UNE CAMÉRA EN COURS DE MATHÉMATIQUES POUR QUOI FAIRE ?

Karine MILLON-FAURÉ
EA ADEF 4671 Aix-Marseille Université,
ENS de Lyon, IFE Marseille

Résumé. Nous nous interrogeons sur la pertinence des pratiques mises en place par les enseignants lors de l'intégration des nouvelles technologies dans leur classe. Pour cela, nous avons observé un professeur de mathématiques qui utilisait dans ses cours une caméra reliée à un vidéo-projecteur au cours d'une activité de recherche mettant en œuvre des constructions géométriques. Nous avons cherché quel était l'impact de l'utilisation de cet outil sur ses pratiques et celles de ses élèves, notamment en ce qui concernait la prise en compte des productions de la classe, l'apprentissage des « savoir-faire transparents » et la constitution d'une mémoire didactique commune. A travers l'étude de ce cas particulier, nous avons pu observer les intérêts mais également entrevoir certains des effets pervers que pouvait entraîner l'intégration cette nouvelle technologie dans la classe.

Mots clés. Nouvelles technologies, genèse instrumentale, savoirs transparents, mémoire didactique.

Abstract. The purpose of this article is to examine teachers' practices when using new technologies in their classrooms. With this objective in mind, we observed a mathematics teacher who used a camera linked to a video projector during a research activity with geometric constructions, and we tried to determine the impact of this choice on his practices and those of his students. We observed that the use of this tool enabled a better integration of pupils' work as part of the lesson. We also noticed the teaching of some essential but tacit practices as well as the reactivation of didactic memory. However, we also detected some negative effects on the learning and teaching process due to the use of this tool.

Key-words. New technologies, instrumental genesis, tacit knowledge, didactic memory.

Introduction

S'il est difficile de définir de manière précise ce que l'on entend par « nouvelles technologies », il serait bien plus complexe encore d'effectuer une liste exhaustive de toutes les mutations qu'elles ont occasionnées dans notre quotidien. Que ce soit dans la sphère privée ou dans celle du travail, les ordinateurs, internet, les téléphones portables..., occupent à présent une place incontournable et les nouvelles technologies ont même pénétré dans l'école sous des formes plus ou moins spécifiques : calculatrices graphiques, logiciels pédagogiques, tableau blanc interactif... Encouragé par les institutions, l'usage de ces nouvelles technologies dans les classes est présenté comme une priorité et ce pour deux raisons : d'une part comme un objectif, les compétences nécessaires à leur maniement étant considérées comme indispensables à la formation du citoyen actuel; d'autre part comme un moyen, les possibilités offertes par les nouvelles technologies étant supposées faciliter les processus d'enseignement et d'apprentissage des savoirs disciplinaires traditionnels. Dans ces conditions, on se serait attendu à ce que cahiers, livres et tableaux noirs tombent rapidement en désuétude. Pourtant la révolution attendue n'a pas (encore?) eu lieu : les nouvelles technologies dans les classes se propagent à un rythme moins rapide que ce que l'on aurait pu penser et surtout de manière très hétérogène. Si la plupart des enseignants ordinaires continuent à utiliser les méthodes traditionnelles, certains au contraire ne jurent plus que par les nouvelles technologies. Quels sont les usages que ces individus (ces précurseurs ?) font de ces nouveaux outils? Constituent-ils un gain réel pour leurs enseignements disciplinaires?

Après avoir analysé les textes officiels et les résultats de recherches antérieures, nous étudierons cette problématique à partir de l'observation d'un cas particulier : un enseignant de mathématiques qui utilise dans ses cours une caméra reliée à un vidéo-projecteur et associée à un tableau blanc interactif.

1. Textes institutionnels et recherches antérieures

1.1 Les attentes concernant les nouvelles technologies

Le bulletin officiel n°6 du 28 Août 2008 concernant les programmes au collège présente la maîtrise des nouvelles technologies comme un des enjeux des enseignements de chacune des disciplines scolaires : « les technologies de l'information et de la communication sont présentes dans tous les aspects de la vie quotidienne : une maîtrise suffisante des techniques usuelles est nécessaire à l'insertion sociale et professionnelle. Les mathématiques, les sciences expérimentales et la technologie contribuent, comme les autres disciplines, à l'acquisition de cette compétence. » Le site education.gouv.fr rappelle également que l'un des rôles de l'école est de contribuer au projet d'une société de l'information et de la communication pour tous : « [l'école] forme les élèves à maîtriser ces outils numériques et prépare le futur citoyen à vivre dans une société dont l'environnement technologique évolue constamment. » Ce site détaille aussi tous les moyens mis en œuvre pour accéder à un tel objectif : des moyens matériels (tablettes numériques, logiciels...), des formations (les nouveaux enseignants sont notamment préparés pour passer le Certificat Informatique et Internet) ainsi que des exigences et des évaluations régulières concernant le niveau atteint par les élèves à différents stades de leur scolarité (les trois niveaux du Brevet Informatique et Internet notamment).

Il ne faudrait toutefois pas croire que la maîtrise des nouvelles technologies ne constitue qu'un but pour l'enseignement des mathématiques. C'est également (et peut-être avant tout) un moyen. De nombreuses études décrivent en effet le champ des possibles que ces nouveaux outils ouvrent à l'enseignement. Lors de l'utilisation de logiciels permettant le travail de techniques de calcul mental, Capponi et Clarou (1985) constatent que « le matériel informatique joue ici un rôle incontestable. Il permet l'individualisation de la tâche, la gestion par l'élève lui-même de sa progression, les retours en arrière et d'une manière générale une plus grande autonomie en raison du contrôle immédiat. L'enseignant, libéré des tâches de validation des réponses et du contrôle individuel, peut se rendre compte du comportement de chacun de façon beaucoup plus précise ». Hersant (2003) montre aussi comment l'usage d'activités informatiques a permis d'améliorer les connaissances des élèves concernant la proportionnalité. Des recherches illustrent également l'intérêt que représentent les logiciels de géométrie dynamique pour l'enseignement de la géométrie (Bergue, 1991). Par conséquent, la mise en évidence de l'aide que peuvent apporter les nouvelles technologies pour l'enseignement et l'apprentissage nous amène à conclure comme Grau (2012)[1] : « Les Tice en mathématiques, ce n'est plus une question de choix pédagogique, c'est un incontournable. »

1.2 Les pratiques des enseignants ordinaires

Pourtant, plusieurs dizaines d'années après leur apparition à l'école, toutes ces nouvelles technologies n'ont toujours pas révolutionné les pratiques des enseignants ordinaires. Combes et Noguès (2005) montrent lors de l'analyse d'une étude menée en 2004 dans le cadre d'un projet européen, le décalage qui peut exister entre les prescriptions institutionnelles et la réalité des usages. Ainsi, si les calculatrices et l'ordinateur sont généralement présents dans les salles, leur utilisation lors de séances d'enseignement reste encore exceptionnelle. Quant au vidéoprojecteur et au tableau blanc interactif (TBI), les enseignants qui les utilisent font toujours figure de précurseurs. Train (2013) montre, grâce à une analyse statistique multivariée d'un questionnaire portant sur les usages du TBI, la disparité des pratiques enseignantes sur ce point. Il souligne également une faible exploitation des potentialités avancées du tableau blanc interactif, même chez les enseignants qui ont pleinement intégré cet outil dans leur enseignement. Finalement, après avoir analysé les études francophones parues entre 2002 et 2008 en ce qui concerne l'utilisation des TICE dans l'enseignement des mathématiques, Sabra (2009) conclut : « Les recherches notent la complexité de l'intégration des TICE, qui au-delà de l'appropriation nécessaire, suppose une réorganisation des ressources des enseignants, de nouveaux équilibres dans la classe. » (Sabra, 2009, p.146)

Les difficultés à surmonter pour une intégration réussie des TICE dans l'enseignement sont en effet nombreuses. En étudiant les réponses à un questionnaire sur les pratiques enseignantes, Artigue (1997) met en évidence le décalage existant entre les potentialités réelles du logiciel DERIVE et celles utilisées par les professeurs, ce qui risque au final de décevoir ces derniers et de les dissuader d'utiliser cet outil. Par ailleurs, après avoir étudié les usages dans les écoles québécoises, Lalande (2010) signale deux glissements possibles lors de l'utilisation du tableau blanc interactif (TBI) pour l'enseignement : le premier serait de perpétuer les pratiques traditionnelles sans profiter des possibilités offertes ; le second serait de concevoir des activités particulièrement attrayantes mais sans réel enjeu pédagogique. Ceci l'amène à affirmer que « la présence de TBI dans les classes n'est pas un gage de modernisation de pratiques pédagogiques ni d'intégration réussie des technologies de l'information et de la communication » (Lalande, 2010, p.2). Au terme d'une analyse sur les difficultés induites par l'entrée d'une nouvelle technologie dans la classe, Meyer (2012) conclut même que, loin d'améliorer systématiquement l'enseignement, l'utilisation du TBI risque de compliquer et de dénaturer les pratiques de certains professeurs qui n'auraient pas réussi à adapter leurs méthodes d'enseignement à ce nouvel outil.

L'intégration des nouvelles technologies transforme en effet l'équilibre de la relation didactique entre enseignant et élèves : en comparant une activité papier-crayon et une

1 GRAU S. (2012) Apprendre avec le numérique. Des Maths, mes TICE. Cahiers pédagogiques, 498. http://www.cahiers-pedagogiques.com/Des-maths-mes-Tice.

activité en salle informatique, Abboud-Blanchard et Chappet-Paries (2011) montrent les différences qui apparaissent dans la gestion de classe. En environnement TICE, la classe se scinde en « mini-classes » que l'enseignant régule tour à tour. Ceci le contraint à s'adapter au cheminement de chaque groupe et l'oblige à répéter régulièrement les mêmes remarques. De plus, les interventions de type procédural, voire « manipulatoire » (Abboud-Blanchard et Chappet-Paries, 2011, p.6) se révèlent bien plus nombreuses que dans l'environnement papier-crayon. Par ailleurs, lors d'un travail sur l'ordinateur, les interventions collectives et les mutualisations des productions sont beaucoup plus rares. Tout ceci rend la gestion des activités en salle informatique beaucoup plus déstabilisante et coûteuse pour l'enseignant, ce qui peut expliquer certaines des réticences de ces professionnels à l'égard des nouvelles technologies.

Par ailleurs, en essayant de comprendre pourquoi les usages des nouvelles technologies dans la classe se développent si lentement ou bien dans des directions peu pertinentes au regard des apprentissages, Lagrange (2013) montre que institutions et acteurs se heurtent encore à des obstacles de divers ordre : obstacles d'ordre didactique, pédagogique, éthique... Comment être assuré que ces nouvelles pratiques des enseignants auront un effet positif sur l'apprentissage des savoirs disciplinaires ? Les formateurs sont également confrontés à cette complexité de l'intégration des TICE dans la classe et à la difficulté d'accompagner les enseignants dans cette évolution des pratiques. Bien que beaucoup soient convaincus de l'intérêt que peuvent représenter les nouvelles technologies, ils ne se sentent généralement pas en mesure de conseiller certaines usages, faute de situations de référence réellement finalisées sur lesquelles s'appuyer.

