

USAGES DE LA TECHNOLOGIE DANS DES
CONDITIONS ORDINAIRES :
LE CAS DE LA GEOMETRIE DYNAMIQUE AU COLLEGE.

Jean-Baptiste LAGRANGE*, Nuray C.-DEDEOGLU**

RESUME

L'article porte sur les usages de la technologie par des enseignants dans des conditions ordinaires. Ces usages ne présentent pas un haut degré d'intégration, mais témoignent d'attentes qu'ont les enseignants usagers vis-à-vis de la technologie. Nous caractérisons ces attentes par différence avec les potentialités de la technologie dégagées par l'analyse didactique et en les confrontant à la réalité des phénomènes didactiques en classe.

Nous étudions le cas de la géométrie dynamique au collège en France. Nous observons des décalages successifs, dans les discours de la recherche didactique, des instructions officielles et des manuels. Nous distinguons dans les propositions de ces derniers deux types d'usage et nous observons deux enseignants, pratiquant chacun un des types. L'interprétation des observations par le modèle de Ruthven et Hennessy aide à voir, dans toute sa complexité, le fonctionnement des attentes des enseignants lors des pratiques effectives. L'étude permet de situer le « monde des attentes » des enseignants et de le différencier du « monde des potentialités » ainsi que de contribuer à des pistes nouvelles pour la formation aux technologies.

ABSTRACT

This article studies actual uses of digital technology by teachers in "ordinary" conditions. These uses do not denote a high degree of integration, but rather teachers' expectations towards technology. Our hypothesis is that discrepancies exist, first between these expectations and potentialities that didactical analysis assigns to technology and second between these expectations and actual classroom didactical phenomena.

We study the case of dynamic geometry at middle school in France. We identify successive gaps in discourses of didactical research, official curricular instructions and textbooks. In the textbooks' propositions, we distinguish two types of uses and we report on the observation of two teachers, each practising

*IUFM Université de Reims Champagne Ardenne et Equipe de didactique des Mathématiques, Université Paris Diderot jb.lagrange@reims.iufm.fr

**Université d'Ondokuz Mayıs Samsun/TURQUIE ndedeoglu@omu.edu.tr

one type. Interpreting this observation by means of Ruthven and Hennessy's model, we show how teachers' expectations work in the classroom. Our study helps to identify two different worlds, the "world of expectations" and the "world of potentialities". It also contributes to new propositions for teacher professional development in technology use.

RESUMEN

En este artículo se analizan los usos reales que los profesores hacen de la tecnología en condiciones ordinarias. Estos usos no presentan un alto grado de integración, pero muestran las expectativas que los profesores usuarios tienen con respecto a la tecnología. Caracterizamos estas expectativas en relación a las diferencias con las potencialidades de la tecnología, obtenidas como resultado del análisis didáctico y confrontándolas con la realidad de los fenómenos didácticos en el aula. Estudiamos el caso de la geometría dinámica en el nivel secundario (collège) en Francia. Observamos diferencias sucesivas, en el discurso de la investigación didáctica, en las instrucciones oficiales y en los libros de texto. Distinguimos en las proposiciones de estos últimos, dos tipos de uso y observamos a dos profesores que practican uno de esos tipos. La interpretación de las observaciones se realiza a través del modelo de Ruthven y Hennessy, el cual ayuda a mirar, en toda su complejidad, el funcionamiento de las expectativas de los profesores durante sus prácticas efectivas. El estudio nos permite situar el "mundo de las expectativas" de los profesores y diferenciarlo del "mundo de las potencialidades", así como contribuir con nuevas perspectivas para la formación en las nuevas tecnologías.

Mots-clés: Enseignant, technologie, instrumentation, attentes, potentialités, pratiques enseignantes.

I. INTRODUCTION

Artigue (1997, p. 133) notait que « depuis plus de dix ans en France, des actions institutionnelles de grande ampleur sont menées pour promouvoir l'intégration des nouvelles technologies à l'enseignement... ». Elle précisait (p. 134) que le secteur restait marqué par un esprit militant favorisant l'innovation, mais empêchant de poser de façon efficace les problèmes d'intégration.

L'idée d'intégration développée à cette époque s'oppose à celle d'innovation. L'intégration des technologies se définit comme un processus réfléchi et durable d'utilisation de l'ordinateur alors que le projet de l'innovation est de produire des utilisations nouvelles donc transitoires et n'a par conséquent pas à prendre en charge les contraintes écologiques des institutions d'enseignement.

Dix années ont à nouveau passé et le même constat de faible intégration des technologies dans l'enseignement des Mathématiques pourrait être fait. Il est cependant possible d'aborder le domaine avec une problématique nouvelle, celle des usages. Vingt ans d'efforts et d'incitations n'ont pas produit l'intégration souhaitée, mais ici et là, des enseignants ont engagé des utilisations qui ne s'inscrivent pas dans l'innovation, ce que nous appellerons des *usages*.

Partons de la définition qu'un récent appel à projets du Ministère délégué à la Recherche (MEN, 2004) donne de ce mot.

...les usages sont caractérisés par trois traits fondamentaux :

- ils diffèrent des simples utilisations en ce qu'ils s'inscrivent dans le temps long de pratiques éducatives et sociales stabilisées ;
- ils se distinguent des modes d'emploi en ce qu'ils portent la marque des usagers et des transformations que ceux-ci imposent, plus collectivement qu'individuellement, aux cadres fixés par l'offre technologique et les politiques réglementaires et incitatives ;
- ils ont une consistance qui s'exprime au-delà des effets de nouveauté (les effets de la dernière technologie en date) ou de rupture (solution de continuité d'une technologie à l'autre).

La caractéristique d'inscription dans le temps et la marque que leur impriment les usagers, rapprochent les usages de l'intégration. La consistance au-delà des effets de nouveauté les distingue bien de l'innovation. Pour autant, intégration et usages ne sont pas synonymes. Comme le souligne Assude (2007, p. 133) une utilisation d'un logiciel peut se caractériser par différents modes d'intégration. Les modes « instrumentaux » sont définis par les connaissances visées

dans l'usage proposé en distinguant et en articulant les connaissances proprement mathématiques et celles qui portent sur le logiciel : modes initiation, renforcement et symbiose. Les modes « praxéologiques » se définissent relativement à la prise en compte des types de tâches et types de techniques introduits par le logiciel et leur coordination avec les tâches et techniques existants.

Pour Assude (ibid.) les combinaisons de ces modes définissent des degrés d'intégration : « Le degré zéro est bien sûr celui de l'absence de toute utilisation, tandis que le degré 1 est celui qui correspond à une intégration complète dans le travail ordinaire en prenant en compte tous les modes ». Les utilisations auxquelles se réfère Assude ont un degré « plus proche de un que de zéro ». Il s'agit pour nous d'étudier les usages d'enseignants dans des conditions « ordinaires », et nous nous attendons à ce que le degré d'intégration soit plus proche de zéro que de un, c'est-à-dire à ce que ces usages prennent peu en compte l'articulation des connaissances sur le logiciel avec les connaissances mathématiques visées ainsi que la coordination des tâches et techniques avec et sans logiciel. La question générale que nous abordons dans cet article est la suivante : que peuvent nous apprendre des usages qui loin d'atteindre un haut degré d'intégration s'inscrivent cependant dans des pratiques relativement stables et consistantes et portent la marque d'enseignants usagers ?

Nous pensons que l'étude d'usages dans des conditions ordinaires peut aider à mieux comprendre les problèmes épistémologiques, cognitifs et institutionnels que pose la technologie à l'enseignement et à mieux appréhender les pratiques des enseignants, notamment leur stabilité et leur cohérence face aux changements introduits par la technologie. En effet, si les incitations officielles et les analyses et expérimentations didactiques produisent si peu d'effets dans la réalité des classes, c'est sans doute que les conditions ordinaires introduisent des éléments insuffisamment pris en compte et analysés que seule une étude spécifique des usages peut permettre d'apercevoir.

