LES TECHNOLOGIES DANS L'ENSEIGNEMENT : ACTIVITE DE L'ENSEIGNANT EN CLASSE ET EN FORMATION

Maha Abboud[*], Fabien Emprin[**], Janine Rogalski[***], Fabrice Vandebrouck[***]

RÉSUMÉ
Ce texte s'appuie sur les considérations théoriques et méthodologiques présentées par Abboud dans son cours (volume des cours) et sur son approche de l'activité de l'enseignant dans des environnements technologiques. Il vise à développer plus en avant certains aspects de l'analyse des pratiques enseignantes réelles et de la formation de ces pratiques. Ceci est illustré travers trois études, les deux premières d'analyse d'activités en classe ordinaire et la troisième en formation via l'utilisation d'un simulateur de classe.

Mots-clefs : activité, enseignants, formation, régulations, ZPD, simulateurs

ABSTRACT
This text builds on the theoretical and methodological considerations presented by Abboud and on her approach to teaching activity in technological environments. It aims at deepening certain features of the analysis of actual teaching practices and the training of these practices. This is illustrated by three studies, the first two analyzing activities in regular classrooms and the third in training sessions through the use of a classroom simulator.

Keywords: activity, teachers, teacher education, regulations, ZPD, simulators

INTRODUCTION

Comprendre les pratiques enseignantes pendant la mise en place de séances intégrant les technologies est un enjeu important pour la recherche dans le domaine. Analyser l'activité de l'enseignant, non seulement dans sa préparation de tâches enrichies par les technologies mais aussi lors du déroulement effectif des séances correspondantes s'avère indispensable pour comprendre les difficultés, les tensions et les incertitudes auxquels il fait face et les choix explicites ou implicites qu'il fait pour les gérer en temps réel. Les outils conceptuels développés pour faire cette analyse peuvent en outre permettre l'identification de leviers de formation. Ce texte s'appuie sur les considérations théoriques et méthodologiques présentées par Abboud (volume 1) et sur son approche de l'activité de l'enseignant dans des environnements technologiques. Il vise à développer certains aspects de l'analyse des pratiques enseignantes réelles et de la formation de ces pratiques. C'est ce qui est illustré dans ce qui suit à travers trois études, les deux premières d'analyse d'activités en classe et la troisième en formation.

Le modèle de référence utilisé dans la première partie considère l'enseignement comme la gestion de situations dynamiques ouvertes. M. Abboud et J. Rogalski y proposent une analyse de l'activité de l'enseignant qui implique le diagnostic de l'activité mathématique des élèves, la gestion des incertitudes dues aux caractéristiques de la situation et à l'interaction avec la technologie, et la prise de décisions quant aux interventions didactiques appropriées.

La deuxième partie a pour but d'analyser les activités des élèves et de l'enseignant lorsque coexistent deux environnements de travail dans la classe : un classique papier-crayon et un innovant avec des tablettes. M. Abboud et F. Vandebrouck y présentent des outils théoriques autour de la notion de proximités — comprise dans une perspective vygotskienne — en s'intéressant aux zones que l'enseignant met en place pour soutenir l'apprentissage.

[*] LDAR, Cergy Paris Université
[**] Université de Reims, CEREP, IREM de Reims
[***] LDAR, Université Paris Cité

La troisième partie propose d'ouvrir la réflexion sur la formation des enseignants à l'utilisation de la géométrie dynamique à travers des simulateurs de classe. F. Emprin et M. Abboud y adoptent un point de vue théorique et méthodologique des observations des stagiaires en activité, mobilisant conjointement l'approche instrumentale à la double approche ainsi que des cadres relatifs à la formation à travers la simulation de situations professionnelles.

TENSIONS ET REGULATIONS DANS L'ACTIVITE EN CLASSE

1. Questions de recherche et outils théoriques mobilisés

Dans cette partie nous nous intéressons en particulier à l'étude de l'interaction enseignant-élève lorsque le premier diagnostique une difficulté chez le deuxième. Le modèle de référence utilisé considère l'enseignement comme la gestion d'un environnement dynamique ouvert (Rogalski, 2003) où l'activité de l'enseignant implique de faire un diagnostic de l'activité mathématique des élèves, de gérer des incertitudes dues aux caractéristiques de la situation — à l'interaction avec la technologie — et de prendre des décisions quant aux interventions didactiques appropriées.

En effet, lors de la préparation d'une séance, les enseignants se fixent un but quant aux mathématiques à rencontrer ou à pratiquer par les élèves. Des tâches sont données en ce sens aux élèves (i.e. *itinéraire cognitif prévu*), et les interventions enseignantes pendant la mise en place dépendent du cours de la réalisation de ces tâches. Ce qui se passe en classe est dynamique, et les enseignants en partagent la maîtrise avec la classe comme unité ou avec les élèves lors du travail individuel ou en petit groupe — ce qui est souvent le cas lors de l'usage des technologies. Les interventions enseignantes sont en interaction avec la dynamique propre du traitement de la tâche par l'élève ou les élèves, dynamique que les enseignants peuvent anticiper seulement globalement (Rogalski, 2003). Les enseignants sont souvent conscients de l'incertitude de leur diagnostic face aux difficultés des élèves et de la nécessité de faire des inférences pour choisir les aides appropriés. La conséquence d'un diagnostic inadéquat est que leur intervention se situe en dehors de la zone proximale de développement de l'élève (Vygotski, 1986), et peut entraver son travail au lieu de le soutenir. Des difficultés supplémentaires apparaissent quand les technologies sont utilisées : les retours fournis aux enseignants par les réactions de la classe sont dispersés sur les élèves travaillant via un logiciel ; il y a un rythme propre de traitement de la tâche par chaque groupe voire élève ; les actions des élèves sur les contenus mathématiques qui ont lieu via le logiciel ainsi que les retours de celui-ci ne laissent que peu de traces, voire aucune (Abboud-Blanchard, 2014). Si la prise d'information sur un élève ou groupe peut se faire « au plus près » de son activité (à la différence de la situation de classe, en général) elle ne peut pas avoir lieu de manière suivie, et plus important encore les contenus des rétroactions qu'a pu fournir le logiciel ont souvent été « opaques » aux élèves en difficulté (la cible des interventions).

En s'appuyant sur les éléments théoriques décrits dans le cours d'Abboud (Volume 1) pour l'étude des déroulements de séances intégrant les technologies, nous présentons ici un prolongement théorique qui cherche à caractériser la façon dont les enseignants diagnostiquent les difficultés de leurs élèves, et à examiner dans quelle mesure le traitement qu'ils en font répond aux besoins de leurs élèves. Nous essayons également de comprendre comment la gestion de ces moments est parfois source de tensions pour les enseignants, tensions qui peuvent évoluer vers des perturbations (Abboud & Rogalski, 2017).

Nous proposons un modèle adapté des travaux de Leplat (1997) en considérant que la gestion des activités des élèves en classe et ses interventions auprès d'eux peuvent se représenter comme des boucles successives de régulation. Nous considérons en particulier la boucle de régulation réactive qui compare le résultat obtenu à l'attendu initial (Leplat, 2006). Un composant essentiel de la gestion est le diagnostic (et son composant temporel : le pronostic de ce qui peut s'ensuivre). Nous illustrons ces boucles selon le schéma de la figure 1.

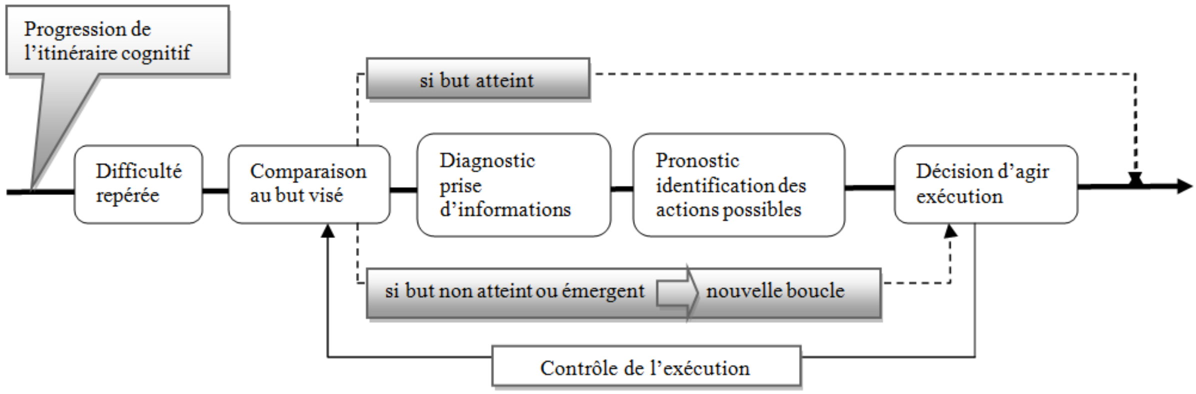

Figure 1. *– schéma de boucles de régulation successives en classe de mathématiques*

Ce schéma illustre que lorsqu'une difficulté de l'élève est repérée ou signalée, l'enseignant fait un diagnostic de l'état de la classe (ou des élèves singuliers) et repère l'état actuel de progression de l'activité de l'élève (ce diagnostic peut être réussi ou non). Il fait alors un pronostic sur l'évolution possible de cet état (basé sur les indices pris lors du diagnostic). La décision d'intervention de l'enseignant peut être de trois types : continuer l'intervention prévue en appliquant des routines (ou des actions anticipées) ; adapter des procédés didactiques connus (ou anticipés) ; résoudre le problème posé (à l'enseignant) par la situation (incompréhension, acquis non présents, la classe « décroche »…). Suite à l'intervention, il y a un contrôle de l'impact de l'action et une reprise (ou pas) vers le but à atteindre ou vers un but modifié (adapté...) ou nouveau (émergent).