1.3 Quelques éclairages théoriques

De manière générale, l'appropriation d'un nouvel outil est de toute évidence un processus complexe. En ergonomie cognitive, l'approche instrumentale étudie comment un artefact, c'est-à-dire un simple objet matériel conçu pour une certaine fonctionnalité, va se transformer en instrument lors de son utilisation effective (Rabardel, 1995). Un même artefact pourra ainsi donner naissance à des instruments différents en fonction du sujet qui l'utilise (suivant ses objectifs, mais également ses connaissances, concernant notamment les possibilités de l'artefact). Un instrument est donc constitué :

> - d'une part, d'un artefact, matériel ou symbolique, produit par le sujet ou par d'autres ;
> - d'autre part, de schèmes d'utilisation associés, résultant d'une construction propre du sujet, autonome ou d'une appropriation de schèmes sociaux d'utilisation déjà formés extérieurement à lui. (Folcher & Rabardel, 2004, p. 260).

Aux fonctions constituantes initialement prévues pour l'artefact vont se substituer, au cours de l'activité, des fonctions constituées lors du processus de genèse instrumentale par le sujet, ce qui peut correspondre à un enrichissement ou à un appauvrissement en fonction de l'usage effectif comparé à l'usage prévu. Trouche (2004) précise que « la construction de l'instrument doit se comprendre dans un double mouvement : un mouvement *d'instrumentalisation* dirigé vers l'outil (l'usager met l'outil 'à sa main', l'adapte à ses habitudes de travail) et un mouvement *d'instrumentation* dirigé vers l'usager (les contraintes de l'outil contribuent à structurer l'activité de l'usager) ». Pour réellement faire des nouvelles technologies des instruments, chaque enseignant devra donc accepter d'une part de découvrir un certain maniement de l'outil (qu'il s'agisse ou non d'une utilisation conforme à l'usage prévu), d'autre part d'adapter certaines de ses pratiques à ce nouvel appareillage.

Tout en reconnaissant la difficulté induite par ce changement dans les gestes et les pratiques*,* Chevallard (1998) évoque un autre obstacle à surmonter pour les enseignants. L'accès à un nouvel outil implique la possibilité d'utiliser de nouvelles techniques, qui pourront se substituer aux techniques traditionnelles, entraînant parfois la disparition de certains types de tâches :

> La technique t, à l'origine *instrumentale* par rapport au type de tâches *T*, devient peu à peu *définitoire* de ce type de tâches : on reconnaît qu'on accomplit une tâche *du type T* – qu'on lave de la vaisselle, par exemple – au fait qu'on met en œuvre *la technique* t [frotter avec une éponge, par exemple, par opposition à l'utilisation du lave-vaisselle]. (Chevallard, 1998, p.11).

La nouvelle technique peut tellement alléger, ou tout au moins modifier le travail nécessaire pour effectuer la tâche considérée, que ce type de tâche ne relèvera plus alors du champ disciplinaire de départ. Ainsi, depuis l'arrivée de la machine à calculer dans les classes, la recherche d'une valeur approchée pour une racine carrée relève d'une simple connaissance du maniement de la calculatrice, là où autrefois l'emploi d'algorithmes complexes s'avérait nécessaire. Ce type de tâche prise de manière isolée a donc perdu son statut d'activité mathématique. Réciproquement, on peut penser que les possibilités offertes par la calculatrice permettent de proposer aux élèves de nouvelles tâches autrefois impossibles à résoudre 'à la main' et il conviendra de se demander si celles-ci entrent ou non dans le champ disciplinaire des mathématiques. L'arrivée de nouveaux outils dans la salle de classe va donc entraîner des transformations plus ou moins profondes non seulement dans les pratiques mais également dans la nature même des tâches abordées à l'école.

Ainsi l'intégration des nouvelles technologies dans l'enseignement n'est pas chose aisée : les recherches que nous venons d'évoquer soulignent la complexité de ce processus et montrent que les pratiques ordinaires des professeurs se révèlent encore bien éloignées des prescriptions institutionnelles. C'est pourquoi nous avons voulu regarder de plus près un exemple d'utilisation de nouvelles technologies dans un cours de mathématiques.

2. Méthodologie

2.1 Analyse a priori de l'activité proposée

L'enseignant que nous allons observer, M.M, exerce depuis treize ans en collège. Lors d'un rapide entretien, M.M se présente comme un grand amateur des nouvelles technologies sous toutes leurs formes. Il nous dit avoir depuis longtemps intégré dans son enseignement l'utilisation des calculatrices, puis de logiciels de divers types (logiciel de géométrie dynamique, tableur, exerciseurs...), soit lors de recherche en classe entière (grâce à un vidéo-projecteur), soit lors de travaux individuels en salle informatique. Il nous explique qu'il profite également des ressources disponibles sur internet pour concevoir ses propres activités et qu'il utilise systématiquement depuis deux ans, le tableau blanc interactif dans ses cours. Pourtant, parmi toutes ces nouvelles technologies, celle qu'il trouve la plus profitable à son enseignement, est une petite caméra sur pied qui, une fois reliée au vidéo-projecteur via son ordinateur, permet à la classe entière de visualiser certains documents.

Intriguée par cette affirmation, nous avons voulu mieux comprendre ses pratiques. Nous avons donc assisté dans une classe de Sixième d'une séance de géométrie qui devait introduire la séquence sur la médiatrice.

L'énoncé proposé aux élèves était le suivant :

> *Maxime voudrait que sa maison soit à égale distance du collège et de la plage.*
> *Où peut-il habiter ?*

Effectuons une brève analyse a priori de cette activité. Une analyse descendante (Assude et Mercier, 2007) nous amène à étudier le savoir en jeu. Il s'agit ici de l'étude de la médiatrice et plus précisément de sa caractérisation comme ensemble des points équidistants des extrémités d'un segment. Cela répond explicitement à une des exigences des instructions officielles : « Connaître et utiliser la définition de la médiatrice ainsi que la caractérisation de ses points par la propriété d'équidistance. » (Bulletin officiel spécial n°6 du 28 août 2008).
On notera que même si cette compétence ne fait pas partie des exigibles de sixième, elle figure dans le socle commun du niveau suivant. De même, les élèves devront en début de collège travailler différentes méthodes pour tracer une médiatrice, même si une seule méthode de construction est en fait exigible.
La médiatrice est souvent définie comme un des deux axes de symétrie du segment, ce qui à partir des propriétés de conservation des angles et des longueurs de la symétrie axiale, permet de montrer que cette droite est perpendiculaire au segment en son milieu. Ces mêmes propriétés assurent également que les points de la médiatrice sont équidistants des extrémités du segment. En raisonnant par l'absurde, on pourrait également montrer la réciprocité de cette propriété, mais en classe de Sixième, elle sera généralement admise.

L'enseignant que nous observons ici a décidé d'introduire la notion de médiatrice en mettant en avant sa caractérisation comme ensemble de points équidistants de deux points donnés. La recherche de lieux de points n'est pas au programme du début du collège. Toutefois, de nombreuses activités proposées en Sixième utilisent ce type de tâches pour travailler la propriété d'équidistance des points de la médiatrice ou celle des points du cercle. Par ailleurs, le passage du discret (des points) au « continu »[2] s'avère délicat pour des élèves de Sixième, mais la nécessité d'étudier la caractérisation de la médiatrice par sa propriété d'équidistance, amène à aborder cette problématique : en se cantonnant au registre de la géométrie perceptive (principal registre utilisé à l'école primaire et au début du collège), il est possible d'observer, grâce aux instruments usuels, que les points solutions de l'activité proposée se situent sur une droite perpendiculaire au segment et passant par son milieu. De la même manière, on peut constater qu'un point choisi au hasard sur cette droite vérifie également cette propriété d'équidistance.

Cette activité aurait pu s'effectuer entièrement dans le registre mathématique, en demandant aux élèves de chercher les points équidistants de deux point C et P fixés. Le choix de faire intervenir un contexte 'familier', s'il impose une décontextualisation pour

2 Un espace continu est théoriquement un espace **connexe** et compact. Toutefois, nous entendons ici « continuité » dans un sens plus trivial, qui n'implique pas forcément de propriété de compacité. Nous parlerons donc de continuité d'un segment, mais également d'une droite.

accéder au problème mathématique, puis une recontextualisation pour répondre à la question posée, vise à favoriser l'enrôlement des élèves dans l'activité.
Regardons à présent, dans une analyse a priori ascendante (Assude et Mercier, 2007), les stratégies que les élèves peuvent mettre en place.

Certains d'entre eux, habitués à ce qu'un problème mathématique n'ait qu'une seule solution, pourraient se contenter d'exhiber un unique point. Ce point devrait théoriquement être le milieu : les élèves savent en effet que ce point se situe à égale distance des extrémités du segment, et c'est également l'emplacement le plus logique du point de vue de l'activité (Maxime a, *a priori*, tout intérêt à minimiser la distance qui le sépare de ses deux centres d'intérêt). Par simple approximation visuelle, ou bien par tâtonnement, en utilisant la règle, d'autres points pourront apparaître, situés approximativement à égale distance des deux extrémités du segment.

Il est possible que certains élèves aient également l'idée d'utiliser le compas, car en début d'année en Sixième, ils sont amenés à tracer des cercles lors de la recherche de points situés à une distance donnée d'un point fixe ou pour trouver un point M tel que [MA] et [MB] soient de longueurs données (A et B étant des points fixés). La distinction avec le problème évoqué ici étant difficile à saisir, il est probable que des stratégies similaires soient mises en place. Le choix, notamment, de deux cercles de centre les extrémités du segment et de rayon la longueur du segment pourrait effectivement permettre de déterminer deux points solution. En faisant varier les rayons de ces cercles (tout en les gardant égaux entre eux), on pourrait trouver une multitude de points, à condition toutefois, de choisir un rayon supérieur à la moitié de la longueur du segment.

Quoiqu'il en soit, toutes ces stratégies ne devraient déboucher que sur des ensembles finis de points. L'extension vers la notion d'infinité, puis celle de continuité d'un segment et enfin celle de prolongement à une droite, constitue des obstacles difficiles à surmonter pour des élèves de Sixième. Et ce d'autant plus que la situation choisie rend incongrue la recherche d'une habitation très éloignée des deux pôles d'attraction de Maxime. L'appréhension de cet ensemble de points comme une droite, ce qui constitue un des objectifs de cette activité, nécessitera donc certainement l'accompagnement de l'enseignant.