Plus largement, nous nous interrogerons sur la façon dont les usages se développent, faisant l'hypothèse qu'ils s'inscrivent dans une histoire professionnelle qui leur donne leur cohérence. En ergonomie du travail, Béguin (2007, p. 31) décrit cette histoire en termes de genèses professionnelles constituées à la fois de genèses conceptuelles et de genèses identitaires, et intégrant des genèses instrumentales : à travers son activité, le sujet, spécialement en situation professionnelle, développe ses connaissances et ses relations au monde en même temps que ses instruments. La question qui est posée est donc celle des genèses professionnelles chez les enseignants usagers des

technologies, et, dans ces genèses, celles du rôle et de la nature des genèses instrumentales.

II. HYPOTHESES

Notre vision des difficultés de l'intégration des technologies n'est pas celle d'un corps enseignant qui résisterait par conservatisme ou à cause d'une conception « transmissive » de l'enseignement supposée incompatible avec l'usage des technologies. Nous rejoignons en cela Ruthven et Hennessy (2002, p. 48) qui ont été les premiers à questionner la crédibilité d'études de l'enseignant utilisateur des Technologies d'Information et de Communication pour l'Enseignement (TICE) basées sur une dichotomie entre profils d'enseignants « transmissive » et « constructivist » et à montrer la nécessité d'approches plus fines. Nous partons de l'observation que des usages des technologies pour l'enseignement, même avec un degré d'intégration faible, impliquent pour l'enseignant des efforts et des difficultés sur le plan didactique et sur le plan de la gestion de ses moyens d'enseignement. L'enseignant usager est en effet confronté à l'obsolescence des praxéologies auxquelles il avait recours sans la technologie (Lagrange 2000, p. 25), il doit adapter ses stratégies d'enseignement et il doit assurer une gestion plus complexe.

Il s'agit d'efforts importants. Pour un innovateur ou dans le cadre d'une expérimentation, ils sont motivés par l'intérêt de la nouveauté ou de la recherche et n'ont pas à être assumés sur le long terme. En revanche, de la part d'enseignants usagers auxquels nous nous intéressons, ces efforts ne peuvent se justifier que si la technologie est vue comme susceptible d'aider à la réalisation de souhaits ou d'aspirations concernant leur pratique d'enseignement. Nous considérons par conséquent que ces enseignants ont certaines « attentes » vis-à-vis de la technologie. Notre hypothèse est que ces attentes sont marquées par des préoccupations vis-à-vis de l'exercice du métier d'enseignant, davantage que par une réflexion didactique sur les outils informatiques. Pour valider cette hypothèse nous allons chercher à mettre en évidence un écart entre les potentialités découlant de cette réflexion et les avantages que l'enseignant attend des usages.

Nous faisons deux hypothèses plus spécifiques sur cet écart. La première porte sur les discours relatifs aux usages de la technologie, ceux de la recherche, des instructions officielles et des manuels. Ces discours « noosphériens » sont supposés orienter les usages, mais ils en sont aussi partiellement le reflet, les manuels ne pouvant par exemple proposer des usages trop en rupture avec les pratiques

dominantes. Ils sont donc un matériau pour l'analyse des usages, notamment en ce qui concerne les rôles respectifs de l'analyse didactique et des attentes. Le discours de la recherche privilégie l'analyse didactique alors que les manuels prennent nécessairement en compte les attentes de l'enseignant, les instructions officielles occupant une position intermédiaire. Des décalages successifs doivent pouvoir s'observer d'un discours à l'autre, permettant de bien caractériser l'écart entre potentialités et attentes.

La seconde hypothèse est que, comme les enseignants usagers voient les apports des outils informatiques en fonction d'attentes qui se situent sur un plan pédagogique général, ils prennent peu en compte les effets et contraintes proprement didactiques de ces outils, ce qui va entraîner des difficultés de mise en œuvre et donc être à l'origine d'un décalage entre leurs attentes et la réalisation effective. Robert et Rogalski (2002) considèrent que les pratiques des enseignants sont complexes au sens de non réductibles à la somme de leurs composantes. La technologie ajoute une composante interagissant avec les composantes existantes et les difficultés qui en résultent sont des indices d'une complexité nouvelle, et que leur l'analyse doit permettre de mieux comprendre.

III. OUTILS THEORIQUES

Un premier outil théorique nous sera utile pour caractériser le fonctionnement des attentes des enseignants. Dans la continuité des préoccupations exposées ci-dessus, Ruthven et Hennessy (ibid.) ont élaboré ce qui constitue pour nous un modèle des attentes. A partir d'interviews d'enseignants, ils ont identifié *dix thèmes opérationnels*.

Ces thèmes s'organisent sur 3 niveaux, le premier étant constitué d'apports supposés de la technologie, le troisième d'aspirations générales des enseignants indépendantes de la technologie. Entre ces deux niveaux, certains thèmes apparaissent comme des conséquences des apports de la technologie et font le pont avec les aspirations des enseignants. Ruthven et Hennessy ont dégagé par une analyse statistique des liens privilégiés entre thèmes, ce qui constitue ce que dans la suite nous appellerons le modèle RH. Le schéma 1 donne les thèmes (traduits par nous) et les liens les plus significatifs.

Pour nous, ce modèle rend compte des attentes des enseignants vis-à-vis de la technologie, de la façon dont ces attentes s'articulent entre elles et dont elles sont liées aux potentialités de la technologie, mais aussi à des aspirations plus générales de l'enseignant quant aux conditions de l'apprentissage en classe. Notre projet est d'utiliser ce

modèle pour rendre compte des attentes d'enseignants individuels et de leur activité en classe.

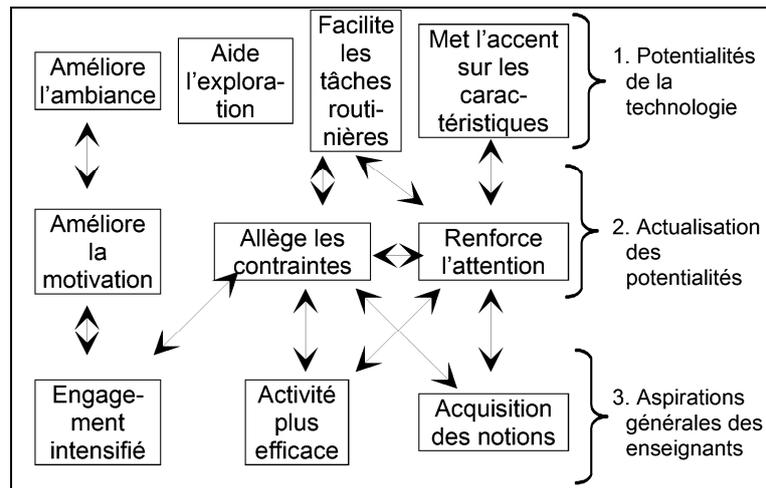


Schéma 1.- Les thèmes reflétant les idées des enseignants sur une utilisation réussie des TICE (modèle RH)

L'idée de genèse instrumentale, déjà citée, et la notion d'instrumentation qui la sous-tend, constituent un second jeu d'outils. Pour un individu en situation de travail, l'instrumentation d'un environnement informatique passe par la constitution d'invariants mentaux qui lui permettent d'agir avec ou dans cet environnement, d'orienter cette activité et de lui donner son sens. L'instrumentation n'est pas donnée avec l'environnement, elle se développe au cours d'un processus de genèse qui accompagne le développement des usages. Quand il s'agit d'environnements pour l'apprentissage des mathématiques, l'instrumentation met en jeu et articule des connaissances mathématiques et des connaissances portant sur l'environnement (Trouche 2000).

Les questions d'instrumentation se situent pour le professeur à deux niveaux. Le premier concerne l'instrumentation des élèves : quand un professeur met en place des situations d'utilisation de la technologie en classe, il peut ou non tenir compte des besoins en instrumentation, c'est-à-dire du niveau d'instrumentation de la technologie qui serait nécessaire chez les élèves ; il peut ou non prendre en charge la genèse instrumentale de ses élèves. Ces choix déterminent les modes instrumentaux qui entrent dans la définition des degrés d'intégration de Assude. Le second niveau est celui de l'instrumentation de l'environnement informatique par l'enseignant.