Nous illustrons notre utilisation de ces outils théoriques et méthodologiques à travers l'étude de cas qui suit.

2. Étude de cas

Nous présentons l'analyse d'une interaction relativement longue (7 min) entre une enseignante (Marie) et une élève (Lisa) lors d'une séance de résolution de problème en salle informatique mise en place en classe de seconde dans un environnement de géométrie dynamique. Ce cas met en évidence les tensions qui affectent l'activité de l'enseignant tiraillé entre le besoin de diagnostiquer la difficulté de l'élève et l'avancée de la réalisation du travail mathématique jusqu'à l'objectif final visé.

Marie est une enseignante expérimentée qui a une utilisation régulière des outils technologiques dans son activité personnelle et qui fait travailler ses élèves souvent avec Geogebra™ et parfois avec Excel. Les interactions que nous présentons et analysons ici ont eu lieu lors de la deuxième séance d'un TP visant à : familiariser les élèves avec l'utilisation de l'environnement Geogebra™ pour des tâches mathématiques complexes, et revenir sur des généralités concernant les fonctions numériques (vues l'année scolaire précédente). L'énoncé du problème peut être résumé comme suit : *ABC est un triangle rectangle en B avec AB = 3 et BC = 6. M est un point variable sur [AB]. N est un point sur [AC] et P sur [BC] tels que MNPB soit un rectangle. Pouvez-vous trouver des positions de M telles que l'aire du rectangle MNPB soit égale à la moitié de l'aire du triangle ABC ?*

Lors de la première séance, l'enseignante avait guidé ses élèves dans l'utilisation de Geogebra™ pour construire la figue (cf. figure 2) à l'aide d'un document de travail qu'elle leur a fourni au début et qui détaille toutes les étapes de construction sur le logiciel (géométrique, graphique et tableur). L'utilisation de Geogebra™ dans la deuxième séance vise à explorer la figure et à examiner l'aire du rectangle MNPB pour différentes positions du point M après avoir créé une feuille de calcul affichant les valeurs de la longueur *AM* et de l'aire du rectangle.

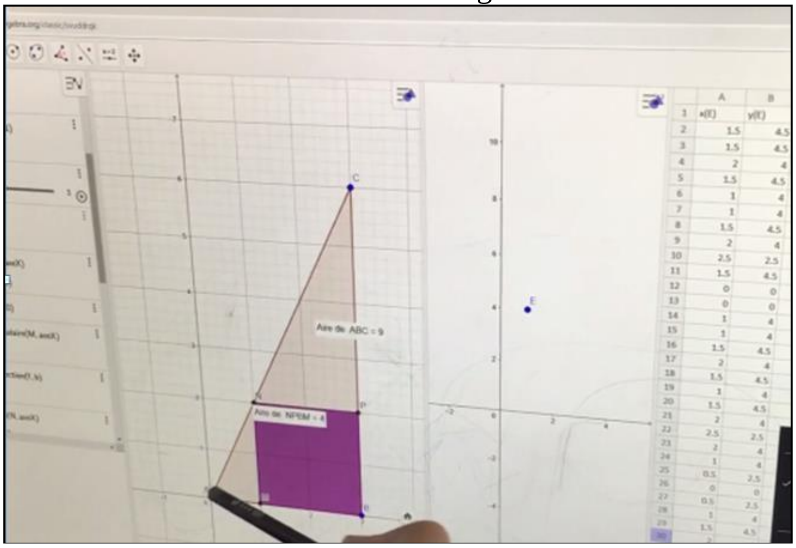

Figure 2. *– Une capture d'écran de l'écran de Lisa au début de l'interaction observée.*

Dans ce qui suit, nous relevons deux phénomènes qui apparaissent dans l'activité de l'élève et que l'enseignante n'avait pas prévus

3. Un malentendu qui s'installe : des boucles de régulation en cascade

Dès le début de l'interaction une incompréhension apparaît sur l'objectif de la tâche pour l'élève. Lisa, se concentre sur ce qu'elle voit à l'écran dans la fenêtre géométrique (un rectangle dans un triangle), et comprend la hauteur MN du rectangle comme étant l'ordonnée y du point M. L'enseignante diagnostiquant cette incompréhension, essaye d'amener l'élève à identifier que l'ordonnée *y* correspond à la valeur de l'aire du rectangle AMNB, et est fonction de AM dans la fenêtre graphique.

P : à ton avis, la représentation graphique gauche est une représentation graphique d'une fonction ?

Lisa : oui, ouais [dubitative]

P : ah bon, c'est une fonction ça ? C'est que…

Lisa : non… à la base c'est un quadrillage

P : non, mais, c'est ce que tu as représenté ici ?

Lisa : ah ! un triangle

P : un triangle, dans dans quoi ? dans quel domaine ?

Lisa : la géométrie

P : voilà ! donc tu es en train de te rendre compte que visuellement sur ton dessin, ça, sur ta figure géométrique

Lisa : oui

P : tu peux finalement voir la valeur de l'aire

Lisa : oui [un « petit » oui, peu convaincu]

P : OK ! À quel endroit on pourrait éventuellement associer cette valeur de l'aire à une ordonnée ?

Lisa : mmm MN [geste sur le trait vertical, elle a mis son crayon parallèlement à ce trait]

P : à quel endroit de ta… de.. de.. de ton

Lisa : ah, euh

P : de ton ordinateur

Lisa : là

P : de ton ordinateur [insiste sur ce mot]

Lisa : ah

Réalisant que cette aide n'aboutit pas, l'enseignante va tenter de passer par la représentation tableur, entamant ainsi une deuxième boucle de régulation.

P : ça, c'est quoi ? [geste sur une colonne du tableur à droite de l'écran]

Lisa : ça, c'est, euh c'est un tableur, qui représente les différentes variations quand on bouge MN, AM, toutes les variations

P : d'accord, AM, OK. AM se lit où dans ton tableau ?

Lisa : euh, eh bé, dans mon tableau, y'a x

P : x c'est quoi ?

Lisa : AM

P : oui

Lisa : et yE c'est MN

P : c'est quoi, MN ?

Lisa : euh, c'est pas…

P : ah, ben non

P : qu'est-ce qu'on t'a demandé de calculer à chaque fois ?

Lisa : euh, je sais pas…

L'enseignante tente alors une autre approche en essayant de faire réaliser à Lisa l'objectif du travail en cours

P : finalement, cet exercice, il te montre quoi ?

Lisa : il me montre qu'à partir d'une géométrie on peut avoir une fonction

P : non, ce n'est pas ça qu'il te montre. Qu'est-ce qu'il te montrait, là [P fait un geste qui tourne au-dessus du rectangle grisé MNPB]

Lisa : les différentes aires du carré en fonction de AM

P : c'est ça ! c'est-à-dire que l'aire du carré, enfin de la figure, du carré.. du rectangle.. du quadrilatère .. varie

Lisa : selon

P : selon la place de M sur AB, et donc selon AM

Lisa : oui

P : OK ! Est-ce qu'à ton avis, ici [début de geste sur le côté vertical MN, puis changement] la valeur que tu vois ici correspond au fameux y [geste sur le tableur], est-ce que abscisse/ordonnée répond [correspond] à ça ? ou est-ce que c'est abscisse/ordonnée d'autre chose ? Je ne sais pas si je suis claire…

[…]

Face à l'incertitude de Lisa, Marie tente une dernière approche en lui proposant de prendre des exemples.

Lisa : si je mets mon aire à 4 et M à 1 on a bien 1 et 4
P : d'accord ! Donc qu'est-ce qu'on est en train de voir ? que y c'est…
Lisa : c'est l'aire
P : alors, ça peut pas être une ordonnée
Lisa : euh, ben on
P : alors à quel endroit on peut avoir abscisse/ordonnée ?
Lisa : ben abscisse c'est toujours AM, mais…

Tout au long de ces échanges, on observe donc une tension majeure qui s'installe et que l'enseignante n'arrive pas à gérer. Lisa est complètement concentrée sur les sous-tâches locales en réponse à certaines questions ponctuelles de l'enseignante, tandis que Marie suit l'itinéraire cognitif prévu, qui vise à aider l'élève à comprendre les transitions entre les cadres de représentation d'une fonction.

Ce premier phénomène est accentué par un deuxième que nous supposons que Marie avait du mal à diagnostiquer

4. Une tension cognitive due à une difficulté dans le diagnostic

L'élève semble avoir une conception erronée, selon laquelle l'ordonnée *y* est une ligne (qu'elle appelle trait) et non une valeur numérique, qui a été un obstacle à sa compréhension de la tâche. Cette notion a été travaillée au collège et elle est donc supposée acquise à l'entrée au lycée. Marie ne s'attendait par conséquent pas à ce que ce soit un problème pour Lisa. Ainsi dès le début de l'échange on relève ce qui suit :

> P : qu'est-ce qui te gêne ?
> Lisa : c'est que l'ordonnée c'est un carré au lieu d'être un trait
> P : parce que l'ordonnée c'est un trait ?
> Lisa : oui, c'est un trait perpendiculaire à l'axe des abscisses

Étant au début de l'échange avec Lisa et voulant diagnostiquer la difficulté qu'elle attribue au passage du cadre géométrique au cadre graphique, Marie ne prend pas en compte cette information (la définition de l'ordonnée) qui gênait Lisa. Cependant, plusieurs interactions plus tard, la même difficulté réapparaît quand Lisa fait un geste simulant un trait vertical avec son crayon en parlant de l'ordonnée (cf. premier extrait plus haut). Cette difficulté de diagnostic persiste d'autant plus que Marie est entièrement concentrée à guider Lisa à explorer les différentes fonctions du logiciel pour qu'elle arrive à concevoir l'aire du rectangle comme une fonction de l'abscisse de M alors que Lisa ne pouvait penser à l'ordonnée *y* autrement que comme une ligne verticale. Les régulations tentées par l'enseignante avaient de ce fait peu de chance d'aboutir ! Vers la fin de l'épisode on relève encore l'échange suivant :

> P : ouais, afficher la trace
> Lisa : [manipule…]
> P : mais non, c'est bon, qu'est-ce que tu voulais faire ?
> Lisa : je voulais un trait
> P : un trait, pour quoi faire ?
> Lisa : pour avoir une trace en trait(s)

À la fin de cet épisode, on observe que l'enseignante tente d'accélérer le rythme afin de gérer la tension temporelle dont elle a désormais conscience. Dès que Lisa parle d'une fonction *(P : mais quand est-ce qu'on fait une courbe graphique ? Lisa : quand on a une fonction P : voilà, ça y est, on y est !)*, Marie valide son propos. Ici, l'enseignante avait besoin de croire que son élève a avancé vers l'objectif visé, même si elle ne l'a pas encore atteint (au moins elle est sur le bon chemin), pour pouvoir poursuivre le travail avec le reste de la classe.