2.2 Expérimentations

Nous avons enregistré puis analysé le déroulement de cette activité qui s'est poursuivie sur deux séances et nous avons ensuite complété cette observation par un entretien avec l'enseignant qui nous a permis de découvrir d'autres pratiques auxquelles nous n'avions pas pu assister.

Notre objectif durant cette étude sera de pointer les différentes utilisations de la caméra, puis de nous interroger sur leur intérêt d'un point de vue didactique.

Pour préserver l'anonymat des élèves, les prénoms ont été modifiés. Les lettres E et E' désignent des élèves de la classe qui n'ont pas été explicitement nommés pour ne pas alourdir le propos. Les photos présentées dans cet article sont extraites des films que la classe a pu suivre sur le tableau blanc grâce à la caméra reliée au vidéo projecteur.

3. Observations

L'enseignant présente l'énoncé de l'activité du jour :

Maxime voudrait que sa maison soit à égale distance du collège et de la plage. Où peut-il habiter ?

Sur une feuille blanche située sous la caméra, il schématise la situation en plaçant un point C, représentant le collège et un point P représentant la plage et interroge sur l'emplacement du point M pour que la condition soit vérifiée. Il accompagne ainsi le transfert de la situation « familière » vers la modélisation mathématique (notamment la représentation du collège et de la plage par des points). Il demande alors aux élèves d'effectuer individuellement leur recherche. Il passe dans les rangs, regarde les productions. Ses interventions se limitent à des encouragements pour les élèves qui n'ont pas réussi à démarrer l'activité ou à des incitations à chercher d'autres emplacements possibles pour ceux qui estiment avoir terminé leurs recherches. Il nous expliquera lors de l'entretien qu'il mémorise en même temps les travaux qui pourront lui servir lors de la mise en commun, soit parce qu'ils sont représentatifs des recherches effectuées par plusieurs élèves, soit parce que les raisonnements sous-jacents, erronés ou non, permettront d'enrichir la discussion.

A l'aide de la caméra, l'enseignant vidéo-projette la recherche d'un premier élève. Celui-ci, comme plusieurs autres élèves généralement en difficulté, n'a trouvé qu'un seul point solution : le milieu de [CP]. L'enseignant commente la production en indiquant au fur et à mesure sous la caméra les éléments évoqués et notamment l'alignement des points C, M et P :

M.M : Rayan, il a placé Maxime carrément entre les deux. Apparemment c'est aligné, on est d'accord ?

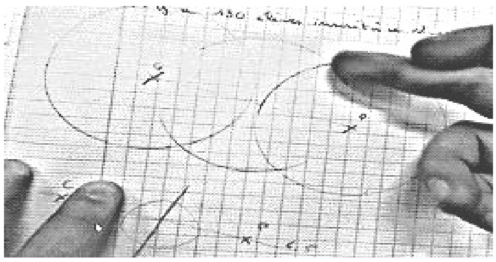
L'enseignant demande alors à Rayan d'expliquer son travail à la classe, mais devant son silence, un autre élève, Régis, intervient :

Régis : même si c'est pas ce que j'ai fait, je pense qu'il a pris la mesure. […] il a mesuré entre C et P et il a pris le milieu.

La classe acceptant cette solution, l'enseignant présente une autre production, celle de Ludivine. En expliquant la construction, il montre du doigt les éléments considérés :

M.M : Elle a placé C et P. Elle a tracé le segment. Elle utilise le segment pour planter le compas ici. Elle a tracé deux arcs.

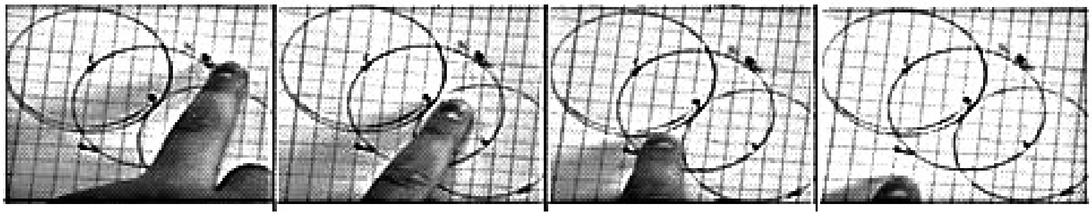
Ludivine explique qu'elle a tracé des cercles « de même taille ». L'enseignant reprend la formulation, amenant les élèves à dire qu'elle a tracé des cercles de même diamètre ou de même rayon.



La classe commente la construction proposée. Un élève annonce qu'il a fait la même chose et qu'il voudrait présenter son travail :

Régis : Je suis parti de ce point. J'ai fait mon arc. Et j'ai fait attention de passer par le point C. […] et ensuite, j'ai planté la pointe de mon compas sur ce point. J'ai placé un autre cercle. En faisant attention, bien sûr qu'il repasse par les deux points.

L'élève appuie ses explications de gestes sur son cahier qui est à présent vidéo-projeté pour toute la classe. L'enseignant demande de décrire les deux cercles de centre C et P et finit par introduire le terme « tangents ». Il demande ensuite à Régis d'expliquer comment il a trouvé ses points.



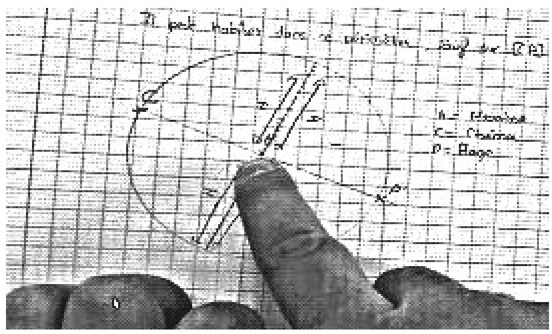
Régis : ben, je les ai trouvé parce que je sais qu'ils sont alignés à c'ui-là.

Le geste accompagnant ces propos décrit un segment, ce qui introduit une idée de continuité de l'ensemble solution encore non énoncée, ni même appréhendée par cet élève.

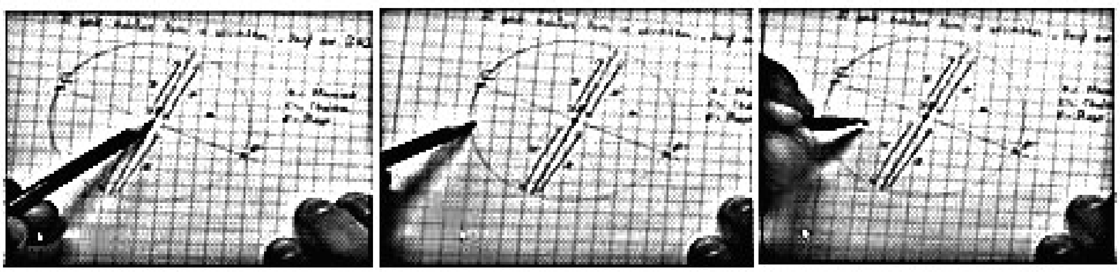
Une autre production est présentée à la classe. Cette fois, le segment est tracé mais les points placés sur ce segment semblent indiquer que l'élève conçoit encore les solutions comme un ensemble discret. Pourtant, la phrase écrite au-dessus de son tracé (« Il peut habiter dans ce périmètre, sauf sur [CD] ») induit une notion de surface (un disque privé d'un de ses diamètres).

Cette interprétation correspond d'ailleurs aux explications données par l'élève :

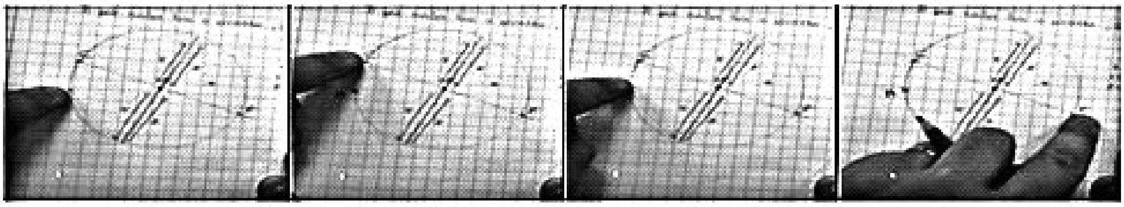
Farid : Eh ben il peut habiter tout à l'intérieur du cercle.



Cette affirmation soulève des remous dans la classe mais les explications sont quelques peu décousues. Pour étayer la discussion, l'enseignant désigne tour à tour trois points sur la figure :



Pour chaque point, il demande : « Est-ce que ce point fonctionne ? » et chacun donne son avis. L'enseignant illustre le propos des élèves en montrant sur la figure les éléments évoqués (ici, la longueur MC, puis la longueur MP) :



Lili : non […] parce que. Même sans mesure. Là, jusqu'à C, même à vue d'œil, on voit que le point M, si on l'appelle M, sera plus proche de C que de P.

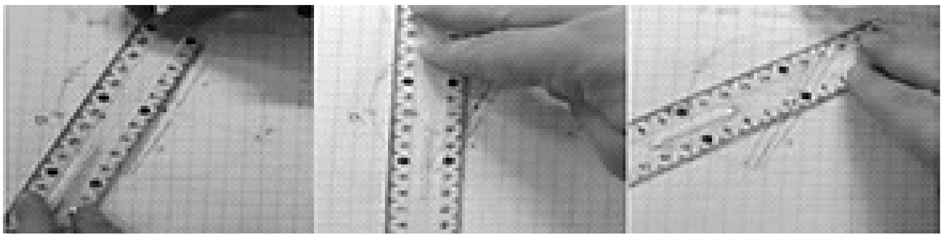
Comme l'enseignant demande si certains points du disque sont tout de même solution, un élève vient indiquer sur l'image vidéo-projetée le segment perpendiculaire à [CP] :

Roland : cette droite, c'est tous les points où il peut habiter. Et plus loin encore.

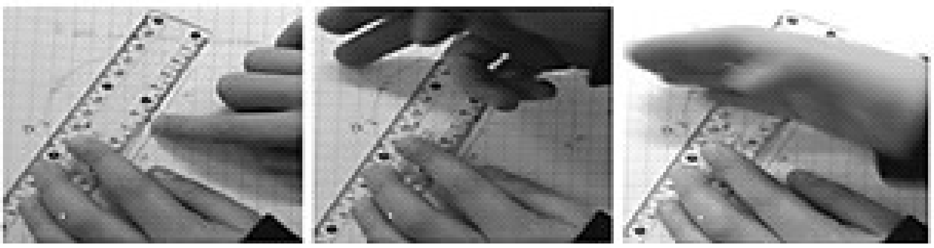
Quelques protestations fusent. L'enseignant reprend :

M.M : ah, ça peut pas aller plus loin ? On a un petit débat là. Roland il dit tous les points de la ligne fonctionne […] [Farid] a trouvé déjà plein de points. Combien il en a trouvé ?
E : plusieurs.
M.M : plusieurs. Combien ?
E : tous les centimètres
E' : une infinité

Cette dernière remarque d'un élève remet en cause la représentation des solutions comme un ensemble fini de points. L'enseignant demande alors à Farid de revenir pour montrer sous la caméra comment il a construit son segment. L'élève, utilisant ses instruments de géométrie, reprend sa construction. Il explique notamment qu'il a utilisé la règle pour tracer son segment. L'enseignant intervient et déplace la règle :



Farid : ben, j'ai tracé avec ma règle comme ça.
M.M : […] Ouais, mais tu l'oriente comment ? Comme ça ? Comme ça ?