Cette instrumentation comporte des connaissances instrumentales spécifiques, puisqu'il ne s'agit pas pour l'enseignant d'utiliser l'environnement pour sa propre activité mathématique, mais d'en faire un instrument pour l'activité des élèves. Elle met aussi en jeu des connaissances sur l'enseignement avec l'environnement informatique utilisé et plus généralement avec les technologies (Lagrange, Lecas, Parzysz 2006). La genèse instrumentale de l'enseignant s'articule avec d'autres genèses liées à la profession comme nous l'avons vu plus haut à propos de l'ergonomie du travail. Les questions d'instrumentation dans le cas du professeur sont donc particulièrement complexes.

Le dernier outil théorique provient de la Théorie Anthropologique du Didactique. Nous avons vu plus haut que la prise en compte par l'enseignant des types de tâches et des techniques avec et sans la technologie et de leur interaction détermine les modes praxéologiques qui entrent dans la définition des degrés d'intégration de Assude. Nous avons aussi rappelé qu'une importante difficulté pour le professeur est l'obsolescence des praxéologies auxquelles il avait recours sans la technologie. Dans cet article, nous nous en tiendrons à l'analyse des types de tâches et techniques associées pour une première approche de la dialectique potentialités/attentes.

IV. CHOIX ET METHODOLOGIE DE RECUEIL DE DONNEES

Nous avons fait le choix d'une technologie, la géométrie dynamique (GD), qui n'est pas une innovation puisqu'elle a été créée il y a plus de vingt cinq ans. On ne peut certes pas dire qu'elle s'est banalisée mais plutôt qu'elle fait partie « du paysage » de l'enseignement des mathématiques un peu partout dans le monde. La littérature de recherche concernant la GD est bien fournie et donc ce choix nous a semblé intéressant pour notre point de départ, les « potentialités ». En France, le discours institutionnel sur la géométrie dynamique est lui aussi abondant ce qui nous a paru intéressant pour repérer des convergences ou décalages entre les différentes « couches » de la noosphère. Nous avons choisi le niveau collège (11-15 ans, de la 6^{ème} à la 3^{ème}). Tout d'abord, le discours institutionnel est plus présent au niveau secondaire qu'au niveau primaire. Ensuite, nous avons pris conscience dans une étude précédente (C.-Dedeoglu et Erdogan 2003) de ce que, au lycée, les usages de la géométrie dynamique semblaient exister plus difficilement, beaucoup d'enseignants voyant les évidences perceptives fournies par la GD comme un obstacle à

l'apprentissage de la démonstration et donc nous prévoyions des difficultés à trouver un panel d'enseignants pour l'étude des usages.

Nous nous appuyons sur deux recueils de données. Le premier est constitué des discours « noosphériens » sur la technologie et le second d'un panel de situations d'usage en classe ordinaire. Le premier recueil est conçu de façon à couvrir la variété des discours tenus sur la GD dans le contexte que nous étudions et le second est constitué d'un nombre nécessairement limité d'observations. De façon à assurer la généralité de l'étude, nous contrôlons le second par le premier.

Le premier recueil de données est constitué à partir de trois corpus représentatifs des trois discours dont nous avons parlé plus haut :

- Un corpus « recherche » constitué d'une part de travaux de synthèse des spécialistes de la GD et d'autre part de textes de chercheurs insérant la GD dans des travaux non spécifiques de cette technologie. Nous y avons recherché quelles fonctionnalités de la GD sont particulièrement mises en avant et quelles potentialités en découlent pour l'enseignement.
- Les programmes et documents d'accompagnement pour le collègue en mathématiques. Nous y avons repéré d'une part les discours tenus sur la technologie et particulièrement la GD, et d'autre part les situations d'usage proposées ainsi que leurs justifications.
- 89 manuels (livres d'élèves/professeur) et 28 supports informatiques de 9 maisons d'édition, conformes aux instructions officielles 1996-1999, édités en deux périodes 1996-1999 et 2000-2003. Nous avons fait un recueil et une classification des tâches faisant appel à la GD et induit de cette classification des types d'usages proposés aux professeurs.

Nous avons fait le choix de considérer un panel restreint d'enseignants pour caractériser en profondeur les usages qu'ils développent. Il nous fallait observer des usages résultant d'un projet autonome de l'enseignant et la façon dont ils s'inscrivent dans la réalité des classes. Conformément à notre choix de considérer des usages dans des conditions ordinaires, les classes choisies étaient soumises aux contraintes habituelles de l'enseignement et nous ne sommes intervenus ni dans la préparation ni dans le déroulement de la classe. Les enseignants eux-mêmes ne peuvent cependant pas être qualifiés d'« ordinaires » en ce sens que développer des usages significatifs et accepter de laisser un chercheur les étudier suppose une certaine maturité qui reste rare à l'heure actuelle. La méthodologie d'observation a comporté des entretiens préalables aux séances observées et, si possible, postérieurs. L'observation de séances en classe a porté en priorité sur le professeur : les tâches données aux élèves et son activité lors de la séance. L'effet sur les élèves de ces

tâches et de cette activité a été analysé en inférant, à partir des données ainsi recueillies, des « itinéraires cognitifs », méthodologie que nous empruntons à Robert et Rogalski (ibid). Il s'agit d'abord de repérer l'activité cognitive que l'enseignant prévoit pour l'élève à partir de la tâche qu'il donne et des justifications qu'il y apporte, puis de dégager, à partir de l'observation de la classe, des activités effectives possibles durant la séance.

Les données recueillies l'ont été dans le cadre d'un travail de thèse (C.-Dedeoglu 2006). La thèse comporte une présentation détaillée de la méthodologie de recueil et d'analyse des données.

V. LES POTENTIALITES DE LA GEOMETRIE DYNAMIQUE

Les publications de recherche sont les premiers discours noosphériens que nous analysons. Nous partons des *fonctionnalités* des logiciels de GD puis nous les mettons en relation avec les *apports potentiels* de ces logiciels à l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques. Pour caractériser ces apports, nous considérons tout d'abord comment, dans les textes étudiés, les fonctionnalités des logiciels sont susceptibles de faire évoluer l'*activité* de l'élève, puis l'effet que peut avoir cette évolution sur les *conceptualisations* des élèves.

Les logiciels de GD présentent tout d'abord des fonctionnalités communes aux logiciels graphiques, qu'ils soient ou non dédiés à la géométrie : la précision et la rapidité des tracés, la multiplicité d'outils et d'objets disponibles dans les menus, la possibilité d'en ajouter grâce à des macros et d'en éliminer, la manipulation directe d'objets créés. Ils offrent aussi un ensemble de fonctionnalités spécifiques, liées à la *construction* et au *déplacement* des objets. A la différence d'autres logiciels graphiques, construction et déplacement obéissent aux règles de la géométrie euclidienne (Laborde 1999).

Pour Pratt et Ainley (1997) la fonctionnalité de déplacement en géométrie dynamique permet aux élèves d'obtenir plusieurs configurations d'une même figure. La GD conduit ainsi à un élargissement du champ d'expérimentation, notamment en géométrie de l'espace (Chaachoua 1997). Pour Hölzl (2001) l'élève est plus actif et enclin à envisager plusieurs solutions dans l'environnement GD. Les chercheurs insistent aussi sur les rétroactions produites par le déplacement dans l'activité de l'élève (Laborde et Capponi 1994) : si la figure n'est pas construite selon des procédés adéquats à la géométrie, lorsque l'on la déplace à partir d'un élément servant à sa

construction elle ne résistera pas au déplacement. Pour Assude et Gelis (2003, p. 261), c'est ainsi toute l' « économie du travail » qui est potentiellement changée.