5. Conclusion

Cette étude montre que le diagnostic, et les boucles de régulation associées, dans l'activité de l'enseignant deviennent plus complexes en situation d'utilisation des technologies puisqu'il faut démêler ce qui revient à une maîtrise insuffisante du logiciel et ce qui relève de difficultés proprement mathématiques. Le cas de Marie montre en particulier la difficulté parfois pour l'enseignant de poser un diagnostic efficace face à un problème que rencontre l'élève, notamment lorsqu'il se base sur des connaissances d'élèves supposées acquises. La situation est encore plus complexe pour l'enseignant lorsqu'à la fois, cet « amont » des acquisitions supposées est lointain, et indispensable pour s'engager dans une activité intégrant les technologies. La rapidité de prise de conscience d'un tel problème résistant est un facteur crucial pour que la tension temporelle due au retour sur le sens de ces notions n'évolue pas en véritable perturbation (cf. le cas de Daisy dans Abboud & Rogalski, 2021).

Notre approche peut sembler de prime abord non spécifique à une situation intégrant les technologies, mais nous pensons que la présence d'instrument technologique dans l'activité de l'enseignant et dans celle de l'élève agit comme amplificateur des phénomènes que nous étudions. De plus, des phénomènes propres à l'utilisation des technologies compliquent les diagnostics enseignants sur les problèmes rencontrés par les élèves. Du fait de la « transposition informatique », dont Balacheff (1994) a souligné l'importance, les objets traités via le logiciel ne sont pas exactement les objets mathématiques « habituels » (par exemple, il n'y a que du discret et pas de continu, même en acte). Le logiciel rend visiblement réalisables des actions logiques, comme les liens entre les changements de valeurs d'une variable et ceux d'une fonction de cette variable, il peut aussi proposer un passage entre modes de représentation : géométriques avec mesures possibles, tableaux de valeurs de ces mesures, graphes de fonctions (comme dans le cas étudié ci-dessus). Toutefois, si ces apports avérés des technologies masquent pour l'enseignant les effets parfois inattendus de la transposition didactique sur l'activité de l'élève, les régulations que l'enseignant entreprend perdent de leur efficacité ou bien l'amènent à abandonner son projet initial (perturbations dans l'itinéraire cognitif prévu).

PROXIMITÉS ET TENSIONS DANS UN ENVIRONNEMENT DOUBLE

1. Questions de recherche et outils théoriques mobilisés

Dans cette partie, les questions de recherche sont relatives à l'utilisation des tablettes en classe de mathématiques. Comment l'enseignant installe-t-il un environnement de travail intégrant les tablettes ? Quelle articulation des deux environnements (tablettes et papier-crayon) prévoit-il pendant la phase de préparation ? Quelles interactions entre les deux environnements sont à l'œuvre pendant le déroulement et quel rôle l'enseignant y joue (ou pas) afin d'atteindre les objectifs en termes d'apprentissages mathématiques ?

Pour traiter ces questions, nous utilisons la notion de tensions développée dans la partie précédente. De plus, nous faisons appel à la notion de zone proximale de développement (ZPD) (Vygotsky, 1986) ainsi qu'aux zone de libre mouvement et zone d'action promue (ZFM/ZPA) (Valsiner, 1987). Du point de vue de l'apprentissage, la ZPD désigne une zone de connaissances de l'élève qui inclut celles qui lui permettent de réaliser des tâches sans aides et celles qu'il est capable d'acquérir avec l'aide de l'enseignant. La ZPD représente donc un ensemble de possibilités de développement des connaissances. D'un point de vue pratique, l'enseignant met en place un environnement numérique de travail qui intègre des instruments pour soutenir la compréhension des notions mathématiques à apprendre par les élèves. Cette mise en place fait apparaître deux zones :

- la zone de libre mouvement (ZFM), qui structure la manière dont les élèves accèdent aux différentes zones de l'environnement de travail et interagissent avec les différents instruments de ces zones ;
- la zone d'action promue (ZPA), qui vise à faciliter l'acquisition des nouvelles connaissances visées.

Ce que l'enseignant fournit (dans la ZFM) et ce qu'il promeut (dans la ZPA) sont interdépendants et sont considérés simultanément, d'où la combinaison des deux en ZFM/ZPA dans les travaux qui y font appel (Blanton et al., 2005). Pour que l'apprentissage soit possible, la ZPA doit être compatible avec la capacité d'apprentissage de l'élève (ZPD), et pour que l'approche prévue de l'apprentissage ait une chance de réussir, la ZPA doit se situer dans une ZFM efficace.

En lien avec ces concepts de zones, nous développons également un concept introduit précédemment par Robert et Vandebrouck (2014) : les proximités cognitives discursives. Ce concept permet de traquer les moments où l'enseignant dans son discours tente d'opérer des rapprochements entre les connaissances déjà là, ce qui se fait ou a été fait en classe de la part des élèves et ce qu'il veut introduire. Ce concept a été introduit pour étudier les interventions de l’enseignant dans des environnements papier-crayon. Dans notre travail actuel, nous l’étendons à des environnements enrichis par les technologies. En effet, les interventions de l’enseignant dans ces environnements ne se situent pas toujours ni au niveau des connaissances mathématiques (proximités cognitives) ni au niveau du discours (proximités discursives). Nous introduisons ainsi la notion de proximités pragmatiques qui peuvent être discursives ou non (actions au-delà des discours) et qui sont en particulier relatives à l’utilisation des instruments présents dans l’environnement. Les proximités pragmatiques renseignent sur les opportunités que les enseignants offrent à leurs élèves, sous forme d’une ZFM/ZPA mise en place pour les engager dans les apprentissages mathématiques.

Lors de l’analyse des données, nous distinguons les proximités *prévues* lors de la préparation et *effectives* lors du déroulement. Les proximités cognitives et pragmatiques sont (ou peuvent être) prévues lors de la mise en place de la ZFM/ZPA. Une intervention discursive ou non discursive peut être planifiée pour se rapprocher le plus possible de la ZPD des élèves. Les proximités effectives prennent deux formes : des actions planifiées qui sont effectivement réalisées ; des actions improvisées qui sont développées in situ. Ces dernières dépendent directement de ce que l’élève fait et visent à garantir que les actions soutenues par la ZPA soient possibles (ou atteignables) dans la ZPD. Dans le premier cas, l’enseignant peut supposer qu’il y a une proximité effective alors que ce n’est pas le cas ; cela contribue aux *tensions observées* dans la classe.

Nous illustrons notre utilisation de ces outils théoriques et méthodologiques à travers l’étude de cas qui suit.

2. Étude de cas

Nous présentons l’analyse d’une situation mise en place en classe de 6^{e} dans un environnement où coexistent deux environnements : papier-crayon et tablette.

Le professeur, Roger, a une vingtaine d’années d’ancienneté dans le métier. Il enseigne dans un collège de banlieue d’une grande ville du nord de la France ; le niveau des élèves est hétérogène. Il utilise les technologies depuis plus de 10 ans. Il est très familier de Geogebra et l’utilise régulièrement dans ses classes. Il est membre d’un groupe IREM et membre de la commission inter IREM sur les TICE. Son établissement est équipé en tablettes qu’il distribue aux élèves lorsqu’il les utilise pendant une séance. Selon lui, les élèves peuvent éprouver du plaisir à simuler des situations réelles grâce aux technologies et c’est avec cet esprit qu’il a conçu sa situation des « monstres » pour ses élèves de 6e. Dans cette situation, l’enjeu est de remobiliser les connaissances opératoires des élèves à propos du cercle afin d’en institutionnaliser une définition comme ensemble de points équidistants du centre. Les élèves ont déjà abordé la notion de cercle à l’école primaire mais en ont une connaissance plutôt opératoire liée à un enjeu de construction, identifiant centre et rayon et utilisant le compas. Avant la séance observée, les élèves de Roger ont déjà manipulé GeoGebra pour construire sur une droite un point à une distance donnée d’un point fixe.

La séance est divisée en trois phases successives. Dans la première, la tâche est dévolue, avec la tablette du professeur projetée au tableau, mais les élèves n’ont à leur disposition que la fiche élève papier. Ils doivent développer un travail individuel. Dans la phase 2, il y a un changement d’environnement : la tâche est proposée sur la tablette où des feedback « gagné/perdu » sont possibles. Les élèves peuvent faire plusieurs essais. Un bilan intermédiaire est fait au tableau avec un élève et enfin, pendant la phase 3, les élèves font une production définitive sur leur fiche papier (les deux environnements coexistent) et doivent rédiger leur construction en utilisant un vocabulaire géométrique approprié.