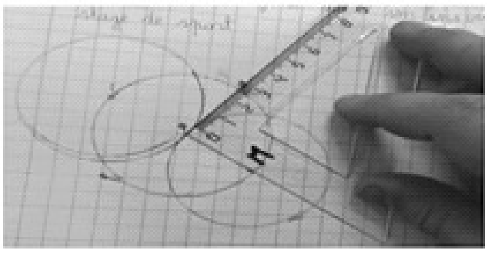


Farid : non non je l'ai… J'ai mis bien le trait à la droite comme ça. Et j'ai tracé.
M.M : alors quelqu'un a une critique à faire, là ? Regardez. Il fait comme ça. Il met bien le trait comme ça.

E : il vaut mieux prendre une équerre
M.M : il vaut mieux prendre une équerre.
E' : pour faire la perpendiculaire, faut une équerre.
M.M (à Farid) : tu pourrais la placer l'équerre…

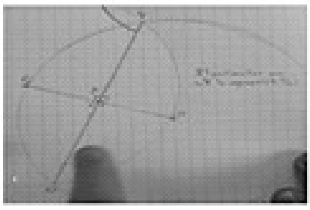
Farid ayant correctement positionné son équerre, l'enseignant ajoute :

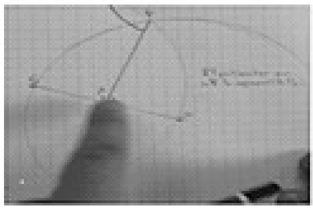
M.M : Donc c'est en faisant la perpendiculaire. Et on retrouve comme ça les points de Régis.
Régis : mais attention, moi c'est pas ce que j'ai cherché à faire. J'ai fait… J'ai fait… J'ai pas tracé la perpendiculaire.
M.M : c'est pas ce que tu as cherché à faire, je suis d'accord, mais regarde [M.M reprend le dessin de Régis et place l'équerre de manière à mettre en évidence un angle droit]
Régis : je l'ai trouvé quand même.



La notion de perpendicularité vient donc d'être introduite dans le milieu. Pour insister sur ce point, l'enseignant présentera le cahier suivant, qui lui donnera l'occasion de préciser le codage à utiliser :

M.M : Alors juste une petite remarque, Annabelle : un seul carré suffit [pour coder un angle droit]. Pas besoin de tous les codages.



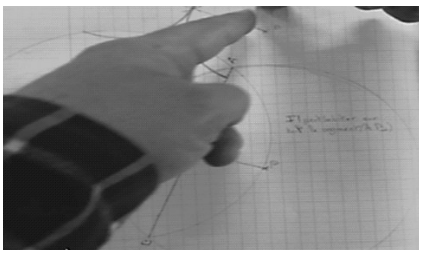


Cette fois, la continuité de l'ensemble des solutions paraît clairement perçue par cette élève : non seulement le segment est tracé mais la réponse indique « *Il peut habiter **sur tout** le segment [AB] »*. On voit également apparaître un autre type de construction de la médiatrice : celle utilisant les deux points d'intersection de cercles de rayon [CP] et de centre C et P. Par contre, l'idée de droite solution n'apparaît toujours pas.

L'enseignant propose de changer la focale de la caméra pour avoir une vue d'ensemble de son travail afin que tous les élèves puissent réfléchir à ce qu'il se passe au-delà du voisinage de [CP].

M.M : Alors, là y'a quelqu'un qui a quelque chose à dire. Vous allez peut être plus le voir si je dézoome.

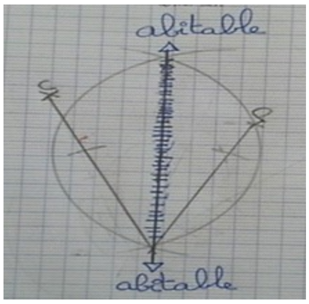
E : on peut prolonger les traits.
M.M : on peut prolonger, tout à fait. C'est-à-dire qu'en fait, elle s'est arrêtée pile à ces points qu'elle a appelé A et B, mais ces points ils sont arrivés comme ça. Et pourquoi est-ce que ça s'arrêterait, pourquoi est-ce que ce point-là ne marcherait pas?



Beaucoup d'élèves ne semblent pas convaincus par cette dernière remarque concernant la validité de points éloignés du segment [CP]. L'enseignant interrompt alors l'examen des productions des élèves pour présenter une animation sous son logiciel de géométrie dynamique. Celle-ci permet de colorer en bleu les points qui sont plus proches de C que de P et en rouge les autres. En balayant l'écran, deux demi-plans se colorent en bleu et en rouge, laissant apparaître une ligne de démarcation et l'enseignant insiste sur le fait que les points recherchés forment bien une droite, marquant ainsi le passage du discret au continu ainsi que le prolongement de l'ensemble au-delà du voisinage de [CP]. Les remarques de surprise qui fusent dans la classe montrent que certains élèves tout au moins, commencent à prendre conscience que des points, même très éloignés du segment [CP] peuvent être équidistants de ses extrémités.

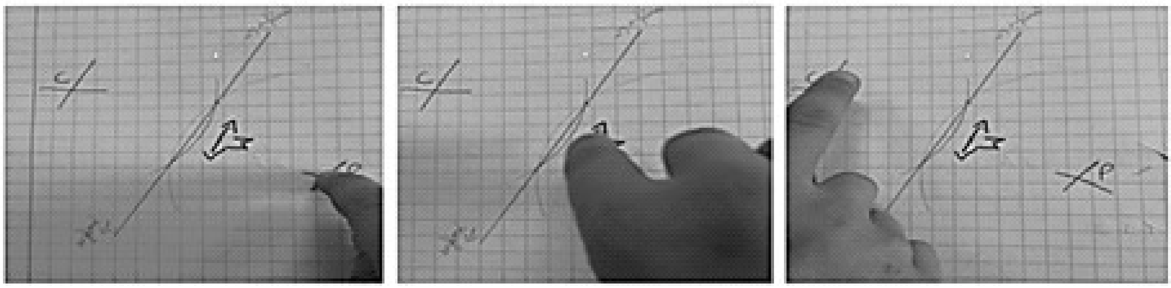
L'enseignant présente ensuite la production d'un autre élève. Il s'agit d'un travail beaucoup plus atypique mais qui permet de réactiver une construction faite précédemment.

M.M : il a créé un angle à la main, on sait pas trop comment il a fait cet angle. Mais lui, il s'est très bien souvenu de ce qu'on a fait avec la bissectrice. Il a voulu tracer une bissectrice parce qu'il s'est souvenu que les distances avec la bissectrice étaient égales. Et donc vous voyez qu'il a vraiment fait la construction de la bissectrice. [l'enseignant reprend la construction de la bissectrice en indiquant, sur l'image projetée, les arcs de cercles qui ont permis d'effectuer cette construction].

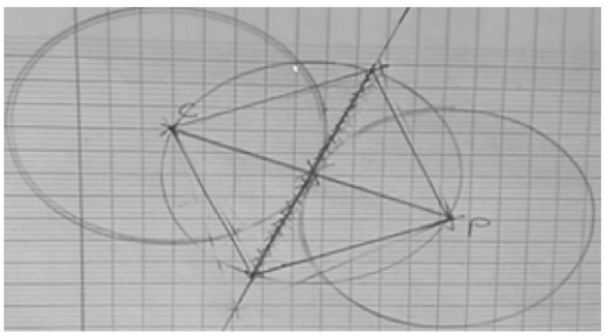


Cette stratégie, quoique surprenante (car le lien entre le problème proposé et la bissectrice de l'angle tracé ne semble pas évident), permet d'obtenir le bon ensemble de points à condition que le triangle soit isocèle (ce qui est approximativement le cas sur le dessin considéré). Elle présente donc l'ensemble de points cherchés comme une droite (dans la mesure où la bissectrice a été définie ainsi), ce qui est souligné par les deux flèches que l'élève a disposées de part et d'autre de la ligne tracée et qui induisent une idée de prolongement.

L'enseignant présente enfin la copie de Roland et demande à un camarade, Tao, de venir expliquer la construction effectuée :

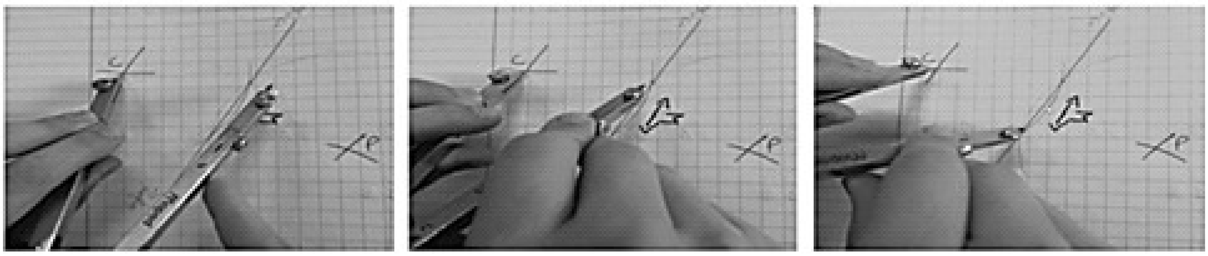


M.M : explique-moi avec le doigt.
Tao : ben, il a pris une mesure, le milieu de ça à ça. Et avec il a fait les cercles.
M.M : je suis pas trop d'accord avec toi, parce que quand on prend la mesure milieu, on obtient ça.



L'enseignant présente alors la production d'une autre élève, Dolores, qui a effectivement tracé des cercles de centre C et P et de rayon égal à la moitié de la longueur du segment [CP], afin que Tao réalise la différence dans les constructions obtenues. L'enseignant montre qu'ici les deux cercles tracés sont tangents, ce qui n'est pas le cas dans la production précédente. Tao reconnaît alors qu'il ne comprend pas comment le rayon a pu être choisi dans la construction de Roland.