Du point de vue des conceptualisations, le fait que les logiciels de GD obéissent aux règles de la géométrie euclidienne et les rétroactions auxquelles cela conduit lors de l'activité de l'élève sont vus comme jouant un rôle important dans la distinction dessin/figure (Laborde et Capponi *ibid.*). Le changement d'activité peut aussi permettre à l'élève de concevoir d'autres géométries, ou des géométries difficilement accessibles en papier/crayon comme la géométrie de l'espace. Gomes et Vergnaud (2004) insistent par exemple sur le fait que l'utilisation d'instruments différents mène à des géométries spécifiques. L'effet sur l'activité de preuve et les conséquences sur les conceptualisations sont aussi largement discutés par les chercheurs (Laborde 2000).

Notons deux données importantes :

- Il n'y a pas de lien univoque entre les éléments des trois niveaux. Par exemple, les rétroactions et la possibilité de multiplier les configurations jouent de façon conjointe dans la distinction dessin/figure ; les rétroactions sont une conséquence du déplacement, mais elles ne prennent sens qu'en lien avec la construction de la figure.
- Les chercheurs soulignent le rôle du professeur. L'usage de la GD peut, s'il n'est pas pris en charge par le professeur, constituer un obstacle à un passage à la géométrie théorique. Il faut que celui-ci prépare des tâches spécifiques à la GD, donne aux élèves des occasions pour conjecturer, faire des erreurs, discuter et interpréter des rapports entre les objets et offre des explications mathématiques (Laborde *ibid.*) Assude et Gelis (*ibid.*) soulignent aussi que l'actualisation des potentialités suppose que la genèse instrumentale des élèves soit prise en compte.

VI. LES INSTRUCTIONS OFFICIELLES

C.-Dedeoglu (*ibid.*) analyse de façon détaillée ce que disent de la GD les instructions officielles en vigueur en 2002. Nous reprenons ici ses conclusions, en distinguant programmes et documents d'accompagnement.

Dans les programmes, les propositions d'usages de la GD apparaissent dans peu de contenus : sur 17 contenus de travaux géométriques au collège, 4 recommandent ces usages de façon ponctuelle. Pour les classes de 6^e, 5^e et 3^e certaines propositions de

travaux géométriques mentionnent «... y compris dans un environnement informatique». Pour la classe de 4^e rien n'est mentionné. Dans la majorité des cas, les programmes laissent le choix à l'enseignant d'utiliser la géométrie dynamique ou le papier/crayon pour certains contenus, sans indiquer des potentialités spécifiques qui orienteraient ce choix. Par exemple, en 6^e les auteurs recommandent l'usage d'instruments de dessin aussi bien que de logiciels de construction géométrique pour des tâches de reproduction de figures en vue de dégager des définitions ou propriétés. Ils ne distinguent pas les apports spécifiques de l'activité avec d'instruments de dessin et avec logiciel.

Dans les rares cas où l'usage préférentiel de la géométrie dynamique est indiqué, les potentialités qui pourraient le fonder sont peu développées. En 6^e et en 5^e, par exemple, dans deux contenus relatifs à la géométrie dans l'espace, l'apport des logiciels de géométrie dans l'espace est recommandé pour une meilleure visualisation. Il n'est cependant pas précisé en quoi cette visualisation est meilleure. En 3^e, il est proposé au professeur de créer avec la GD des situations reliées au théorème de Thalès. Ces situations et les potentialités de la GD qu'elles exploitent ne sont pas explicitées. Nous pensons qu'il s'agit de mettre en évidence la conservation de l'égalité des rapports de distance pour un point décrivant un côté d'un triangle. Il s'agit donc d'exploiter le déplacement d'objets pour considérer une multitude de configurations en vue d'une conjecture ce que le programme n'explique pas.

Ainsi, dans les programmes, l'environnement de référence est celui du papier/crayon et les recommandations vers les usages de la GD demeurent très ponctuelles et peu explicites. L'objectif principal des programmes de collège est de faire passer les élèves progressivement d'une géométrie d'observation à une géométrie de déduction. Dès la classe de 6^e, cela est formulé comme suit : « passer de l'identification perceptive (la reconnaissance par la vue) de figures et de configurations à leur caractérisation par des propriétés ». Comme nous venons de le voir du point de vue de la recherche, la GD pourrait largement contribuer à ce passage à condition de créer des situations adaptées, mais cette contribution est très peu mentionnée dans les programmes.

Les documents d'accompagnement réservent quant à eux une place significative à la GD en liant potentialités et situations. La GD est proposée en 6^e pour une approche dynamique des figures qui pourrait jouer un rôle dans l'initiation au raisonnement sur les objets théoriques. En 5^e et 4^e les apports de la GD sont cités pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique. Cela est explicité

par la fonctionnalité de déplacement qui facilite également l'accès à des conjectures, au raisonnement et à des démonstrations.

En 3^e, des commentaires valables pour tout le collège sont illustrés à l'aide d'exemples d'usages de la GD. D'après les auteurs, elle offre des moyens d'expérimentation et la possibilité de varier les figures à l'infini permet la reconnaissance des propriétés géométriques, ainsi de conjecturer le résultat et de le démontrer par la suite. Le rôle du déplacement est souligné notamment dans l'observation des propriétés, l'exploration des figures facilitant l'émission des conjectures et préparant à la démonstration. Sont illustrées également les possibilités de réaliser des situations riches et complexes en classe, par les fonctionnalités et l'adaptabilité de la GD.

Les différences relevées entre programmes et documents d'accompagnement nous semblent significatives.. Contrairement aux programmes les documents d'accompagnement développent davantage certaines situations et précisent les potentialités associées. Il est certes normal que les documents d'accompagnement soient plus explicites que les programmes. Il nous semble cependant que ces documents explicitent des potentialités qui ne sont pas du tout présentes dans les programmes. Programmes et documents d'accompagnement sont en fait marqués par des conceptions différentes de rapports entre les outils utilisés pour faire de la géométrie et les apprentissages géométriques.

Pour nous, la mention dans les programmes de l'usage d'outils informatiques est principalement une concession à la pression sociale en faveur de l'usage de la technologie à l'école. Les programmes ne mettent pas l'accent sur l'influence spécifique que cet usage pourrait avoir sur les notions et leur apprentissage et sont ainsi marqués par une conception dominante dans les mathématiques et leur enseignement : l'indépendance des notions par rapport à leurs représentations et aux outils employés pour les manipuler. Notons cependant le cas particulier de la géométrie dans l'espace, où les possibilités offertes par la visualisation sont signalées. Cela ne remet pas en cause notre interprétation, car au collège la géométrie dans l'espace reste considérée à un niveau préthéorique n'ayant pas les mêmes enjeux pour la formation scientifique que la géométrie plane. L'environnement informatique apporterait des moyens de perception nouveaux pour les objets proches du sensible que sont, à ce niveau, les objets de l'espace. Pour les objets « idéaux » de la géométrie plane, en revanche, les moyens de visualisation et d'actions nouveaux que permet l'ordinateur ne sont pas reconnus par les programmes comme pouvant avoir un effet spécifique sur les conceptualisations.

Les documents d'accompagnement marquent une certaine rupture avec cette conception en précisant les usages. Alors que les contenus des programmes sont en quelque sorte la « loi » que tout enseignant doit connaître et appliquer, les documents d'accompagnement sont plutôt des « incitations » connues souvent seulement par les enseignants les plus attentifs aux évolutions et les formateurs. Ceci montre bien l'ambiguïté de la position institutionnelle. La position « officielle » concède l'usage de l'ordinateur à la pression sociale, sans lui reconnaître une spécificité relative aux apprentissages. Parallèlement l'institution développe dans les documents d'accompagnement un travail d'adaptation des résultats de recherche aux contenus du collège, ce travail restant cependant au niveau de l'incitation et s'adressant seulement à une frange d'enseignants.

VII. LES MANUELS

Comme pour la partie précédente, nous reprenons ici seulement les conclusions d'une étude exhaustive des manuels et livres du professeur conformes aux instructions officielles 1996-1999 menée par C.-Dedeoglu (ibid.) Deux périodes d'édition ont été distinguées entre 1996 et 1999 et de 2000 à 2003. En effet, bien que les programmes de 1996-1999 restent en vigueur, les collèges sont autorisés à renouveler leur stock de manuels tous les 5 ans et donc les éditeurs de manuels proposent de nouvelles éditions de leurs ouvrages à partir de 2000.

