelques capsules de constructions géométriques instrumentées (sixième).

Nous concluons par un questionnement sur ces ressources. Les premiers résultats, très partiels, amènent en effet à penser que c'est en termes de « cahier des charges », à élaborer pour diverses utilisations possibles, qu'il peut être intéressant de continuer à travailler.

MOTS- CLÉS :

Cours, capsules, classe inversée en mathématiques, activités

Éditeur: IREM de Paris
Responsable de la publication: F. Vandebrouck
IREM de Paris 7 – Case 7018
Université Paris Diderot
75205 Paris cedex 13
irem_de_paris@univ-paris-diderot.fr
http://www.irem.univ-paris-diderot.fr/

Dépôt légal : 2016
ISBN : 978-2-86612-378-9