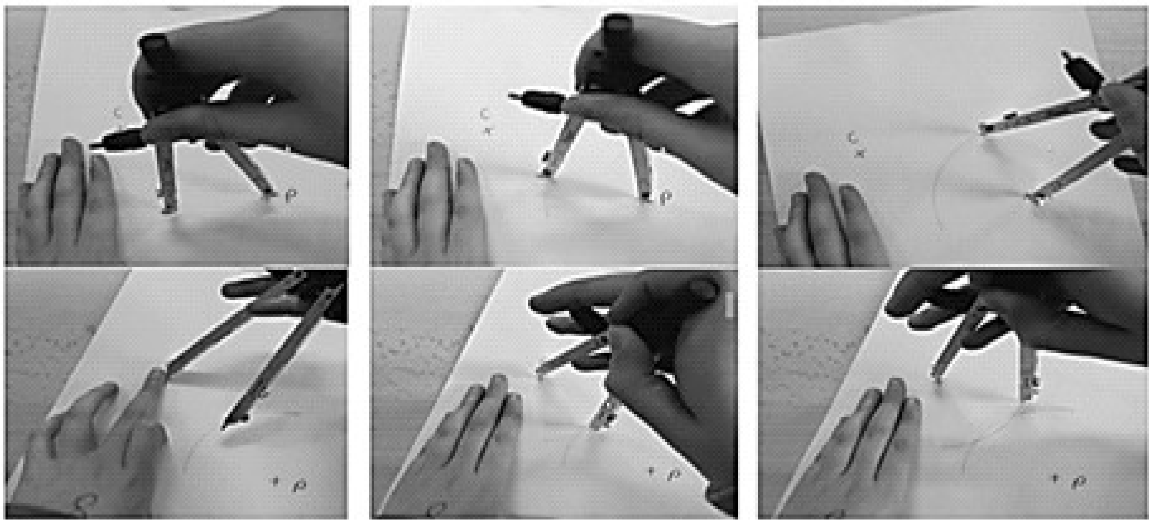
L'auteur de la figure explique qu'il a choisi un écartement de compas aléatoire. L'enseignant propose à Roland de venir expliquer sa construction et lui suggère d'utiliser ses instruments de géométrie.



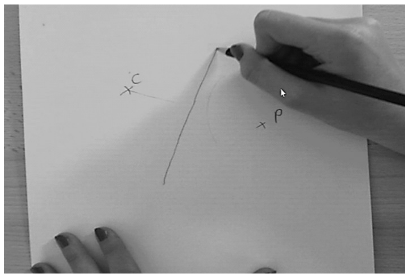
Roland : j'ai ouvert mon compas, j'ai fait deux arcs de cercle, j'ai tracé la droite et puis c'est tout. [...] j'ai marqué 'infini' en haut et en bas pour montrer que ça continue.

L'enseignant reprend le programme de construction proposé par Roland et insiste sur le fait que l'ensemble obtenu est bien une droite. Il demande ensuite à une autre élève de venir reproduire sous la caméra la construction précédemment décrite. L'élève s'applique dans ses constructions : elle maintient soigneusement sa feuille de la main gauche, la fait légèrement pivoter pour tracer l'arc de cercle, s'aide avec son doigt pour planter la pointe du compas au bon endroit, repasse sur son arc de cercle pour qu'il soit plus visible... L'enseignant et l'élève commentent au fur et à mesure les constructions :

M.M : elle a pris un écartement quelconque.
Annabelle : n'importe lequel.
M.M : n'importe lequel. Elle a pris un écartement n'importe lequel...
Annabelle : je garde le même.
M.M : très important, elle garde le même.



L'enseignant demande alors aux élèves de recommencer cette même construction sur leur propre cahier, ce que les élèves parviennent à faire sans grande difficulté. Ils effectuent ensuite en classe entière une synthèse qui sera notée sur les cahiers et la séance se terminera ainsi.

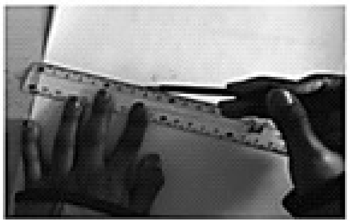
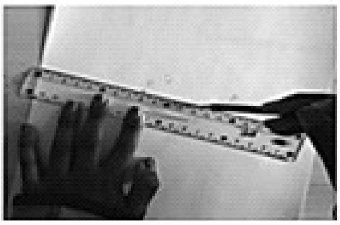
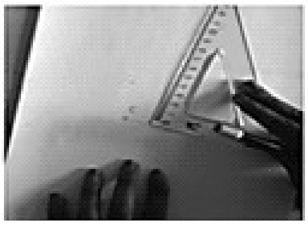


Lors de la séance suivante, l'enseignant demande à une élève de venir dessiner à main levée tous les points où Maxime peut habiter, les points C et P ayant été placés sur une feuille blanche:

Lydie : enfin c'est tout euh... la droite, elle peut continuer.

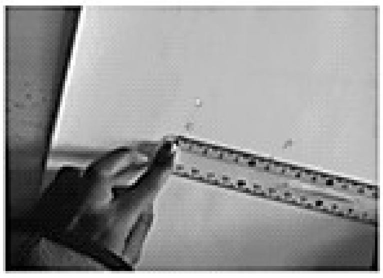
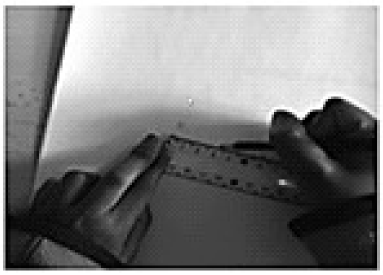
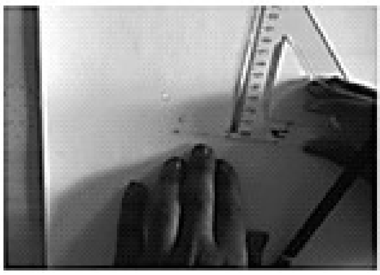
L'idée de continuité de l'ensemble solution, mais également celle de prolongement au-delà du voisinage du segment [CP], a donc bien été retenue par cette élève qui n'avait pourtant proposé lors de la dernière séance qu'un segment. L'enseignant demande alors aux élèves de décrire la droite obtenue « *comme si on voulait l'expliquer à un aveugle* ». Après plusieurs essais successifs, la classe parviendra à une formulation correcte : « *c'est la droite qui est perpendiculaire au segment [CP] et qui passe par le milieu du segment [CP]* ».

L'enseignant demande à présent à une élève de venir construire de manière plus précise cette droite en se servant des outils de géométrie. Sarah trace le segment [CP] puis s'y reprend à plusieurs fois afin de s'assurer que son équerre est bien collée au segment :

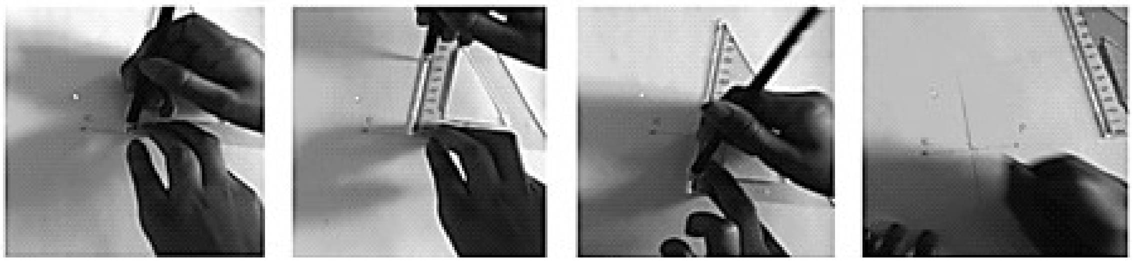
  

M.M : c'est bien ce qu'elle fait là. On pourrait penser que ça sert à rien. Mais en fait il faut tracer la perpendiculaire au segment [CP]. Donc on en a besoin de ce segment [CP]. Après elle fait la perpendiculaire au segment [CP] mais elle la fait passer par n'importe où. Est-ce que quelqu'un pourrait lui donner un petit conseil?

Annabelle décrit la construction à effectuer et Sarah suit ses conseils.

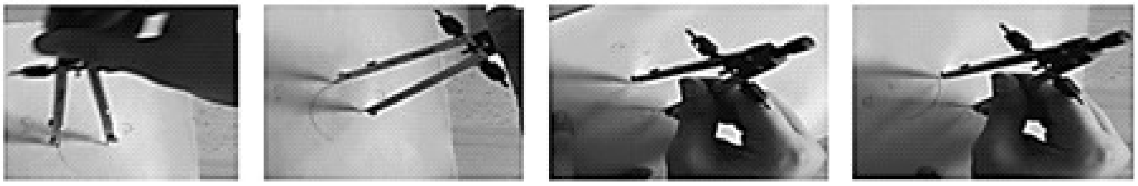
  

Annabelle : faut mesurer entre C et P, prendre le milieu et après tracer la perpendiculaire.



Sarah : je prends mon équerre et je trace.
M.M : ah, elle a oublié juste un petit truc.
Sarah : ah oui, c'est bon je l'ai mis [Sarah place le codage adéquat]

L'enseignant demande ensuite à la classe une autre méthode de construction de cette même droite, cette fois sans utiliser l'équerre ni les graduations de la règle. Tao effectue la construction sous la caméra. On le voit notamment faire pivoter sa feuille lors du tracé des arcs de cercle.



M.M : Il a pris un écartement, apparemment complètement au hasard. De toute façon, il a pas le droit de mesurer. Donc il a pas le choix. Et là, il ne change pas son écartement.

L'enseignant demande alors à une autre élève de recommencer la même construction sur la feuille présentant la médiatrice tracée avec l'équerre

M.M : j'ai fait cumuler les deux méthodes sur le même dessin pour vous montrer que l'on obtient à peu près la même chose.

L'enseignant utilise son logiciel de géométrie dynamique pour montrer aux élèves que quel que soit le rayon du cercle choisi (mis à part pour les rayons inférieurs à la moitié du segment), on obtient toujours la même droite. La classe (enseignant et élèves) écrira finalement sur le tableau blanc interactif et sur les cahiers, la leçon correspondante.

4. Discussion

L'observation de ces deux séances nous montre certaines des particularités dans le déroulement des cours, particularités entraînées par l'usage de la caméra. Il convient de se demander si ces transformations sont ou non pertinentes d'un point de vue didactique.

4.1 Prise en compte du travail de l'élève

La théorie de l'action conjointe (Sensevy & Mercier, 2007) insiste sur le rôle joué par les interactions à l'intérieur de la classe :

> La description et la compréhension de l'action didactique supposent de considérer celle-ci comme une action conjointe, fondée sur une communication dans la durée entre le professeur et les élèves, donc sur une *relation* qui actualise l'action, et qui est actualisée en retour par celle-ci. (Sensevy & Mercier, 2007, p.6).

Ces considérations mettent en évidence l'importance qu'il y a pour l'enseignant à prendre en compte le travail de ses élèves, voire éventuellement à le diffuser auprès du reste de la classe afin que cette relation ne se restreigne pas à des apartés de l'enseignant avec chaque élève mais bien à une communication avec l'ensemble de la classe. Le fait de réfléchir à une erreur, même si ils ne l'ont pas commise, peut également permettre à certains d'en saisir l'aspect erroné et de mieux comprendre la notion sous-jacente, à condition toutefois que cette erreur ne soit pas trop éloignée de leurs propres conceptions (dans la zone proximale de développement selon Vigotsky).