D'un point de vue quantitatif global, les propositions d'usages de la GD concernent environ 5 % des tâches² proposées dans les manuels, ce qui est très en deçà des recommandations des programmes et concernent dans leur grande majorité les ouvrages de la seconde période d'édition, soit à partir de 2000. On trouve notamment très peu de propositions concernant la géométrie dans l'espace dans les manuels de 6^e et en 5^e alors même que c'est dans ce domaine que les recommandations des programmes sont les plus précises. Dans les tâches proposées aux élèves, nous distinguons deux grands types exploitant des fonctionnalités spécifiques. Le premier type de tâche consiste à reproduire des figures données. Ce sont les primitives de construction de la GD qui sont exploitées. La tâche est supposée mettre en évidence plus nettement qu'en papier/crayon les étapes d'une construction et illustrer l'idée de programme de construction. La

² Ce taux a été calculé sur la base des questions posées dans les exercices des manuels.

fonctionnalité de déplacement n'est quasiment pas exploitée dans ce premier type de tâche alors qu'elle permettrait des rétroactions intéressantes pour valider ou invalider des constructions. Le second type de tâches s'opère sur une figure réalisée. Il est demandé de déplacer des objets libres de la figure de façon à explorer une variété de cas de figure ou de découvrir des propriétés invariantes par déplacement.

Nous avons ensuite classé les situations pédagogiques dans lesquelles les propositions des manuels s'insèrent. Dans une première classe, les manuels reprennent simplement les indications du programme selon lesquelles, pour de nombreuses tâches en géométrie, la GD peut être utilisée « *alternativement* » aux instruments de dessin habituels (papier/crayon, compas, règle, équerre...) sans que des potentialités spécifiques de la GD soient exploitées. Ensuite, deux classes de situations exploitent les fonctionnalités de la GD de deux façons différentes. L'une « donne à voir » soit la construction, soit les propriétés d'une figure. En général la figure est déjà réalisée et même souvent disponible pour l'enseignant sur un support informatique (CD-ROM ou site Internet). Nous disons que, dans cette classe, la GD est « *au service de l'enseignement* » : il n'y a pas de recherche autonome par l'élève d'une construction ou d'une propriété. D'autres propositions donnent une plus large part à l'activité de l'élève. La GD lui fournit un cadre de travail où, même si la tâche peut être plus ou moins guidée, il a lui-même à se confronter aux commandes du logiciel. Nous disons donc que dans cette classe, la GD est proposée « *comme environnement d'étude de l'élève* ».

Cette étude des manuels est pour nous une donnée importante pour approcher les usages. En effet, les auteurs de manuels doivent, pour que leur ouvrage soit choisi par les professeurs, prendre en compte plus significativement que les instructions officielles les usages possibles dans l'enseignement tel qu'il est. Il est donc tout à fait notable que les propositions existent surtout dans la seconde période d'édition : en dépit des injonctions du programme de 1996-1999, c'est seulement à partir de 2000 que l'usage de la GD devient crédible pour les auteurs de manuels du fait de l'accroissement des possibilités d'accès à la technologie pour les classes. Il est aussi significatif que la géométrie dans l'espace soit ignorée : les enseignants en général perçoivent peu les enjeux d'apprentissage de l'espace à ce niveau ; ceux qui les perçoivent ont des stratégies s'appuyant sur des objets matériels et ne ressentent pas le besoin de passer à des objets virtuels.

Les auteurs de manuels adoptent majoritairement le point de vue des programmes, plutôt que celui des documents d'accompagnement : présenter la GD comme une possibilité alternative au papier/crayon

pour des tâches inchangées. Ainsi, ils se donnent à bon compte une image de modernité et de conformité aux instructions officielles, sans obérer la possibilité que la grande majorité des enseignants, qu'ils savent réticents aux usages des technologies, décident néanmoins l'achat de l'ouvrage. Au delà de cette « conformité » au programme, nous voyons apparaître deux spécificités des manuels.

La première est la distinction entre tâches exploitant d'une part les primitives de construction et d'autre part le déplacement, alors même que les potentialités de la GD, soulignées par la recherche et reprises par les documents d'accompagnement, reposent sur une interaction entre ces fonctionnalités, par exemple quand le déplacement est exploité pour invalider une construction réalisée « au jugé ».

La seconde spécificité est que les manuels présentent nettement des situations pédagogiques relevant de deux types d'usage distincts : l'un où la GD est « *au service de l'enseignement* » et l'autre où elle est proposée « *comme environnement d'étude de l'élève* ». Certes, les discours observés dans la recherche et les documents d'accompagnement peuvent mentionner l'usage par les élèves en autonomie aussi bien que « collectivement » dans une discussion guidée par le professeur. L'articulation de ces deux modes de travail est même considérée par des auteurs comme Falcade, Laborde et Mariotti (2004, p. 373) comme nécessaire pour un usage efficace de la GD. Mais, selon nous, ce n'est pas ce dont il s'agit pour les auteurs des manuels : par exemple, les figures préparées par le professeur ou même tirées directement de ressources numériques et utilisées quand la GD est « *au service de l'enseignement* » ne sont pas les figures produites par les élèves dans une phase où la GD serait son « *environnement d'étude* ». Comme nous allons le voir, il s'agit bien de deux types d'usages relevant de façons différentes de voir la GD, et non de situations distinctes mais coordonnées. Il semble qu'à un moment donné un professeur porte son choix sur un type d'usage au détriment de l'autre.

VIII. OBSERVATIONS D'USAGES

Les observations d'usages ont été menées au cours de l'année scolaire 2002-2003. Conformément à notre problématique d'observation d'usages « ordinaires », le contrat avec les enseignants était qu'ils décidaient eux-mêmes des utilisations de la technologie, qu'ils acceptaient un enregistrement audio et la présence d'un chercheur à toutes les séances où la géométrie dynamique serait utilisée. Il n'a pas été aisé de trouver des enseignants acceptant ce contrat. Un premier

essai avec des enseignants ayant participé à un stage de formation a échoué. Ces enseignants considéraient qu'ils n'avaient pas assez d'expérience pour « montrer » à un chercheur leurs pratiques, ou qu'ils n'auraient pas les conditions pour réaliser ce qu'ils avaient appris en stage. Nous nous sommes donc tournés vers des enseignants plus expérimentés, engagés à l'IREM³ de leur région ou ayant des responsabilités de conseil ou d'animation. Quatre enseignants de deux collèges ont accepté. Les usages de ces quatre professeurs se sont trouvés directement typés selon la classification issue des manuels : les séances de deux professeurs ont eu lieu en salle informatique, avec l'objectif de mettre les élèves aux commandes de la géométrie dynamique tandis que deux autres utilisaient un video-projecteur « au service de leur enseignement ».

C.-Dedeoglu (ibid) rapporte et analyse les observations et dresse un profil comparé de ces quatre professeurs. Nous retenons ici seulement deux professeurs, que nous appelons Anne et Bruno, chacun ayant un type d'usage. Anne et Bruno enseignent dans deux établissements différents qui disposent de moyens informatiques satisfaisants. Les élèves sont d'un milieu social aisé. Les deux professeurs enseignent depuis une dizaine d'année. Comme prévu dans le contrat, les séances observées l'ont été après annonce par l'enseignant d'une prévision d'utilisation de la GD. Deux séances ont été observées sur l'année scolaire chez Anne et sept chez Bruno. L'observation en classe proprement dite a été complétée par un recueil d'information avant et après les séances, pour servir de base à une caractérisation des attentes des enseignants vis-à-vis de la technologie et pour recueillir des éléments a priori et a posteriori sur la séance.