3. La situation proposée et le relief sur l'enseignement de la notion en jeu

Il s'agit en fait d'une tâche papier-crayon que Roger a adaptée pour l'environnement tablette. L'enjeu de la situation papier-crayon est de faire mobiliser la notion de cercle comme outil pour répondre à la question « aide la petite fille à traverser la pièce ». L'énoncé de la tâche pour l'environnement papier-crayon se trouve en figure 3.

Traversée de la pièce 6e
Fiche élève

Élève : *Auteur : PETIT Raphaël © octobre 2019*

Une petite fille vient d'entrer dans une pièce sombre par la porte E.
La porte se referme violemment (clac !).
Elle est verrouillée, impossible de l'ouvrir !
Elle se retourne, ses yeux s'habituent à l'obscurité ….
Ah ! Elle devine 3 monstres qui se réveillent !
Vite ! Elle veut rejoindre la porte de sortie qu'elle aperçoit enfin en S ...

A toi de l'aider à traverser la pièce !
Dessine un chemin qu'elle pourra suivre sans se faire attraper.

Quelques informations utiles pour que tu puisses l'aider :

- la pièce est un carré de côté 8 m ;
- elle est représentée à l'échelle avec 1 cm pour 1 m en réalité ;
- un monstre est attaché au point P par une chaîne de 3,8 m de long ;
- un autre monstre est attaché au point Q par une chaîne de 3 m ;
- un dernier monstre est attaché au point R par une chaîne de 2,6 m.

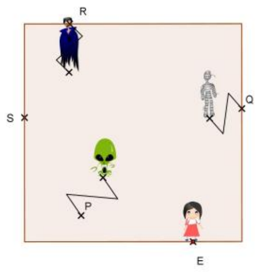

Figure 3. *— Énoncé de la tâche proposée aux élèves (fiche élève).*

L'enseignant part ici de l'hypothèse que les élèves ont une connaissance du cercle défini par son centre et son rayon. Ce qui est visé dans cette nouvelle situation, c'est le cercle comme objet géométrique, ensemble de points équidistants de son centre, la distance étant le rayon (programme de fin de cycle 3, classe de 6e). Il s'agit donc d'un changement de niveau de conceptualisation de la notion de cercle.

La notion de ZPD est ainsi cruciale dans notre analyse. L'apprentissage des élèves va supposer, non seulement des activités mathématiques de leur part sur la tâche proposée[1], mais aussi des proximités discursives à développer de la part du professeur (dans la ZPD) pour installer la connaissance nouvelle.

Deux ZFM vont être en jeu, l'une liée à la fiche élève papier et l'autre liée à la même tâche dans l'environnement tablette. Roger a prévu une première proximité pragmatique, pour faciliter le passage d'un environnement à l'autre en fournissant sur papier la capture d'écran de la tablette (ZFM). Dans les deux environnements, la tâche porte sur la petite fille (« aide la petite fille à traverser la pièce ») et donc les actions promues (ZPA) concernent a priori la petite fille.

4. Analyse de la tâche en environnement papier-crayon

Pour résoudre la tâche dans l'environnement papier-crayon, les connaissances à mettre en fonctionnement concernent la mesure, les comparaisons de mesure et les cercles tracés avec un compas. Ce sont des connaissances anciennes, qui vont être mobilisées comme outil pour résoudre la tâche. Du côté des activités mathématiques attendues, il y a en premier lieu la reconnaissance du cercle comme outil puis le traitement lié aux constructions successives. Cette reconnaissance nécessite *un changement de point de vue* pour passer d'une centration sur la

[1] Dans d'autres textes, on parle de la ZAP pour qualifier la zone d'activités (mathématiques) possibles des élèves compte tenu des tâches prescrites et du déroulement (en particulier les proximités). La ZAP étant bornée par les activités possibles *a minima* et les activités possibles *a maxima*. La ZAP dépend donc d'une part du complexe ZPA/ZFM organisé par l'enseignant et la ZAP est reliée d'autre part à la ZPD par les connaissances mises en fonctionnement dans la ZAP.

petite fille à une centration sur les monstres et leurs zones de prédation. Si les élèves ne font pas ce changement de point de vue ou ne reconnaissent pas que le cercle et le compas vont leur être utiles, ils vont a minima procéder points par points en mesurant et comparant.

Nous avons déjà évoqué la ZPD plus haut. Si les élèves développent les activités mathématiques attendues, et dans la mesure où l'enseignant peut proposer des proximités discursives avec la notion de cercle, il peut y avoir un développement des connaissances des élèves. Mais du côté des ZFM/ZPA, on voit que les seules actions possibles des élèves concernent les essais de mesure de distance, les comparaisons, et des tracés de chemin de la petite fille. Seul le professeur peut valider ou invalider leurs constructions. Les monstres ne peuvent pas être déplacés sur la feuille et l'action de déplacer les monstres en « tirant » la corde pour délimiter des parties du plan qu'ils peuvent atteindre n'est pas dans la ZPA. Les élèves doivent donc dépasser cette ZPA restreinte et tracer d'eux-mêmes les parties du plan où les monstres peuvent agir en mobilisant la notion de cercle comme ligne frontière de ces parties de plan.

5. Analyse de la tâche en environnement tablette

Dans le nouvel environnement, les connaissances en jeu et les activités mathématiques attendues sont différentes (malgré la proximité pragmatique — instrumentale — prévue de garder le même visuel). La ZFM est enrichie par l'environnement tablette, avec la possibilité de déplacer les monstres et la petite fille, la possibilité de rétroaction et la possibilité de recommencer plusieurs fois. Cependant la ZPA est modifiée également et de façon plus subtile. Les actions promues sont encore de déplacer la petite fille mais plutôt comme dans un jeu. Si elle rentre dans la zone d'un monstre, il y a une rétroaction immédiate « perdu » et le monstre capture instantanément la petite fille (figure 4a). Les élèves peuvent déplacer la petite fille et gagner (figure 4 b) sans du tout mobiliser la notion de cercle et sans le changement de point de vue identifié dans la situation en papier-crayon.

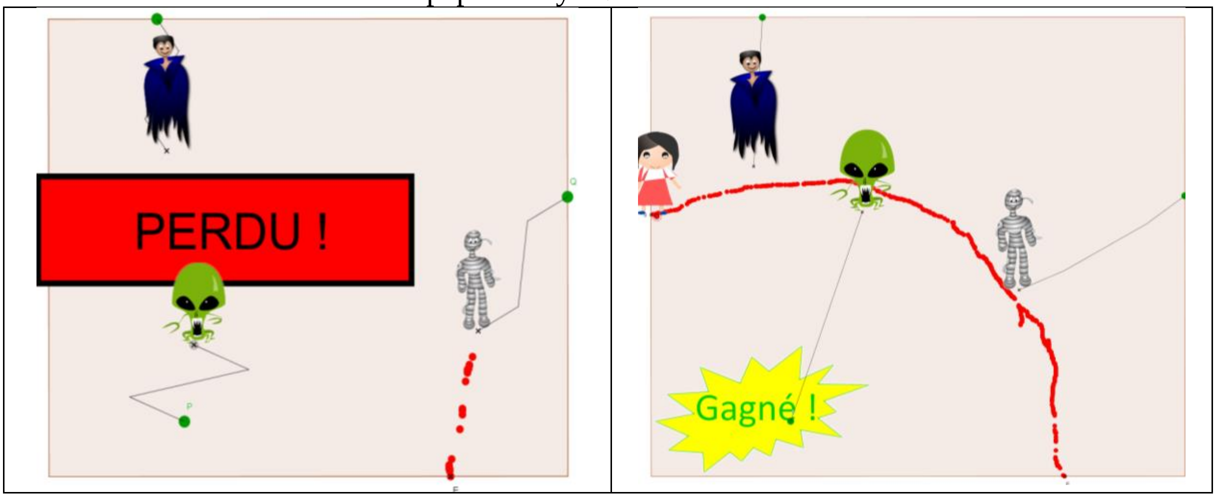

Figure 4a et 4 b. *— Environnement tablette.*

Le complexe ZFM/ZPA ne favorise donc pas plus qu'en papier-crayon la mobilisation de la notion de cercle dans la ZPD des élèves, de sorte que le professeur puisse développer des proximités (cognitives ou pragmatiques). Pire encore, le complexe ZFM/ZPA, avec les feedbacks et l'aspect jeu, peut conforter les élèves dans les procédures du type essai/erreur. On peut ainsi prévoir une tension instrumentale (cognitive et pragmatique liée à la tablette) qui ne favorise pas la progression des élèves vers la connaissance visée.

6. Analyse de déroulement

Durant la phase 1, même avec des rétroactions du professeur qui pointe auprès des élèves les constructions fausses, ceux-ci n'ont pas développé les activités attendues (le changement de point de vue et la mobilisation du compas et des cercles). Comme on l'a vu dans l'analyse a priori, la ZPA ne favorise pas naturellement ces adaptations à la charge des élèves. Les figures 5a et 5 b montrent des exemples emblématiques de productions d'élèves.