Pour la correction de devoir fait à la maison ou d'évaluations en classe

En début de séance, nous avons pu voir comment la caméra a permis d'utiliser une production d'élève authentique et de la rectifier en classe entière grâce au TBI pour obtenir la rédaction attendue. L'élève interrogé, mais également ceux qui ont reconnu dans la solution proposée un travail proche du leur, ont ainsi pu mieux cibler les éléments erronés de leur production. M.M nous dit également que la caméra a grandement enrichi ses séances de correction de contrôle. Durant l'évaluation des copies, il sélectionne certaines productions qu'il présente ensuite à la classe. La discussion s'engage alors pour comprendre le raisonnement proposé par tel élève ou l'origine de l'erreur commise dans telle résolution. La copie présentant la meilleure rédaction est choisie comme correction, après avoir éventuellement été complétée grâce au TBI. L'enseignant nous explique que cela a permis d'impliquer davantage les élèves dans la correction car même quand ce n'est pas leur copie qui est analysée, ils reconnaissent dans le travail de leur camarade certains éléments de leur propre production et cela leur permet de repérer les erreurs qu'ils ont commises.

Cette prise en compte publique des productions des élèves constitue également un facteur de motivation. Ainsi, nous avons pu observer que plusieurs élèves demandaient à ce que leur travail soit filmé. De même, lors du ramassage des figures construites à partir d'un programme de construction, les élèves attendent avec impatience que leur figure passe sous la caméra. Cette reconnaissance non seulement de l'enseignant mais également de leurs camarades constitue un réel attrait, comme l'atteste le nombre de figures rendues ce jour-là, ainsi que toutes celles qui recouvrent les murs de la salle. M.M nous dit également que depuis qu'il a mis en place ce système, la précision des constructions a augmenté, chacun souhaitant présenter à la classe la plus belle figure possible. Il estime d'ailleurs que le fait de savoir que leurs productions peuvent être vues par toute la classe, pousse les élèves à améliorer la présentation et la rédaction de leur travail : tant qu'elle reste dans l'intimité élève-professeur, une copie peut ne pas être très propre alors que pour être présentée à la classe, les contraintes que chacun s'impose sont plus lourdes. L'enseignant précise que cette publication des productions d'élèves ne doit pas donner lieu à des moqueries ou des critiques acerbes de la part des camarades, mais cela ne s'est jamais produit car il explique dès le début de l'année les objectifs et les règles sous-jacentes à cette pratique.

Lors de la mise en commun de recherches en classe

Habituellement, la discussion en classe entière des stratégies des autres élèves s'avère délicate à mettre en œuvre. Le travail en groupes et l'écriture sur des affiches facilitent cette diffusion, mais les constructions géométriques avec les instruments des élèves se révèlent difficilement visibles dans la classe et le recopiage au tableau s'avère particulièrement chronophage, ce qui pousse les enseignants à restreindre le nombre de productions étudiées. A contrario, durant la première séance, la classe a pu analyser huit recherches différentes. Ceci a permis aux élèves de prendre connaissance des différentes stratégies trouvées.

Par ailleurs, l'ordre dans lequel ces productions vont être analysées va permettre à la classe de construire collectivement la solution du problème posé. Certains élèves, comme Régis, vont reconnaître leur propre travail dans l'une des productions exposées et suivre la façon dont la classe complète peu à peu cet ensemble : après l'obtention du milieu, puis de deux autres points donnés par les intersections de deux cercles, la production de Farid amènera la classe à parler d'une infinité de points solution. Le geste de Régis pour montrer que ses points sont alignés, puis surtout la recherche d'Annabelle, confronteront la classe à la problématique du passage du discret au continu. A partir de là, l'enseignant amènera la classe à prendre en considération les points éloignés du voisinage du segment [CP], notamment en dézoomant avec sa caméra. Ceci va provoquer un certain débat dans la classe concernant la possibilité de prolonger ou non le segment obtenu jusqu'à l'illustration à l'aide du logiciel de géométrie dynamique et à l'examen de la copie de Roland qui présentera l'ensemble solution comme une droite. Nous pouvons constater que cette construction progressive de la classe a marqué les esprits, puisque lors de la deuxième séance, Lydie trace immédiatement une droite alors qu'elle n'avait tracé qu'un segment lors du cours précédent. De plus personne ne conteste cette fois cette solution. La gestion par M.M de cette mise en commun rappelle celle décrite par Butlen, Masselot et Pézard (2003) concernant un des enseignant observé : « Le professeur construit une histoire des productions des élèves en mettant en œuvre une phase collective conduite à l'aide d'une maïeutique et de nouvelles formulations des actions et des propositions des enfants [...]. Le maître peut ainsi transformer les itinéraires particuliers des élèves en un itinéraire générique acceptable par tous.» (Butlen, Masselot et Pézard, 2003, p.55-56).

De plus, ces nombreuses productions d'élèves ont permis d'illustrer les différentes méthodes de construction de la médiatrice visées par l'enseignant : avec l'équerre ou avec le compas. Dans la seconde séance, la caméra permettra de comparer les résultats obtenus : l'enseignant demande à un élève de recommencer la construction au compas de la médiatrice sur la feuille où se trouve déjà la construction faite par un de ses camarades avec l'équerre afin que tous réalisent que ces deux stratégies conduisent bien au tracé de la même droite. On pourrait imaginer une variante de ce dispositif en effectuant une des constructions sur une feuille calque et en superposant les deux productions sous la caméra.

Quelques bémols

Le premier élément qui peut frapper, lorsque l'on prend connaissance de ces observations, réside dans la place accordée aux perceptions, et notamment aux perceptions visuelles. On peut alors se demander si l'utilisation de la caméra ne tend pas à remplacer les démonstrations mathématiques par des monstrations. Or, le support visuel doit rester un atout pour guider l'élaboration, puis la démonstration de conjectures ; il ne doit pas remplacer le raisonnement qui sous-tend toute activité mathématique. C'est d'ailleurs l'un des enjeux du collège : passer de la géométrie perceptive à la preuve mathématique. Dans l'activité introductrice que nous avons choisi d'observer, l'enseignant a effectivement fait le choix de se placer dans le registre de la géométrie perceptive, particulièrement prégnant en début de collège. Mais ces observations de certaines productions ont servi de point de départ à des discussions, voire des débats dans la classe qui, sans atteindre le statut de preuve, ont permis aux élèves d'approcher des notions délicates comme celle d'infini ou de continuité et de construire progressivement l'ensemble des points vérifiant les conditions du problème. En outre, la leçon que l'enseignant a commencée dans la seconde séance revêtait une tournure beaucoup plus classique et les raisonnements mathématiques reprenaient alors la place qui leur était due. Il serait toutefois intéressant de poursuivre l'observation de cet enseignant sur un nombre plus important de cours, afin de nous assurer que cette alternance entre perceptions visuelles et raisonnements est bien maintenue.

Il est intéressant de noter le comportement de cet enseignant durant la phase de recherche des élèves : il est amené à accorder une grande importance aux productions de chacun, à imaginer les discussions qu'elles pourraient susciter, à sélectionner mentalement les plus pertinentes et à choisir l'ordre dans lequel les présenter. D'une part, cette organisation, particulièrement rapide, nécessite une certaine expertise pour amener effectivement la classe vers les discussions et les savoirs visés. D'autre part, cette tâche qui vient s'ajouter au travail de régulation de l'activité de la classe, peut être vécue par certains enseignants comme une surcharge.

Ainsi la possibilité offerte par la caméra de pouvoir analyser en classe entière les productions des élèves représente non seulement un facteur de motivation et l'opportunité pour chacun d'évaluer son propre travail mais également un moyen d'enrichir les discussions lors des mises en commun. Toutefois, pour être utilisé de manière pertinente, cet outil nécessite de réfléchir aux changements provoqués dans les pratiques et notamment de ne pas trop privilégier le stade de la monstration au détriment des raisonnements mathématiques.

4.2 Apprentissage de « savoir-faire transparents»

Mercier (1999) parle de 'savoirs transparents' pour qualifier les connaissances nécessaires à la manipulation des savoirs exigibles sans pour autant faire explicitement partie des objectifs d'enseignement.

> Ces savoirs sont institutionnellement transparents, c'est-à-dire que les institutions – où ils vivent pourtant – ne les connaissent pas pour ce qu'ils sont. (Mercier, 1999, p.109)

Pour tous (élèves, professeur, institution...), ces connaissances ne nécessiteraient aucun enseignement particulier. Pourtant certaines ne sont pas si naturelles que l'on se plaît à le croire et il n'est pas évident que tous les élèves entretiennent avec elles un rapport idoine. Comme nous le disions :

> Ce sont des objets qui bien que présents, restent transparents aux yeux de l'enseignant qui ne les considère pas comme de réels enjeux de savoirs. (Millon-Fauré, 2011, p.56)

Même si la manipulation des instruments de géométrie est inscrite dans le programme du cycle 2 de l'école primaire, elle laisse la place, dans le socle commun ainsi que dans le programme du collège, à des exigences concernant les constructions et peut donc alors être considérée comme un « savoir transparent », ou plus exactement un savoir-faire transparent. La construction de figures géométriques occupe pourtant une grande place dans les enseignements de mathématiques, notamment à l'école primaire et au collège car c'est à partir de l'étude d'objets sensibles que l'élève pourra appréhender les propriétés des objets idéaux abstraits (Walter, 2000). Dans ces classes, c'est d'ailleurs souvent au travers de constructions géométriques que l'enseignant évalue la connaissance que ses élèves ont des objets géométriques abstraits. Pourtant la manipulation des instruments de géométrie, que cela suppose, n'est pas triviale : Offre, Perrin-Glorian et Verbaere (2006) montrent que les choix opérés par les élèves, concernant l'utilisation de ces instruments, sont souvent guidés par un souci d'économie gestuelle ou conceptuelle qui les détourne de la technique attendue.