1. La GD comme environnement d'étude de l'élève

Anne : profil général

Anne est enseignante depuis 12 ans. Elle participe au groupe TICE de l'IREM de sa région. Elle utilise l'ordinateur depuis 9 ans pour son usage personnel et depuis 6 ans avec ses élèves. Dans son enseignement, elle a commencé l'utilisation des TICE avec un logiciel tutoriel fermé. Elle considère qu'elle les utilise « vraiment régulièrement » depuis 4 ans. Cette utilisation régulière concerne la géométrie dynamique. Elle a choisi d'utiliser le logiciel Geoplan, principalement parce que c'est celui qui a été présenté à la formation suivie lors de deux stages d'établissement.

³ Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques. Il existe un IREM dans chaque région française.

Anne enseigne dans deux classes de 5^e (seconde classe de collège, enfants de 12 ans) et deux classes de 4^e (troisième classe de collège, enfants de 13 ans). Lors d'un entretien en début d'année, elle nous a annoncé des projets variés d'utilisation des TICE dans son enseignement : didacticiels, éventuellement en ligne, et logiciels « micromondes » (tableur, géométrie dynamique). Elle prévoyait des utilisations en salle de classe et en salle informatique. Concernant Geoplan, elle avait précisé que les classes de cette année n'étaient pas encore familières avec ce logiciel et que donc elle prévoyait une séance d'initiation pour chaque classe. Elle disait être rassurée par le fait que les élèves possèdent un ordinateur chez eux.

Lors de cet entretien et avant les séances observées, Anne mettait l'accent sur la facilité et la rapidité d'obtention des figures dans l'environnement GD. Par comparaison avec l'environnement papier/crayon, elle insistait sur le graphisme irréprochable des figures obtenues sur ordinateur. Elle soulignait aussi que les créations d'objets géométriques sont pilotées par des menus où les primitives apparaissent avec le vocabulaire mathématique. Resituée dans une pratique d'enseignant de collège, cette fonctionnalité prend toute son importance : les élèves peuvent passer directement de l'énoncé où ce vocabulaire est employé à la création, sans risque de confusion. Par exemple médiatrice ne peut être confondu avec médiane.

Anne mentionnait aussi la possibilité de déplacer les points libres. Comme dans le type de tâches repéré dans les manuels qui exploite cette fonctionnalité, Anne se centrait particulièrement sur la possibilité de montrer des invariants aux élèves, en mettant en relation le déplacement avec la facilité d'obtention d'une multitude de configurations et la rapidité des tracés :

Quand on fait un exercice, quelquefois il faudrait que l'élève fasse dix figures, alors que là, en bougeant seulement un point de la figure, l'élève peut voir que ça marche tout le temps. [...] Pour qu'il puisse arriver à une propriété, en voyant que ça marche tout le temps. Sans la GD, sinon sur leur feuille il ne reste que trois figures par exemple, Alors qu'avec l'informatique alors là ils font plusieurs figures, une infinité, ils voient que ça marche, ça marche bien. [...] on peut en faire plusieurs et très vite.

Dans les entretiens, Anne allait souvent au delà d'un discours sur la contribution de la géométrie dynamique à l'apprentissage des mathématiques. Elle situait ce discours dans une perspective plus large : en utilisant la technologie, l'outil de l'époque, elle voulait contribuer à l'évolution de l'enseignement et à la formation générale des élèves.

Séances observées

Une séance a été observée dans chacune des classes d'Anne. Pour ces deux séances, l'enseignante a choisi d'introduire un nouveau thème mathématique : en 5^e celui de « cercle circonscrit à un triangle » et en 4^e celui de « droites remarquables d'un triangle ». Dans chaque classe, ces séances avaient été précédées de séances d'initiation en début d'année, avant que nous ayons contacté les enseignants. Contrairement à ce qu'Anne avait prévu, les élèves n'ont pas eu d'autres séances utilisant la GD cette année là. Il est vrai que dans la suite de l'année, Anne a de nouveau été sollicitée par un chercheur pour l'observation de séances sur le tableur. Elle s'est donc tournée vers cet outil.

Nous nous attachons particulièrement à la séance en 5^e. Elle se caractérise d'une part par la tâche donnée aux élèves et d'autre part, par la façon dont la classe est organisée. Il s'agit de faire rencontrer aux élèves la notion de cercle circonscrit à un triangle et la construction du centre de ce cercle. Un point libre étant donné, il est demandé de construire les cercles centrés en ce point passant respectivement par deux des sommets du triangle, puis de bouger ce point pour faire coïncider les cercles. Constatant que la coïncidence de deux cercles a lieu quand le point est sur la médiatrice, il est alors demandé de le déplacer tout en restant sur la médiatrice, jusqu'à faire coïncider les trois cercles. Des observations de propriétés mathématiques sont alors demandées, ainsi qu'un programme de construction. Une médiatrice puis les deux autres sont construites au moment où elles sont nécessaires pour préciser l'observation. La situation choisie par Anne s'apparente à celles qui partent d'une construction « molle » au sens de Healy (2000). En effet, la coïncidence de deux cercles s'observe pour une position « au jugé » du centre commun sur la médiatrice. Elle ne « résiste » que si ce centre est redéfini comme point libre sur cette médiatrice. Ainsi, il serait possible de « durcir » la construction en deux étapes pour arriver à une définition où le centre serait le point d'intersection de deux médiatrices. Notons que Anne ne suit pas réellement cette stratégie, se contentant de faire faire des observations sur les constructions « molles ». Nous retrouvons, dans la tâche donnée par Anne, l'absence d'interaction entre fonctionnalités de construction et de déplacement déjà repérée dans l'approche de la GD par les manuels.

La classe est organisée de la façon suivante : l'enseignante sépare les élèves en deux demi-classes de façon à ce que, dans chacune, les élèves puissent faire le même travail à tour de rôle. Les uns travaillent sur les ordinateurs disposés le long de trois murs et les autres, installés à des tables au milieu de la pièce, cherchent des exercices

papier/crayon portant aussi sur le cercle circonscrit. Ce choix est lié au nombre d'ordinateurs disponibles dans la salle informatique (15 postes pour 25 élèves) et à la volonté de l'enseignante de mettre un élève par poste de façon à ce que chacun puisse effectuer individuellement le travail demandé et puisse bénéficier de l'apport de son aide individuelle. La séance durant environ 50mn, la rotation a lieu au bout d'environ 25mn.

L'analyse a priori que nous avons faite de la séance répartit les tâches demandées en quatre types : création d'objets dans Geoplan, déplacement d'un point libre, observation/rédaction de propriétés et décontextualisation des observations sous forme de résultat mathématique (énoncé d'un programme de construction du centre du cercle circonscrit). L'itinéraire cognitif prévu par le professeur amène ainsi l'élève à passer d'actions dans le logiciel à des éléments de réflexion mathématique. A la différence de ce qui a pu être observé avec des enseignants débutant dans les usages des technologies, ces types de tâches occupent une place équilibrée dans l'énoncé distribué aux élèves - celui-ci par exemple, ne détaille pas les gestes de création comme suite de commandes du logiciel⁴. L'énoncé est ainsi cohérent avec l'analyse préalable de l'enseignante selon laquelle les élèves ne vont pas rencontrer de difficultés à manipuler le logiciel ; celui-ci va même rendre plus facile les constructions en proposant directement des primitives comme celle des médiatrices : l'action elle-même est plus simple qu'en papier/crayon, puisqu'il suffit d'utiliser une entrée de menu, et de plus, il n'y a pas le risque que l'élève fasse une confusion de vocabulaire (médiante, médiatrice). L'enseignante avait ainsi prévu que les élèves pourraient travailler de façon autonome grâce à une première initiation lors d'une séance antérieure.