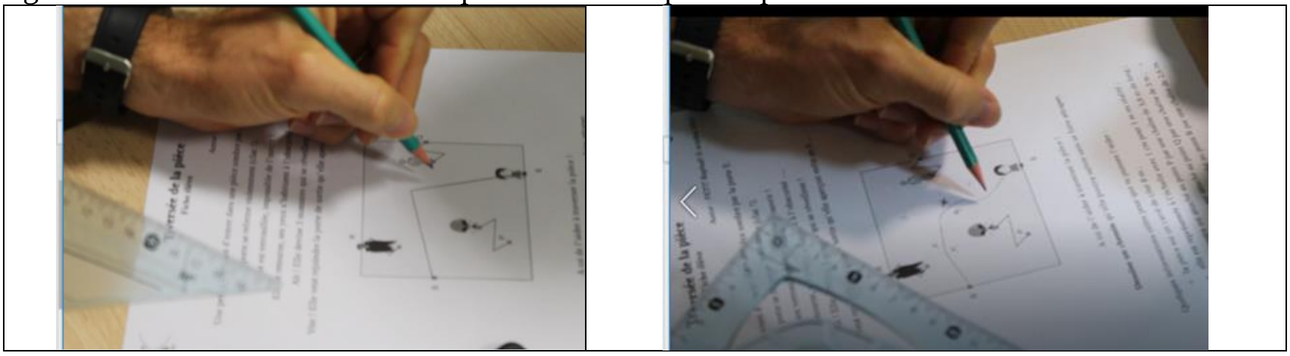

Figure 5a et 5 b. *— Productions d'élèves pendant la phase 1*

On s'intéresse au passage de la phase 1 à la phase 2. Le professeur identifie que le changement de point de vue est une étape fondamentale dans l'activité des élèves et il change la tâche, d'abord inconsciemment, au moment du changement d'environnement (ZFM).

> Moi je vous encourage à utiliser votre tablette pour bien comprendre comment ça se passe. Oui. Vous pouvez — non c'est mieux comme ça avec la tablette — vous pouvez prendre les points avec votre doigt (…) Vous allez déplacer votre… Vous allez pouvoir tester un petit peu. En déplaçant la petite fille. Et puis c'est ça qui m'intéresse aussi (…) Essayez de déplacer les monstres pour voir à quel endroit ils peuvent aller. D'accord ? Pour voir à quels endroits la petite fille n'a surtout pas le droit d'aller. Ça marche ? Aller essayez de tester un petit peu comme ça (…) Vous avez réussi à sortir d'accord. Alors maintenant essayez de dessiner sur le papier tous les endroits qui sont accessibles par l'un des monstres c'est-à-dire tous les endroits qui sont interdits d'accès à la petite fille.

Dans le changement de ZFM, le professeur joue donc également sur la ZPA : le déplacement des monstres et donc le changement de point de vue font maintenant partie de la ZPA. Devenant conscient de ce changement, le professeur va répéter cette nouvelle consigne plusieurs fois car la ZPA est sensiblement différente de ce qui était promu en environnement papier-crayon. Le faisant, il suppose avoir opéré une proximité pragmatique permettant aux élèves de mobiliser leur connaissance sur les cercles.

Toutefois, la trace des monstres n'est pas activée sur les tablettes des élèves donc même s'ils déplacent les monstres en « tirant » sur la corde, les élèves peuvent à nouveau ne pas visualiser des cercles. En outre, on peut « tirer » sur la corde sans décrire un rayon constant autour du monstre, comme l'illustre la fille au tableau dans la figure 6a (où la fonction trace est activée). L'activité sur la tablette peut donc encore éloigner les élèves de l'idée attendue de cercle. C'est une deuxième tension instrumentale. Le projet de l'enseignant de présenter le cercle comme outil géométrique permettant la résolution du problème, peut ne pas du tout être dans la ZPD de ces élèves-là. D'ailleurs, dans la phase 3 (figure 6 b), de nombreuses constructions d'élèves sur leur feuille mettent bien en évidence que le changement de point de vue s'est produit mais ne donnent pas du tout à voir des cercles. Beaucoup en restent à des prises de mesures discrètes autour de chacun des monstres pour identifier un chemin possible pour la petite fille.

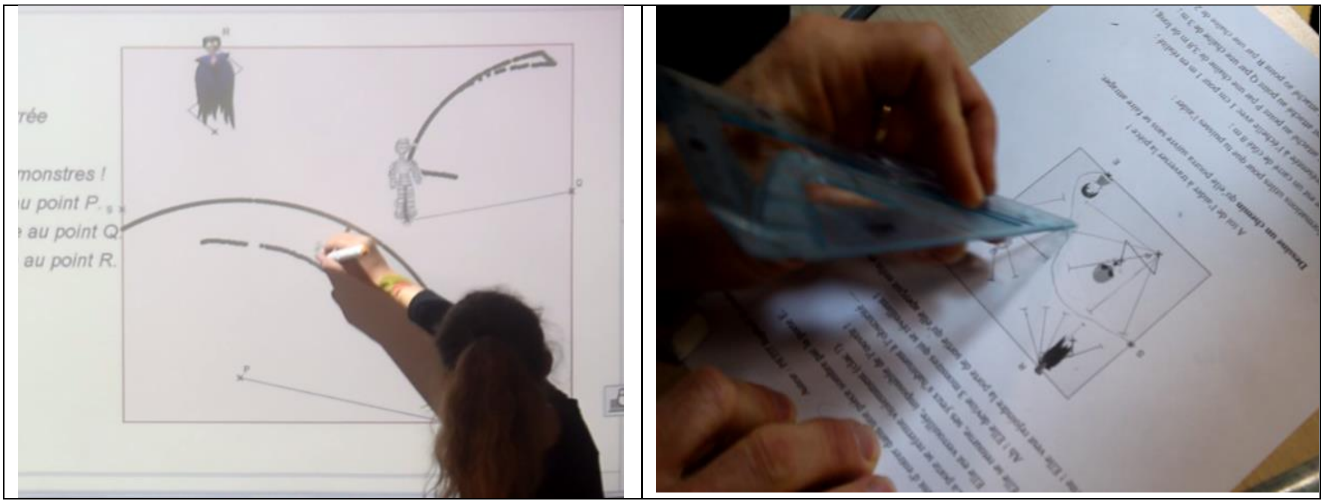

***Figure 6a et 6 b.** — Synthèse et production d’un élève au moment du bilan*

À la fin de la phase 3, même quand les élèves ont été mis sur la voie des cercles dans le bilan synthétique au tableau (en fin de phase 2), le professeur doit encore passer auprès de nombre d’entre eux pour s’assurer que ces derniers ont identifié l’utilité d’avoir recours à la notion de cercle et tracent effectivement des cercles, en opérant des proximités pragmatiques successives.

> C’est quel objet mathématique tu as créé. D’accord ? Quel objet mathématique as-tu construit. Est-ce que ce sont des segments que tu as construits ? (…) Bien bah là t’as compris t’as réussi. Tu as relié tous les autres points que tu m’as montrés tout à l’heure (…) T’as utilisé quel outil toi ? T’as utilisé quoi comme outil pour tracer tes limites ? Le crayon et puis c’est tout. Quel outil permet de tracer un cercle ? (compas) Et alors ? Pourquoi tu ne l’utilises pas ton compas ? Ah bah voilà si tu sais qu’il faut utiliser un compas il faut l’utiliser hein. Là est-ce que ce dessin-là il est précis ? Il est précis ton dessin ? Moi je veux un précis hein ? N’oublie pas que c’est la vie de la petite fille qui est en jeu. On ne prend pas de hein risque. Tu l’as ton compas ? Allez vas-y sors le.

7. Conclusion

Dans la migration de la situation papier-crayon à la situation tablette, le complexe ZFM/ZPA est modifié sensiblement et le professeur n’en est pas nécessairement conscient. Dans notre exemple, les feedbacks et l’aspect jeu confortent une ZPA au sein de laquelle la notion de cercle et l’idée du compas ne sont pas en jeu naturellement. Beaucoup d’élèves interagissent avec la tablette de façon perceptive, sans mettre en jeu des connaissances mathématiques (pas même la mesure et la comparaison qui étaient a minima dans l’environnement papier-crayon). Du coup il est compréhensible que les activités des élèves n’embarquent pas la notion de cercle pour la majorité d’entre eux. Les quelques élèves qui tracent spontanément des cercles dans la phase 3 sont déjà ceux qui les avaient identifiés dans la phase 1 (en « sortant » de la ZPA papier-crayon). On a donc un environnement qui favorise un complexe ZFM/ZPA qui conforte les élèves dans des procédures éloignées des connaissances en jeu (le cercle « outil » comme seule réponse pour le problème). Cela engendre une tension instrumentale dans l’activité de la classe dans la mesure où le professeur doit donner de nombreuses aides procédurales aux élèves pour installer la notion de cercle et pouvoir tenir ensuite son propos sur la définition nouvelle du cercle (avec des proximités discursives).

FORMATION CONTINUE AVEC SIMULATEUR DE CLASSE

1. Former des enseignants par simulation informatique.

Dans cette dernière partie, nous analysons cette fois les pratiques de formation et nous accédons aux pratiques des enseignants à travers leur utilisation d'un logiciel de simulation informatique de classe et leurs interactions durant la formation.

Depuis 10 ans, nous développons et utilisons des simulateurs informatiques de classe pour former à enseigner les mathématiques (Emprin, 2011 ; 2018). À l'origine de ce travail se trouve l'analyse des pratiques existantes de formation aux usages du numérique pour l'enseignement des mathématiques (Abboud et Emprin, 2010) qui a mis en évidence des caractéristiques de ces pratiques. Se dégagent de ce travail plusieurs hypothèses pour la formation. En particulier, l'introduction d'une analyse réflexive dans les formations, notamment via l'analyse de vidéos de classes réelles est propice au questionnement et à la prise de conscience par les enseignants de leurs propres pratiques avec les technologies. De plus, faire questionner les composantes des pratiques au sens de la double approche didactique et ergonomique (Robert, 1999 ; 2003) permet d'accéder à une meilleure compréhension de ces pratiques en vue de participer à leur développement via la formation continue. Après avoir vérifié ces hypothèses dans le cadre d'une ingénierie didactique de formation (Abboud et Emprin, 2010) s'appuyant sur l'introduction de l'analyse de pratiques importées dans la formation grâce à l'utilisation de vidéos, nous avons voulu dépasser deux grandes difficultés identifiées par Robert et Rogalski (2015) :

> *« On voit la justification d'un temps long pour cette formation, dans la mesure où chaque analyse a* ***un caractère opportuniste****, dépendant de ce qui sort dans la séance.* ***Sur la durée,*** *l'aléatoire des apports des participants amène à* ***rencontrer suffisamment de thèmes*** *pour donner matière aux participants pour les adaptations dont ils auront besoin […] »* (p 109).