« Géométrie du tableau » et « géométrie du cahier »

Si le recours à la présentation au tableau permet généralement de montrer les travaux les plus intéressants ou de contrôler les stratégies de certains élèves, lors des activités géométriques le tableau perd de son efficacité, car les techniques mises en œuvre lors de tracés diffèrent en fonction du support utilisé. En effet, pour effectuer une construction au tableau, un élève devra travailler sur un support vertical et utiliser des instruments de géométrie beaucoup plus grands et encombrants que les siens, ce qui ne facilite pas les manipulations surtout chez les jeunes enfants. Conscient de ces difficultés et du temps nécessaire à de tels usages, l'enseignant préférera souvent manipuler lui-même ces instruments ou aider l'élève dans ses constructions. Par ailleurs, la reproduction d'une figure au tableau nécessitera un changement d'échelle indispensable à l'observation du reste de la classe : lorsque, pour tracer un segment de 3 cm, l'élève se réfère à la graduation 3 de la règle du maître, la longueur obtenue n'a pas grand-chose à voir avec la longueur qu'il a pu tracer sur son propre cahier. Il faut accepter que la figure ne soit la même qu'à une homothétie près. Le support sur lequel s'effectue la construction géométrique conditionne donc les techniques mises en œuvre. Par conséquent, pour l'élève qui regarde et qui est supposé apprendre de cette observation, il faudra transférer ces gestes, les adapter au cas de la construction sur feuille et notamment à l'usage d'instruments de géométrie différents.

L'usage de la caméra modifie grandement la situation. L'enseignant demande à ses élèves d'effectuer leur construction sur un support horizontal, une simple feuille, avec leurs propres instruments de géométrie. Les conditions sont donc les mêmes que celles dans lesquelles ils travaillent sur leur cahier. Cela facilite (et accélère) la construction pour l'élève qui manipule et le transfert pour ceux qui regardent, ce qui poussera l'enseignant à multiplier ce type de dispositif. Dans les deux séances observées, les élèves pourront ainsi assister à quatre constructions de la médiatrice au compas et deux constructions à l'équerre. Suite à ces observations, la plupart des élèves ont réussi à effectuer les mêmes constructions sur leur cahier. Certains gestes *a priori* anodins mais utiles lors des constructions sur feuille apparaissent publiquement grâce à la caméra : Annabelle s'aide du doigt pour s'assurer que la pointe de son compas se trouve exactement sur le point désiré, elle maintient sa feuille de l'autre main lors du tracé du cercle puis elle repasse une deuxième fois sur son arc de cercle peu visible; Sarah s'y reprend à plusieurs fois pour placer son équerre afin de s'assurer que son instrument est bien collé au segment, elle trace tout d'abord une demi-droite puis fait précautionneusement coulisser son équerre pour la prolonger en une droite ; Tao fait pivoter sa feuille lors du tracé de son arc de cercle.

Il faut noter qu'avec ce type de dispositif, l'enseignant peut constater (et éventuellement corriger) certains gestes de ses élèves. Il attire ainsi l'attention de la classe sur Sarah qui positionne son équerre de manière approximative. L'enseignant arrête également le geste de Farid qui tente de construire sa médiatrice en utilisant uniquement la règle : en faisant pivoter cet instrument autour du milieu de [CP], il montre à cet élève le manque de rigueur de sa construction. Farid explique alors qu'il essaie d'aligner la graduation de sa règle avec le segment [CP], en utilisant la transparence de son instrument. Notons que cette technique ne serait pas publiquement apparue lors d'une construction au tableau, car les instruments du maître étant opaques, Farid se serait sans doute senti obligé de prendre l'équerre et son utilisation de la règle pour tracer un angle droit (utilisation relativement courante chez les jeunes élèves) n'aurait pu être discutée en classe entière. M.M insistera aussi sur l'importance du codage, lorsque Sarah l'oublie ou lorsque Annabelle utilise des symboles inappropriés pour signaler l'orthogonalité des droites. L'enseignant a ainsi pu rectifier publiquement ces techniques, permettant aux élèves qui procédaient de même de se remettre en question. M.M nous explique que la caméra lui est particulièrement utile lors du travail sur la manipulation du rapporteur, notamment en classe de sixième. Le rapporteur du tableau est effectivement assez différent de celui utilisé par les élèves et le transfert des gestes observés au tableau vers les gestes attendus chez les élèves s'avère délicat. Grâce à la caméra, enseignant et élèves ont pu montrer l'utilisation des différents rapporteurs de la classe et étudier en classe entière les usages de nombreux élèves.

Manipulation de la calculatrice

Cet usage ne concerne pas que la géométrie : M.M nous dit également recourir à ce même dispositif pour l'utilisation de la calculatrice. Il s'agit là encore de savoir-faire transparents. En effet, même si de nombreux enseignants autorisent l'usage de cet outil lors des séances de cours ou d'évaluations, il est rare qu'ils prennent la peine d'en enseigner la manipulation : l'utilisation de la calculatrice est souvent considérée comme triviale, ce qui, au vu des usages effectifs des élèves mérite d'être questionné. M.M nous dit utiliser la caméra pour permettre aux élèves d'observer les techniques de manipulation de la calculatrice, notamment lors de calculs mettant en jeu des fractions. Il doit ainsi prendre chacun des trois ou quatre modèles de calculatrices de la classe et montrer, à chaque fois, la succession de touches nécessaires. Les élèves peuvent alors immédiatement repérer les manipulations correspondant à leur calculatrice.

Ceci rappelle les recherches de Guin & Trouche (1999). En observant des élèves confrontés à une activité nécessitant l'usage d'une calculatrice symbolique, ils mettent en évidence la complexité du processus d'instrumentation mis en jeu. Ils proposent donc un dispositif où un élève – appelé élève-sherpa – montre sur sa calculatrice (celle-ci étant vidéo-projetée devant toute la classe), les manipulations qu'il a effectuées. Ce dispositif permet de comparer différentes stratégies mises en œuvre lors de la manipulation de la calculatrice et d'améliorer ainsi la diffusion des techniques les plus pertinentes.

Encore quelques bémols...

Là encore, on peut s'inquiéter de la place réservée à la monstration. Pour enseigner, donner à voir n'est pas suffisant : simplement recopier les gestes présentés par un pair ne peut permettre d'acquérir de véritables techniques, transférables dans des situations similaires. Apprendre à construire une médiatrice, ce n'est pas seulement savoir reproduire les bons arcs de cercle, c'est également comprendre pourquoi les deux points d'intersection ainsi définis sont bien équidistants des deux extrémités du segment. D'après la Théorie Anthropologique du Didactique, toute technique devrait être accompagnée d'une technologie, c'est-à-dire d'un discours sur la technique qui l'explique et la justifie. Or en facilitant la monstration des gestes lors notamment des constructions géométriques, la caméra risque d'éviter aux élèves et à l'enseignant d'avoir recours à la formulation.

Dans les séances observées, on constate en effet que l'enseignant se contente parfois de pointer du doigt certains points ou incite les élèves à venir montrer les éléments dont ils veulent parler sur la figure (*M.M : explique moi avec le doigt)*. Toutefois, dans la plupart des cas, l'enseignant ou l'élève (ou parfois les deux ensemble) décrivent le déroulement des constructions présentées à la classe. De plus M.M demande à Annabelle d'aider Sarah en lui énonçant les constructions qu'elle doit effectuer. Il commente également pour toute la classe les constructions erronées. Notons tout de même que certaines de ces explications auraient pu être davantage développées : ainsi avant de bouger la règle de Farid pour montrer que l'on ne pouvait pas tracer une médiatrice à partir d'une simple règle, la classe aurait pu s'interroger sur le nombre de droites passant par un point donné ; de même, pour convaincre les élèves qu'il était inutile de coder les quatre angles droits formés par deux droites perpendiculaires, l'enseignant aurait pu demander s'il était possible de n'avoir qu'un seul angle droit dans cette situation. Il aurait en outre pu être intéressant de comparer les deux techniques obtenues pour tracer la médiatrice.

Par conséquent, la caméra permet à la classe (enseignant et élèves) de travailler au plus près des techniques effectivement exigibles et ainsi de simplifier l'acquisition des savoir-faire transparents nécessaires à l'activité mathématique. Toutefois, la facilité de monstration amenée par la caméra ne doit pas faire oublier l'importance du discours technologique.

4.3 Mémoire didactique

Lors d'un cours de mathématiques, les élèves auront régulièrement à réutiliser certaines de leurs productions précédentes ou à se remémorer une problématique antérieure, si bien que l'enseignant sera souvent amené à réactiver la mémoire commune de la classe en utilisant par exemple l'ostension (Salin & Matheron, 2002) :

> Nous appelons production de mémoire institutionnelle publique, le fait de donner à voir délibérément une pratique ou un objet comme s'il appartenait à la mémoire de tout sujet de l'institution pour le verser officiellement au compte de la mémoire commune.

Il ne s'agit pas seulement de rappeler des faits : le souvenir sera d'autant plus précis que l'événement aura été clairement situé en précisant fidèlement les termes employés ou les écrits obtenus. Or, au lieu d'une reconstitution approximative sous forme de narration de l'enseignant (« La dernière fois, on avait dit que... »), la caméra permet d'utiliser la puissance évocatrice de l'image (fixe ou animée). Dans la deuxième séance que nous avons observée, le fait de demander aux élèves de recommencer certaines constructions sous la caméra va permettre de rapidement rappeler à chacun le déroulement de la dernière leçon et donc de pouvoir poursuivre les recherches à l'endroit où elles avaient été interrompues. M.M nous dit qu'il utilise également pour cela des captures d'écran ou des morceaux de films enregistrés lors du cours précédent. Ce type de dispositifs peut aussi être utilisé pour réactiver une mémoire à plus long terme. Pour chacune des classes, les films et les captures d'écran sélectionnés par l'enseignant sont archivés chronologiquement. Ceci permet à M.M de revenir sur des recherches effectuées parfois plusieurs mois auparavant. Le fait de revoir la production de la classe sous sa forme authentique (puisqu'il s'agit d'une photo ou d'un film), éventuellement de réentendre certains de leurs échanges enregistrés ce jour-là pourra servir « d'ostensifs déclencheurs » :

> les ostensifs déclencheurs permettent une forte expression du souvenir car ils ont préalablement réalisé un encodage très stable de l'ostensif et du non-ostensif associé, aussi bien pour l'enseignant que pour les élèves. (Araya, 2008, 105).

Un extrait de film pourra ainsi être associé pour une classe donnée à une notion particulière et un simple visionnage pourra permettre à chacun de revivre les obstacles rencontrés ainsi que les techniques mises en œuvre pour les surmonter. M.M nous dit par exemple qu'il va précieusement garder les deux films correspondants aux constructions de la médiatrice avec le compas et avec l'équerre. Sur ces films apparaîtront donc les erreurs commises par les élèves (notamment celles de Sarah) et surtout la manière dont la classe les a corrigées. M.M espère, grâce à quelques visionnages, faire de ces épisodes des moments emblématiques qui s'imposeront à la mémoire de chaque élève dès qu'il se retrouvera confronté à ce type de tâche. Il nous explique qu'il a ainsi réutilisé le film de la construction de la bissectrice.