Observation de la séance

Nous avons observé chez les élèves des difficultés non prévues par le professeur lors de la création des objets demandés dans l'énoncé, notamment lorsqu'il s'agissait de les nommer ou d'utiliser des objets déjà créés. En dépit de la simplicité d'accès aux constructions par menu prévue par le professeur, l'organisation pratique des menus dans Geoplan et la nécessité de référer les objets existants par des noms donnés auparavant ont dérouté les élèves. Ils n'ont pas compris la nécessité de nommer les objets, et ont cherché des raisons à cette

⁴ Lagrange, Lecas, Parzys (ibid.) ont montré que, souvent, lors des premiers usages de la technologie, les enseignants produisent des fiches élèves où les actions dans le logiciel sont très détaillées et où par contre la réflexion mathématique est réduite à la réponse à des questions brèves, souvent fermées.

contrainte du côté des mathématiques plutôt que dans l'organisation du logiciel. L'organisation de la classe adoptée par le professeur l'a contrainte à être très attentive au bon déroulement des tâches dans le temps. Ainsi, pour pallier aux difficultés, elle a consacré une grande majorité de ses interventions à traiter individuellement ou à prévenir les difficultés liées à la création des objets en pilotant les élèves dans les menus et en leur enjoignant d'adopter certaines notations.

Nous comprenons que cet étayage avait pour but d'assurer un fonctionnement de la séance autant que possible conforme aux prévisions. Nous remarquons qu'il a dû être organisé dans l'urgence, l'enseignante prenant conscience progressivement au cours de la séance de l'instrumentation insuffisante de Geoplan par les élèves et des difficultés qui en découlent concernant la création des objets : dans l'action, l'enseignante a voulu passer vite sur ces difficultés, les compenser individuellement pour que les élèves puissent traiter les trois autres types de tâches, la situation ne prenant pour elle son sens mathématique que dans la succession de tous les types. La conséquence est que, outre que les élèves ont consacré peu de temps aux trois autres types de tâches, la construction prenant du temps malgré l'étayage de l'enseignante, ils ont été laissés à eux-mêmes pour y travailler, l'enseignante étant accaparée par l'étayage individuel pour les premières tâches de création. Les tâches de déplacement et d'observation n'avaient d'ailleurs pas été anticipées par l'enseignante comme critiques bien qu'elles soient nouvelles pour les élèves. L'exploitation théorique des observations sur l'ordinateur a été complètement laissée à la charge des élèves.

Analyse de la séance

L'itinéraire cognitif prévu pour les élèves faisait passer de tâches de construction à des tâches d'observation/rédaction et finalement à une décontextualisation des observations sous forme de résultat mathématique. Les tâches de construction étaient vues comme peu problématiques. L'enseignante voyait les autres tâches comme plus mathématiques, mais pensait ne pas s'y impliquer, comme si ces tâches prenaient en elles-mêmes leur sens pour les élèves. Dans l'itinéraire cognitif effectif que nous avons observé, les élèves ont été surtout confrontés aux tâches de création qui font l'objet de la grande majorité de leurs interactions avec le professeur. Il est difficile de penser qu'ils ont tiré réellement profit des autres types de tâches auquel peu de temps et peu d'interventions du professeur ont été consacrées.

Recherchons les raisons de cette observation. Nous les voyons d'une part dans une insuffisante prise en compte des besoins en

instrumentation de la tâche demandée aux élèves, et d'autre part dans une surestimation des effets cognitifs de l'interaction avec le logiciel. Le texte donné aux élèves suppose un niveau d'instrumentation qui permette de passer de consignes données sans référence au logiciel à la création d'objets dans Geoplan. Ce niveau se caractérise par une certaine connaissance des menus de Geoplan et des contraintes d'entrée des données, mais aussi par des capacités para-mathématiques telles que l'adoption d'un système cohérent de notation. L'observation montre que ce niveau n'est pas atteint par les élèves, alors même que l'enseignante pensait qu'« ils n'auraient pas de problèmes ». Il lui faut gérer cette sous-estimation des besoins en instrumentation pour arriver à ce qu'elle considère comme la partie mathématique, alors que la séance est très brève et ne laisse pas la possibilité de reprises. Il nous semble que c'est pour cela qu'elle devient une « assistante technique », guidant individuellement les élèves vers les gestes nécessaires sans développer la réflexion sur leur nécessité. Cette assistance se fait au détriment du développement de l'instrumentation des élèves. Notons que l'enseignante confirmée observée dispose d'une bonne maîtrise de classe qui lui permet de compenser *in situ* les difficultés d'instrumentation des élèves, alors que les professeurs stagiaires observés par Lagrange, Lecas, Parzys (ibid.) pressentaient ces difficultés chez les élèves et tentaient plus ou moins naïvement de les prévenir par avance à l'aide d'un polycopié très directif.

L'observation montre ainsi les limites de l'usage de la technologie dans cette séance : pour être efficace, pour faire sens, il suppose un certain niveau d'instrumentation, mais par ailleurs, il ne crée pas les conditions dans lesquels cette instrumentation pourrait se développer. Nous constatons aussi que l'enseignante ne prévoit pas particulièrement d'intervenir pour les phases qu'elle juge les plus mathématiques, comme si l'interaction avec le logiciel portait en elle-même des germes de conceptualisation. Ceci a été observé antérieurement chez des professeurs stagiaires (Lagrange, Lecas, Parzys ibid.). Cette naïveté est encore plus remarquable chez un professeur confirmé.

Une autre séance d'Anne

Nous allons développer moins longuement la séance observée en 4^e qui se situe quelques semaines après celle observée en 5^e. Il s'agit d'une séance sur les droites remarquables d'un triangle et leurs points d'intersection. Le déplacement est sollicité pour explorer différentes configurations et les propriétés de rapports de distance. L'affichage d'approximations décimales des mesures (angles et longueurs) joue un

rôle déterminant dans l'observation des propriétés géométriques par déplacement. Comme dans la séance précédente, il n'est pas prévu que le déplacement rétroagisse sur la construction. Anne est consciente de ce que sa séance en 5^e ne correspond pas à ses attentes, puisqu'elle change son organisation pour la séance en 4^e. Elle place les élèves en binôme et prévoit de les assister à l'aide d'un vidéo-projecteur.

Contrairement à ce qui a été vu dans la séance observée en 5^e, les élèves ont peu de difficultés avec les créations. Le guidage par vidéo-projecteur prévu par l'enseignante après la séance en 5^e n'a pas été nécessaire. En revanche, les difficultés liées au choix d'un nombre adapté de décimales ont notablement pesé sur son activité et nous avons observé une difficulté de l'enseignante à intervenir de façon pertinente.

Celle-ci a néanmoins pu consacrer une part de ses interventions aux tâches proprement mathématiques d'observation de propriétés plus importante que lors de la séance en 5^e. Il nous a semblé qu'elle ne tirait pas parti autant qu'elle l'aurait pu du déplacement, encourageant les élèves à « observer » sans insister sur le déplacement qui est supposé soutenir l'observation. Les potentialités du déplacement sont ainsi présentes dans la fiche mais ne sont pas exploitées par l'enseignante lors de ses interventions.

Curieusement, les difficultés observées en 5^e avec les tâches de création se produisent peu en 4^e et Anne n'est pas obligée d'utiliser le vidéo-projecteur. Pas plus que les 5^e, les élèves de 4^e n'ont une connaissance précise des menus du logiciel, mais il est possible qu'un rapport différent à l'ordinateur et aux objets géométriques soit une explication⁵.

La question d'une genèse instrumentale est également posée dans cette séance, notamment par la question de la décimalisation. Etudier cette question avec les élèves, leur faire comprendre les contraintes du logiciel et l'influence du nombre de décimales dans l'affichage des mesures sur l'observation des propriétés, serait fondamental pour une bonne instrumentation. Il semble que Anne ait peu anticipé cette question puisqu'elle corrige au jugé les entrées des élèves. Les limites de sa propre instrumentation du logiciel apparaissent aussi, lorsqu'elle interprète un problème de décimalisation comme un dysfonctionnement du logiciel.

La réalisation effective des séances avec des TICE pendant cette année scolaire contraste avec ce que Anne avait projeté dans ses déclarations : au total quatre séances avec deux classes ont été

⁵ Ce phénomène est représentatif d'une certaine imprévisibilité des situations avec les TICE due aux caractéristiques du milieu qui mériterait d'être davantage étudiée.

effectuées avec la GD, dont deux étaient des séances d'initiation au logiciel. Rappelons qu'elle a fait des séances avec d'autres TICE (Internet, tableur...)