L'usage de simulations informatiques de classe vise donc à augmenter le temps de confrontation à la pratique en formation (sans augmenter le temps de formation) et à mieux maîtriser le caractère opportuniste des connaissances et des savoirs qui y émergent.

Les simulateurs existants, teachLive (http://exceptionaleducation.buffalostate.edu/teach-live), Tprof (https://t-prof.fr), Simschool (https://www.simschool.org) ou encore Lesson Sketch (https://www.gripumich.org) ne remplissent pas les conditions que nous avons définies notamment ils ne permettent pas de questionner la dimension cognitive des pratiques. Un premier simulateur informatique de classe (SIC — Première version : https://s.42l.fr/SIC, Version 2.0 : https://s.42l.fr/SIC2) a été conçu spécifiquement et expérimenté pour vérifier qu'il corresponde bien aux attendus en termes de formation.

SIC simule la mise en œuvre d'une séance de classe (virtuelle) qui concerne la résolution d'un problème de mathématiques (figure 7) en utilisant un logiciel de géométrie dynamique pour construire le dessin, conjecturer, puis démontrer l'égalité des longueurs

Énoncé groupe 1 :

Réalise le dessin ci-contre avec « l'atelier de géométrie ».

(Tu commenceras par le cercle, ses deux diamètres perpendiculaires puis tu placeras les points B et F et tu continueras la construction en respectant les codages)

Quel est le plus long des deux segments, [AC] ou [EG] ?

Figure 7. *– Énoncé du problème à enseigner dans SIC*

L'utilisateur fait des choix parmi une liste (figure 8) qui a été déterminée à partir d'observations de séances dans des classes réelles. Certains choix qui ont été proposés par les enseignants au fil des formations utilisant SIC, sans pour autant avoir été observés en classe, sont cachés au premier abord et peuvent être ajoutés par le formateur au fur et à mesure de la formation. Le temps est lui aussi simulé, chaque action coute un nombre de minutes données et fait avancer le temps de la séance.

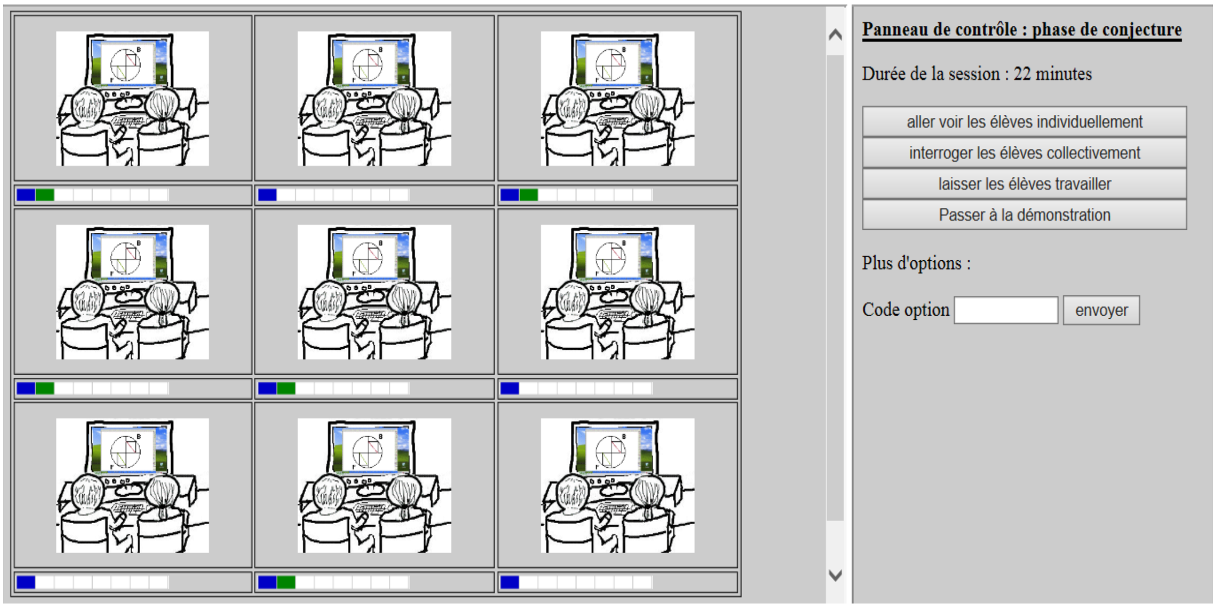

Figure 8. *— Interface de la première version du logiciel SIC*

L'utilisateur peut voir le travail des élèves sur leurs écrans, les interroger ou aller voir plus en détail un groupe et interagir avec ce groupe (figure 9). Il dispose également d'un vumètre qui indique les niveaux d'agitation des binômes. Lorsque ces niveaux atteignent un certain seuil, cela déclenche l'arrêt de la séance, en quelque sorte un « game over ».

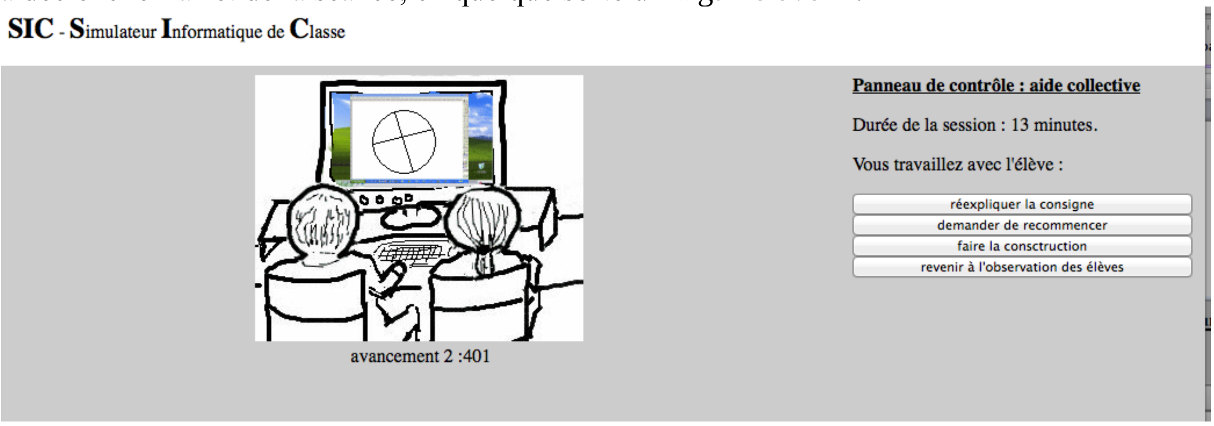

Figure 9. *– Interactions avec un groupe dans la première version du logiciel SIC*

À la fin de la simulation, l'utilisateur récupère le bilan de sa séance constitué, pour chaque binôme, de l'état d'avancement des tâches de construction et de conjecture et ce que l'élève a retenu de la séance après une semaine c'est à dire la réponse à la question : « Qu'as-tu appris lors de la séance de la semaine dernière en salle informatique ? ». Cette réponse peut aller de « rien » à « les diagonales d'un rectangle sont isométriques et il fallait utiliser le fait que les diagonales étaient aussi des rayons du cercle… »

Dans la formation que nous rapportons ici, nous avons remplacé l'utilisation de la vidéo par celle de SIC. Le scénario de formation est de type :

- analyse du problème mathématique, anticipation par le formé de la séance qu'il aurait mis en place dans sa classe (préparation de séance) autour de ce problème avec identification des difficultés potentielles ;
- utilisation du simulateur de la classe virtuelle (plusieurs essais possibles) avec analyse de l'écart entre prévu et réalisé ;

- identification et formulation des grandes problématiques qui se dégagent de cette expérience (connaissances et savoir issus de la formation).

2. Quelle différence entre l'usage de la vidéo et la simulation ?

De quelles données dispose-t-on lors de l'utilisation de SIC en formation ? Tout d'abord, il faut noter que toutes les traces sont soumises au fait que l'utilisateur (ici, enseignant en formation) accepte de les transmettre. Il s'agit, premièrement des actions choisies par l'utilisateur tout au long du déroulement temporel de chacun des essais de la séance simulée (figure 10)

0 à 6 min

min	action	action2	action3
0	allumer	allumer	allumer
1			
2			
3	donner la consigne	donner la consigne	donner la consigne
4			
5			
6			
	interroge élève n05	interroge élève n06	attend

[…]

22 à 25 min

min	action	action2	action3
22	redonner la consigne	revient à l'arrière	
23			passer à la conjecture
24		passer à la conjecture	demande la conjecture
25		demande la conjecture	

Figure 10. *— Extrait des 6 premières minutes et de la 22e à la 25e minute du déroulement de trois séances simulées par Amélie.*

Deuxièmement nous avons accès à l'effet des actions de l'utilisateur sur les élèves virtuels : où ils en sont du travail ? Quelles conjectures ont-ils réalisées ? De quoi se souviennent-ils après une semaine ? (Figure 11).