Quelque temps après avoir terminé ce chapitre, la classe a dû effectuer une construction géométrique nécessitant le tracé de plusieurs bissectrices. Comme beaucoup d'élèves ne se souvenaient plus de ce point, l'enseignant a projeté en boucle le film pris lors de la construction de cette droite par la classe en recommandant aux élèves de n'y avoir recours qu'en cas de réelle nécessité. Chaque élève a ainsi pu effectuer le travail demandé à son rythme : certains ont réussi à réaliser les constructions sans regarder la projection, d'autres l'ont utilisée pour un point particulier de la construction, voire pour toute la construction. Quoiqu'il en soit, la plupart des élèves ont réussi à réaliser la construction en autonomie, ce qui a permis à l'enseignant de se consacrer aux deux ou trois élèves en grande difficulté.

L'attention portée à cette mémoire pratique ne doit pourtant pas occulter l'importance de la formulation. Millon-Fauré (2011 ; 2013) montre comment des lacunes dans la maîtrise de certaines compétences langagières peuvent venir entraver l'activité mathématique des élèves. La possibilité de comprendre et d'élaborer un discours mathématique s'avère importante pour la communication dans et hors de la classe, mais également pour la construction même des concepts : Brousseau (1998) décrivait d'ailleurs cette phase de formulation comme nécessaire pour passer de l'application de théorèmes en acte à l'élaboration de véritables savoirs ré-exploitables dans d'autres situations. Millon-Fauré (2011 ; 2013) souligne notamment qu'il est important que les élèves mémorisent, en plus du concept, le terme spécifique associé. Pour cela, il est intéressant de recourir à un « enseignement en situation » c'est-à-dire à l'intégration du travail de ces compétences langagières au sein de l'activité mathématique.

Il convient donc de s'assurer que l'usage de la caméra n'occulte pas le travail de ces compétences langagières. Dans les séances observées, M.M prête une attention particulière aux discours qui accompagnent les monstrations : même s'il pousse les élèves à montrer les objets dont ils parlent, il les incite à accompagner ces gestes de mots. Il amènera ainsi la classe à rectifier l'expression « des cercles de même taille » employée par Ludivine, introduira l'adjectif « tangent » pour décrire la construction d'un élève (sans toutefois le définir rigoureusement), demandera à la classe de décrire la droite obtenue « comme si on voulait l'expliquer à un aveugle » (ce qui implique l'impossibilité, cette fois, d'utiliser la monstration). M.M nous dit avoir déjà utilisé les fonctionnalités de la caméra dans une classe d'élèves peu francophones avec qui il désirait travailler certains termes du lexique de géométrie élémentaire, ainsi que ceux concernant les instruments de géométrie. Il a repris un film réalisé précédemment dans cette classe lors d'une construction géométrique et l'a repassé en coupant le son. Il a alors demandé successivement à plusieurs élèves de refaire la description des actions visionnées, ce qui les a aidés à associer à chaque action, un terme spécifique. La caméra peut ainsi servir de prétexte au travail des compétences langagières nécessaires à l'activité mathématique.

Ainsi l'utilisation de la caméra peut faciliter la constitution et la mobilisation d'une mémoire didactique commune. Toutefois, ceci ne doit pas faire oublier que la mémoire pratique doit être accompagnée de l'acquisition de certaines compétences langagières, et notamment la mémorisation de certains termes spécifiques aux mathématiques.

Conclusion

Cette observation illustre de quelle manière la caméra peut être intégrée dans un cours de mathématiques. Une première étude semble montrer que ces usages ont facilité la prise en compte du travail des élèves, l'acquisition de savoir-faire transparents et la réactivation de la mémoire didactique. Il resterait à présent à démontrer que ces changements ont effectivement eu un impact positif sur les apprentissages afin de confirmer la pertinence de cette intégration.

Par ailleurs nous avons également pointé les travers vers lesquels l'utilisation de la caméra pouvait pousser les enseignants : la facilitation de la monstration, si elle présente des intérêts indéniables, risque d'occulter les raisonnements de type démonstration, les discours technologiques et la mémorisation du lexique mathématique. Par conséquent, il serait intéressant d'observer d'autres séances faisant intervenir la caméra, avec ce même enseignant ou d'autres professeurs, afin de mieux mesurer l'importance de ces risques et de déterminer les précautions à prendre pour que l'utilisation de cet outil se révèle vraiment pertinente.

Dans un deuxième temps, on peut se demander sous quelles conditions ces usages seraient reproductibles. L'intégration de cette nouvelle technologie dans sa classe a nécessité pour M.M d'une part un processus d'*instrumentalisation*, c'est-à-dire un apprentissage de certaines des fonctionnalités de la caméra et d'autre part une *instrumentation*, c'est-à-dire une adaptation de ses pratiques à l'utilisation de cet outil. Une intégration réussie de cette technologie constitue donc un processus complexe et l'on peut comprendre que beaucoup d'enseignants hésitent encore à s'y aventurer. Par conséquent, la *genèse instrumentale* que l'utilisation des nouvelles technologies nécessite devrait être accompagnée, non seulement sur le plan technique, mais également (et même surtout) concernant les exploitations didactiques possibles. Nous pensons que, dans cette optique, les études du type de celle présentée dans cet article pourraient s'avérer utiles. En effet, pour aider les élèves dans la transformation d'artefacts comme la machine à calculer en véritables instruments, Trouche (2004) proposait d'effectuer des *orchestrations instrumentales*, en comparant les usages de plusieurs individus pour que les techniques les plus pertinentes se propagent dans la classe. On peut de manière similaire imaginer la mise en place d'*orchestrations instrumentales* basées sur des analyses d'observations concrètes. D'ailleurs, Robert, Pennincks et Lattuati (2012) proposent d'utiliser des enregistrements vidéos de séances de classe pour la formation de formateurs et de professeurs. Enfin, en filmant des enseignants lors de leurs usages des nouvelles technologies, on pourrait amener ceux-ci à découvrir et à questionner les pratiques de certains de leurs collègues concernant les TICE : la mise en évidence de l'intérêt sur le plan didactique mais également une réflexion sur certains risques de ces usages pourraient permettre à chacun de comparer diverses pratiques et d'imaginer celles qui seraient les plus appropriées à une intégration dans leurs classes.

Références

ABBOUD-BLANCHARD M. et CHAPPET-PARIES M. (2011) Dans des environnements TICE, quelles pratiques d'enseignants pour quelles activités d'élèves ? *Actes de la 16e école d'été de didactique*. Carcassonne.

ARTIGUE M. (1997) Le logiciel 'DERIVE' comme révélateur de phénomènes didactiques liés à l'utilisation d'environnements informatiques pour l'apprentissage. *Educational Studies in Mathematics*, 33, 133–169.

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

BERGUE D. (1991-1992). Une utilisation du logiciel «Géomètre» en 5ème. *Petit x*, 29, 5-13.

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

BUTLEN D., MASSELOT P. et PÉZARD M. (2003). De l'analyse de pratiques effectives de professeurs d'école débutant nommés en ZEP/REP à des stratégies de formation. *Recherche et formation*, 44, 45-61.

CAPPONI B. et CLAROU P. (1985). Apprentissages numériques au collège. Un exemple d'utilisation de l'informatique dans une démarche pédagogique. *Petit x*, 9, 5-25.

CHEVALLARD Y. (1998). À propos des TICE : transmission et appropriation du savoir, nouveaux rôles de l'enseignant, organisation de l'établissement. Conférence à l'université d'été Les TICE : vers une transformation des pratiques pédagogiques et de l'organisation de l'établissement.
http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/A_propos_des_TICE.pdf

COMBES M.-C. et NOGUES M. (2005) Formation à distance des professeurs de mathématiques, vers de nouvelles pratiques professionnelles. Intégration des TIC et formation à distance dans un espace transfrontalier : l'exemple de la Catalogne et du Languedoc-Roussillon.

FOLCHER V. et RABARDEL P. (2004) Hommes-Artefacts-Activités : perspective instrumentale. *L'ergonomie* (Ed : P. Falzon) Paris : PUF, 251-268.

GUIN D. et TROUCHE L. (1999) The complex process of converting tools into mathematical instruments: the case of calculators, *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 3, 195–227.

HERSANT M. (2003) Des logiciels dans les classes : impact sur les connaissances des élèves et intégration à l'enseignement. Un exemple avec la « proportionnalité à travers des problèmes, *Petit x*, 61, 35-60.

LAGRANGE J.B. (2013) Analyzing teacher classroom use of technology: Anthropological Approach and Activity Theory. *International Journal of Technology in Mathematics Education.* 20.1.

LALANDE M.-A. (2010) Le tableau blanc interactif (TBI) en éducation : ses avantages et ses limites. Service national du RÉCIT à la FGA.

http://www.treaqfp.qc.ca/113/pdf/Coup_oeil_oct10/TBI_en_education.pdf

MERCIER A. (1999) *Sur l'espace temps didactique.* Note d'habilitation à diriger des recherches. Université de Provence (Aix-Marseille I).

MEYER A. (2012) Enseigner avec un tableau blanc interactif : une (r)évolution ? Analyse instrumentale d'une séquence d'enseignement de la géométrie au primaire. Mémoire présenté pour l'obtention du Master MALTT. Faculté de Psychologie et de Sciences de l'Education Université de Genève.

MILLON-FAURÉ K. (2011) *Répercussions des difficultés langagières des élèves sur l'activité mathématiques en classe : le cas des élèves migrants.* Thèse de doctorat. Université de Provence (Aix-Marseille I).

MILLON-FAURÉ K. (2013) Enseigner les compétences langagières indispensables à l'activité mathématique, *Repères Irem*, 90, 49-64.

OFFRE B., PERRIN-GLORIAN M.-J. et VERBAERE O. (2006) Usage des instruments et des propriétés géométriques en fin de CM2, *Petit x*, 72, 6-39.

RABARDEL P. (1995) *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains.* Paris : Armand Colin.

ROBERT A., PENNINCKS J. et LATTUATI M. (2012) *Une caméra au fond de la classe, (se) former au métier d'enseignant de mathématiques du second degré à partir d'analyses de vidéos de séances de classe*. Besançon : Presses universitaires de Franche-Comté.

SABRA H. (2009) Enseignement des mathématiques et TICE. Étude sur la littérature de recherche francophone 2002-2008. Documents et travaux de recherche en éducation. INRP : Lyon.

SALIN M.-H. et MATHERON Y. (2002) Les pratiques ostensives comme travail de construction d'une mémoire officielle de la classe dans l'action enseignante, *Revue française de pédagogie,* 141, 57-66.

SENSEVY G. et MERCIER A. (2007) *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves dans le système didactique*. Rennes : PUR.

TRAIN G. (2013) *Le tableau blanc interactif : un outil pour la classe de mathématiques ?* Thèse de doctorat. Université Paris-Diderot - Paris VII.

TROUCHE L. (2004) Environnements informatisés et mathématiques : quels usages pour quels apprentissages? *Educational Studies in Mathematics*, 55, 181–197.

WALTER A. (2000-2001) Quelle géométrie pour l'enseignement en collège? *Petit x*, 54, 31-49.