Ces deux types de traces sont disponibles pour toutes les simulations réalisées par les formés, c'est-à-dire pour plusieurs séances réalisées sur des élèves et dans des conditions identiques (SIC est complètement réinitialisé à chaque relance). De fait, cette répétition des expériences est propice à l'analyse des invariants et des variations.

Troisièmement, comme pour toute séance de formation, nous avons filmé et enregistré la session de formation afin d'analyser les échanges entre formés et entre le formateur et les formés. De fait, nous avons trois sources de données au lieu d'une, la dernière, traditionnellement recueillie lors de l'utilisation de vidéos en formation

Notre hypothèse de chercheur-formateur est que ces traces peuvent contribuer à l'analyse des pratiques. Notre objectif est donc triple. Du point de vue du chercheur, nous analysons ces traces pour inférer les pratiques et caractériser les genèses instrumentales de l'artefact simulateur pour les formés. Du point de vue du formateur, nous utilisons ces traces comme outil de formation. Pour cela, nous mobilisons le cadre de la Double Approche adaptée aux Technologies (DAaT) développé par Abboud (Volume 1) avec les axes d'analyse (cognitif, pragmatique et temporel) et les déterminants (personnels, sociaux et institutionnels) de l'activité de l'enseignant utilisant les technologies numériques ainsi que l'approche instrumentale de Rabardel (1995).

	Amélia					Gpe 42			Rudy				
Construction / essai	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5
Construction sur le logiciel terminée	8	8	7	8	8	8	8	8	8		5	8	8
Construction sur le logiciel rectangles placés			1							4	3		
Construction sur le logiciel non commencée										4			
État de la démonstration													
Très faible avancement dans la tâche			1								3		
Pense que les longueurs sont différentes	5	5	4	1	2	2			4		4	1	
Pense que les longueurs sont égales mais sans idée de la démonstration	3	1	1	3	2	6	4	2	4	3		3	3
Capable d'enchaîner les étapes de la démonstration		1	1	2	3		2	2		3	1	2	3
Pense que les longueurs sont égales et a repéré que la longueur des diagonales est le rayon du cercle		1	1	2	1		1	2		2		2	2
Pense que les longueurs sont égales et a repéré une égalité des diagonales du rectangle							1	2					
A 1 semaine													
Tâche trop incomplète pour avoir une trace à distance			1								3		
Ne reste quasiment rien	5	5	4	1	2	2			4		4	1	
Les deux longueurs étaient égales	2	1	2	5		6	2	4	4	3		5	3
Les diagonales d'un rectangle sont isométriques	1						3	2		1			1
Les diagonales d'un rectangle sont isométriques, quand il y a un cercle on peut s'en servir pour démontrer une égalité de longueurs	0	2	1	2			3	2		4	1	2	4

Figure 11. *— Bilan des séances de trois groupes de formés : Amélie, groupe 42 et Rudy*

3. Étude de cas : inférer les pratiques à partir des traces des séances simulées

La séance simulée met en scène une tâche à réaliser en Environnement de Géométrie Dynamique (EGD). Elle vise à mettre en évidence le fait qu’il y a, de fait, deux objectifs distincts : d’une part la construction d’une figure résistante (Laborde et al., 2006) en EGD et d’autre part la conjecture puis la démonstration en s’appuyant sur une construction correcte. Ces deux objectifs ne sont pas tenables en une séance de 55 minutes ce qui nécessite pour l’enseignant de faire des choix qui concernent l’axe temporel et l’axe cognitif.

L’analyse des séances simulées pour Rudy (annexe 1) montre l’entrecroisement des axes d’analyse et l’importance de la gestion de l’axe temporel. Au premier essai, Rudy a passé beaucoup de temps pour que les élèves réalisent la construction pour un résultat sur les élèves partiellement satisfaisant (figure 11) : la moitié des élèves ont à la fois la bonne construction, la bonne conjecture et se souviennent du résultat après une semaine. En revanche, aucun n’a repéré l’enjeu de la séance en termes d’apprentissage, i.e. l’isométrie des diagonales du rectangle qui combinée avec la présence de rayons d’un même cercle permet de déduire l’égalité des longueurs EG et AC. Au deuxième essai, il écourte la partie construction. Les élèves vont plus loin, quatre d’entre eux repèrent les propriétés attendues et s’en souviennent une semaine après. Au troisième essai, il se centre sur un seul élève. On peut penser qu’il a repéré dans les simulations antérieures que cet élève rencontre des difficultés systématiquement et qu’il essaie de voir s’il est possible de lui permettre de réussir. Au quatrième essai, et afin de gérer la tension temporelle, Rudy fait toute la construction à la place des élèves, mais les effets sont moindres, car il ne fait pas de mise en commun ce qui induit une moindre diffusion des connaissances dans le groupe. Le cinquième essai est caractérisé par le fait que les formés disposent de nouvelles options débloquées par le formateur à leur demande : il peut donner une construction partielle ou complète aux élèves. Cette option semble lui permettre de gérer d’une façon plus satisfaisante les tensions cognitive et temporelle puisqu’il choisit de l’utiliser au bout de 16 minutes afin de laisser plus de temps pour les tâches de conjecture et démonstration. Il laisse ainsi 31 minutes pour la conjecture et mène ensuite une mise en commun. Le dernier essai consiste à tester les limites du logiciel, voir ce qui se passe quand les élèves n'ont rien à faire, la séance est arrêtée par le logiciel au bout de 20 minutes, car les niveaux d'agitation des élèves sont trop élevés. Notre hypothèse est que le cinquième essai étant satisfaisant, Rudy utilise le temps qui lui reste pour découvrir le fonctionnement de SIC. Cela contribue également à la compréhension de la façon dont il est programmé.

L'analyse de ce déroulement fait émerger les tensions cognitives et temporelles que l'enseignant avait à gérer et aussi le processus d'instrumentalisation de SIC par Rudy. Ce processus est repérable par le nombre d'essais, le fait qu'il semble utiliser les essais antérieurs pour l'essai en cours et qu'il cherche à comprendre les hypothèses des formateurs grâce au fonctionnement du logiciel. On peut également adopter ici une autre entrée analytique en reprenant le concept de « régulation » de l'activité de l'enseignant développé dans la première partie de ce texte.

A titre de comparaison, une autre stagiaire, Amélia, fait 5 essais également. Alors que son premier essai est peu concluant en termes d'effets sur les élèves, elle reproduit cependant, sur chacun des essais suivants, les mêmes types d'interaction : elle regarde le travail de tous les élèves. Elle n'utilise donc pas le fait que les réactions des élèves sont prévisibles : les mêmes causes provoquent les mêmes effets d'un essai à l'autre, sans aspects aléatoires. Une forte stabilité de la composante médiative de ses pratiques se dégage donc de ses pratiques ainsi qu'un processus d'instrumentalisation qui n'exploite pas les potentialités de l'artefact.

4. Exploitation en formation

L'extrait suivant d'un échange enregistré pendant la formation illustre une tension liée à l'axe pragmatique. Les enseignants sont confrontés à un risque d'éclatement de la classe dû aà un rythme hétérogène de l'avancement dans la réalisation de la tâche et cherchent à ramener tous les élèves au même rythme :

> Formateur (F) : donc la consigne, ça vous pose pas de souci, la construction alors la conjecture maintenant
>
> Enseignant (E) 4 : est-ce que là c'est possible, là de laisser ceux qui ont encore des problèmes avec la construction et puis demander aux autres de faire la conjecture
>
> F : ça n'a pas été prévu non, de différencier comme ça
>
> E4 : parce que là il y a un problème avec ceux qui ont terminé la figure et qui ont plus rien à faire du tout, parce qu'une fois que c'est fini y s'ont plus rien du tout à faire
>
> E1 : et y s'énervent
>
> […]
>
> F1 : donc du coup effectivement on pourrait proposer ça de laisser ceux qui ont à construire et de travailler avec ceux qui ont...
>
> E4 : mais après ça crée l'écart encore plus
>
> F1 : du coup oui
>
> E4 : parce que là il y en a qui vont avoir fini de démontrer et tout et d'autres rien du tout, jamais
>
> F : du coup est-ce que ce code-là il ne répond pas .
>
> E4 : donner la correction à tous quoi

Le logiciel ne permet pas de faire passer un groupe à la phase de conjecture alors que d'autres groupes sont à la phase de construction, notamment parce que cela n'a pas été observé lors des expérimentations en classes réelles. On voit que les enseignants souhaiteraient, dans la simulation, proposer cela, mais qu'ils y renoncent au fil de l'échange pour ne pas « créer l'écart encore plus. » La solution proposée « donner la construction correcte aux élèves » permet d'abandonner, pour certains élèves, l'enjeu de construction pour remettre tous les élèves à la même tâche. Il semblerait que les enseignants instrumentalisent le simulateur pour prendre plus de risque et que de fait, il ouvre au formateur la possibilité de dégager des problématiques pour la dernière partie. Ici une problématique liée à l'axe pragmatique.

5. Conclusion et perspectives liées à la simulation

Pour conclure sur l'analyse des pratiques de formation avec simulateur de classe, les travaux réalisés mettent en évidence à la fois l'aspect prometteur de l'utilisation des traces pour le chercheur et l'adéquation du cadre de l'analyse en axes pragmatique, cognitif et temporel tout en questionnant sur la façon dont un formateur pourrait exploiter ces outils en formation.

En effet, comment un formateur peut-il exploiter les traces que nous avons présentées durant sa formation ? Si le chercheur a le temps de compiler et analyser les séances simulées, il faudrait inventer d'autres stratégies de formation, et probablement d'autres techniques, pour utiliser ces éléments durant les séances de formation. Reste également à analyser ce que l'exploitation de ces traces peut apporter durant la formation, par exemple si on imagine que l'on amène les formés à analyser leurs pratiques par ce prisme.

CONCLUSION

Les trois parties de ce texte visaient à fournir des éclairages sur l'activité de l'enseignant lors de la mise en place de tâches enrichies par les technologies et sur les difficultés, les tensions et les incertitudes auxquels il fait face et les choix explicites ou implicites qu'il fait pour les gérer en temps réel. Dans la dernière partie nous avons en plus montré comment les outils conceptuels développés pour permettre cet éclairage représentent des leviers pour la formation. En fait, un formateur outillé avec ces concepts est plus à même de réagir in situ et d'ajuster ses interventions aux besoins et aux connaissances professionnelles des enseignants.

Les trois parties présentent également une cohérence au niveau du cadrage théorique et les approches qui y sont présentées sont complémentaires. De plus, un élément méthodologique fort est que les données recueillies sont relatives à des pratiques ordinaires de classe de mathématiques. D'un côté, l'analyse de ces pratiques permet au chercheur de caractériser les pratiques enseignantes en environnement technologique et ainsi mieux comprendre les difficultés qu'éprouvent ces enseignants dans la vie quotidienne de la classe et les tensions qu'ils arrivent à gérer (ou non). Régulations, prise en compte des ZPD des élèves (proximités) et gestion de tensions afin d'assurer des apprentissages mathématiques jugés « satisfaisants » par l'enseignant, nous renseignent aussi sur les genèses d'usage des technologies chez les enseignants (Abboud-Blanchard & Vandebrouck, 2013). D'un autre côté, se baser sur ces analyses permet de simuler des pratiques de classe utilisables en formation et d'accéder à une analyse de l'activité de l'enseignant en formation, d'agir sur cette activité en visant son enrichissement.

L'ensemble de ces travaux participent à un chantier en cours, les outils conceptuels continuent à être consolidés, d'autres outils restent à développer et des transferts vers la formation sont à renforcer et à inventer. Chantier mouvant, à la fois contraint et stimulé par des technologies éducatives en perpétuel développement…

RÉFÉRENCES

ABBOUD-BLANCHARD, M. (2014). Teachers and technologies: shared constraints, common responses. In A. Clark-Wilson, O. Robutti & N. Sinclair (Eds.), *The Mathematics Teacher in the Digital Era: An International Perspective on Technology Focused Professional Development* (pp. 297-318). Springer.

ABBOUD-BLANCHARD, M. & EMPRIN, F. (2010). Pour mieux comprendre les pratiques des formateurs et de formations TICE, *Recherche et Formation (INRP), 62*, 125-140.

ABBOUD-BLANCHARD, M. & VANDEBROUCK, F. (2013). De l'analyse d'usages des TICE à une articulation de cadres théoriques pour l'étude des pratiques enseignantes. In J.B. Lagrange (Ed.), *Les technologies numériques pour l'enseignement : usages dispositifs et genèses* (pp. 111-128). Octarès.

ABBOUD, M. & ROGALSKI, J. (2017). Des outils conceptuels pour analyser l'activité de l'enseignant « ordinaire » utilisant des technologies en classe. *Recherches en Didactique des Mathématiques, 37/2-3*, 161-216.

ABBOUD, M. & ROGALSKI, J. (2021). Open dynamic situations of classroom use of Digital Technologies: investigating teachers' interventions. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, 21(2)*, 424-440.

BALACHEFF, N. (1994). Didactique et intelligence artificielle. *Recherches en didactique des Mathématique, 14 (1)*, 9-42.

BLANTON, M.L., WESTBROOK, S., & CARTER, G. (2005). Using Valsiner's Zone Theory to Interpret Teaching Practices in Mathematics and Science Classroom. *Journal of Mathematics Teacher Education, 8*, 5–33.

EMPRIN, F. (2011). Construction d'un Simulateur Informatique de Classe (SIC) pour la formation des enseignants. In M. Bétrancourt, C. Depover, V. Luengo, B. De Lièvre & G. Temperman (Eds.), *Conférence EIAH 2011 (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain)* (pp. 409-422). Éditions de l'UMONS — ATIEF (Association des Technologies de l'information pour l'Éducation et la Formation).

EMPRIN, F. (2018). Un simulateur informatique de classe pour la formation et la recherche. Quelle place des recherches en didactique dans la conception et l'expérimentation ?, in J.-B Lagrange & M. Abboud-Blanchard (Eds), *Environnements numériques pour l'apprentissage, l'enseignement et la formation : perspectives didactiques sur la conception et le développement*, IREM de Paris. http://www.irem.univ-paris-diderot.fr/up/IPS18001.pdf

LABORDE, C., KYNIGOS, C., HOLLEBRANDS, K., & STRÄSSER, R. (2006). Teaching and learning geometry with technology. In A. Gutiérrez & P. Boero (eds.), Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education: Past, Present and Future, (pp. 275-304). Brill.

LEPLAT, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail.* Paris, PUF.

LEPLAT, J. (2006). La notion de régulation dans l'analyse de l'activité. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé* http://journals.openedition.org/pistes/3101

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

ROBERT, A. (1999). Recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe. *DIDASKALIA*, *15*, 123-157.

ROBERT, A. (2003). Analyse de vidéo de séances de classe : des tâches prescrites aux activités des élèves, en passant par les pratiques des enseignants de mathématiques (second degré). *Document pour la formation des enseignants*, IREM de Paris 7.

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. *Recherche en Didactique des Mathématiques, 34 (2/3)*, 239–285.

ROGALSKI, J., & ROBERT, A. (2015). De l'analyse de l'activité de l'enseignant à la formation des formateurs. Le cas de l'enseignement des mathématiques dans le secondaire. in V. Lussi Borer (Ed), *Analyse du travail et formation dans les métiers de l'éducation* (pp. 93-113). De Boeck Supérieur. Https://doi.org/10.3917/dbu.lussi.2015.01.0093 »

ROGALSKI, J. (2003). Y a-t-il un pilote dans la classe ? Une analyse de l'activité de l'enseignant comme gestion d'un environnement dynamique ouvert. *Recherches en Didactique des Mathématiques, 23 (3)*, 343-388.

VALSINER, J. (1987). *Culture and the development of children's actions: A cultural–historical theory of developmental psychology.* John Wiley & Sons.

VYGOTSKI, L.-S. (1934/1986). *Thought and language*. MIT Press.

ANNEXES

Annexe 1 : séances simulées de Rudy

min	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5	Essai
0	donner la consigne	donner la consigne	donner la consigne	ne pas allumer	ne pas allumer	donner la consigne
1				donner la consigne	donner la consigne	
2						
3						
4	redonne la consigne	construire	regarde élève n01			att
5	regarde élève n05		regarde élève n05	demande à tous résiste ?	interroge élève n01	
6	regarde élève n04		regarde élève n04		interroge élève n05	
7	regarde élève n03	attendre 3 minutes	faire à leur place	redonner la consigne	interroge élève n09	construire
8	regarde élève n03				redonne la consigne	
9	regarde élève n01			demande à tous résiste ?	demande à tous résiste ?	
10	regarde élève n01	regarde élève n01				att 3 min
11	regarde élève n02		regarde élève n07	regarde élève n03	regarde élève n01	
12	regarde élève n02		demande à tous résiste ?	faire à leur place	regarde élève n02	
13	regarde élève n06					att 3 min
14	faire à leur place	demande la conjecture	redonner la consigne			
15						
16		montrer une construction correcte		regarde élève n01	donne la construction de base et des points	att 3 min
17				faire à leur place		
18	demande à tous résiste ?	regarde élève n01				
19		faire à leur place	**passer à la conjecture**		attendre 3 minutes	att 3 min
20	redonner la consigne					
21				regarde élève n02		
22	regarde élève n07		demande la conjecture	faire à leur place	passer à la conjecture	
23	regarde élève n08	regarde élève n02				
24	revient à l'arrière		dire de mesurer			
25					demande la conjecture	
26		**passer à la conjecture**		regarde élève n04		
27	regarde élève n01	demande la conjecture	demande la conjecture	faire à leur place	dire de mesurer	
28	regarde élève n02					
29	regarde élève n03	revient à l'arrière	montrer une construction correcte			

30	regarde élève n04				demande la conjecture	
31	regarde élève n05	**passer à la demo**	dire de mesurer	regarde élève n05		
32	regarde élève n06	demande à tous mettre OB sur rayon			revient à l'arrière	
33	regarde élève n07					
34	regarde élève n08	redonner la consigne	demande la conjecture			
35	regarde élève n09			**passer à la conjecture**	**passer à la demo**	
36	regarde élève n08	redonner la consigne	revient à l'arrière			
37	regarde élève n01					
38		revient à l'arrière		dire de mesurer	redonner la consigne	
39			demande à tous mettre OB sur rayon			
40	**passer à la conjecture**				demande à tous mettre OB sur rayon	
41	dire de mesurer	**passer à la mise en commun**	redonner la consigne	demande la conjecture		
42					redonner la consigne	
43			redonner la consigne	montrer une construction correcte		
44	montrer une construction correcte	avis des élèves			revient à l'arrière	
45			revient à l'arrière	demande la conjecture		
46	demande la conjecture					
47		**note en trace écrite**		revient à l'arrière	**passer à la mise en commun**	
48	montrer une construction correcte		attendre 3 minutes			
49						
50	demande la conjecture	**fin de session**		demande à tous mettre OB sur rayon	avis des élèves	
51			**passer à la mise en commun**			
52	revient à l'arrière			redonner la consigne		
53					**note en trace écrite**	
54			**note en trace écrite**	revient à l'arrière		
55	**passer à la demo**					
56					**fin de session**	
57			**fin de session**	**fin de session**		
58	**fin de session**					