Les attentes d'Anne

Nous trouvons, dans les tâches prévues par Anne, une séparation entre les fonctionnalités de création d'objets et celles du déplacement, qui répondent à des attentes distinctes chez l'enseignante :

- Les attentes d'Anne relatives à la création d'objet concernent la réalisation par les élèves de tâches d'exécution en préalable à la réflexion mathématique. En papier/crayon ces tâches ne sont pas exécutées de façon satisfaisante à cause du manque de soin ou de rapidité des élèves et de leur non-mémorisation du vocabulaire.
- Les attentes d'Anne par rapport au déplacement sont une mise en activité de l'élève favorisant la conceptualisation. Elles se lisent dans les tâches proposées aussi bien que dans son discours. Dans ces tâches, le déplacement est systématiquement lié à l'observation d'invariants.

Nous avons déjà observé dans les manuels cette séparation entre la création d'objets et le déplacement, alors que la recherche considère plutôt des rétroactions qui lient ces deux fonctionnalités. Cette séparation témoigne bien d'un décalage entre les potentialités soulignées par la recherche et les attentes de l'enseignante vis-à-vis de la GD. Notons en particulier que Anne souligne l'intérêt que les créations d'objets soient pilotées par des menus où les primitives apparaissent avec le vocabulaire mathématique. Dans la tradition hilbertienne⁶, la recherche ne considère pas cette fonctionnalité, alors que, comme nous l'avons vu dans les déclarations d'Anne, elle est importante pour un enseignant de collège.

L'observation en classe montre des difficultés non anticipées et un itinéraire cognitif effectif des élèves différent de celui qui était prévu. Il y a donc bien un décalage entre les attentes d'Anne et les phénomènes didactiques pouvant se produire dans la classe. Nous avons analysé ce décalage comme résultant d'une non prise en compte des besoins en instrumentation chez les élèves, c'est-à-dire des connaissances tant sur le logiciel que mathématiques qui seraient

⁶ Hilbert débute son ouvrage *Grundlagen der Geometrie* avec trois entités : les points, les droites et les plans. Il précise que ces entités se définissent par leurs relations dans un système d'axiomes et donc, implicitement, que les mots que l'on emploie pour les désigner n'ont pas d'importance. La phrase suivante est souvent citée, bien qu'elle ne soit pas dans l'ouvrage : « Il faut toujours pouvoir dire "table", "chaise" et "bock de bière" à la place de "point", "droite" et "plan" ».

nécessaires pour que la création soit effectivement routinière et que le déplacement/observation soit interprété mathématiquement.

L'activité de l'enseignante peut être analysée en fonction de ce décalage. Son choix d'organisation de la classe témoigne du souci d'une gestion efficace de la classe. Anne compense par ses interventions lors des tâches de création le déficit d'instrumentation chez les élèves. Ces interventions permettent que les tâches soient accomplies selon la structuration adoptée, mais empêchent aussi que la séance s'insère dans un processus de genèse instrumentale chez les élèves. Anne intervient très peu sur les tâches de déplacement/observation, comme si ces tâches et leurs conséquences sur la conceptualisation allaient de soi.

Le système des attentes d'Anne

Pour aller plus loin dans l'analyse de ce double décalage dans sa complexité, il nous faut expliciter les relations entre les différentes attentes d'Anne. Nous allons pour cela proposer une organisation en système de ces attentes. Nous élaborons ce système, à partir du modèle RH présenté en début d'article, en faisant le lien entre certains des thèmes du modèle et les déclarations d'Anne ainsi que les tâches qu'elle a proposées et la façon dont elle a organisé la classe pour la séance. Nous faisons intervenir les trois niveaux distingués dans le modèle RH. Nous allons montrer comment ce système explique l'activité de l'enseignante lors de la séance en classe.

Nous repérons le lien « Améliore la motivation » \Leftrightarrow « Engagement intensifié » dans les déclarations d'Anne. Elle part de l'idée que l'environnement informatique est « plus parlant » pour des élèves et peut les intéresser et les conduire à s'engager dans la tâche demandée et à avoir une production :

L'intérêt c'est que *c'est plus parlant pour des élèves*, surtout pour les élèves en difficulté. C'est-à-dire qu'ils ne vont pas rester statiques devant leurs feuilles, *ils vont être intéressés*, ils vont se mettre devant les machines, et du coup comme ils vont *s'intéresser*, ils vont *pouvoir répondre à quelques questions*.

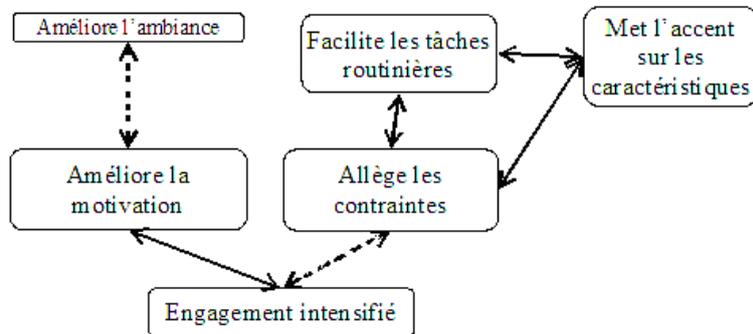


Schéma 2.-Thèmes privilégiés par Anne et liens explicites et implicites

L'organisation matérielle et la structuration pédagogique choisies pour les séances en 5^e et 4^e nous semble quant à elle cohérente avec le thème « Améliore l'ambiance ». Dans le modèle RH, ce thème de niveau 1 est lié aux thèmes de niveaux 2 et 3 « Améliore la motivation » ⇔ « Engagement intensifié » que nous venons de repérer. Nous considérons ce lien comme implicite dans le modèle d'Anne (trait pointillé dans le schéma 2) : en effet, il n'est pas explicitement mentionné par Anne, mais nous déduisons de l'étude de Ruthven et Hennessy qu'il existe généralement chez les professeurs.

Dans ses déclarations, Anne compare la GD à l'environnement papier/crayon en mettant l'accent sur les potentialités du déplacement pour l'obtention d'une multitude de configurations. Nous relierons ceci aux thèmes « Facilite les tâches routinières » et « Allège les contraintes » du modèle. Le logiciel offre aussi à l'élève selon Anne le moyen de réaliser les tracés demandés sans hésiter sur le vocabulaire, ce qui correspond aux mêmes thèmes. Ceux-ci sont également présents lorsque Anne exprime les potentialités de la GD en termes de rapidité et de qualité graphique des tracés. Dans ses déclarations, Anne se centre particulièrement sur la possibilité, grâce au déplacement, de montrer des invariants aux élèves ce que nous mettons en relation avec le thème « Met l'accent sur les caractéristiques ». Il existe donc trois liens présents aussi dans le modèle (liens explicites). Dans le modèle, le thème « Allège les contraintes » est lié au thème de niveau 3 « Engagement intensifié » que nous avons repéré plus haut chez Anne (second lien implicite dans le schéma 2).

Au cours de la séance en 5^{ème}, contrairement aux prévisions d'Anne, la création d'objets et le déplacement ont été difficiles pour les élèves. L'enseignante est alors intervenue intensivement auprès d'eux pour dicter les actions nécessaires, afin qu'ils disposent des

observables nécessaires pour les tâches d'observation/rédaction. Le moteur principal de l'activité d'Anne a donc été de faire avancer la séance pour que les élèves s'engagent dans les tâches d'observation/rédaction avant la fin de cette très courte séance.

Interprétons cette activité d'Anne à partir du système d'attentes proposé ci-dessus. Anne basait ses attentes sur les thèmes de niveau 1, « Améliore l'ambiance », « Facilite les tâches routinières », « Met l'accent sur les caractéristiques » qui devaient permettre que « fonctionnent »⁷ les thèmes de niveau 2 qui leur sont liées et finalement le thème de niveau 3 « Engagement intensifié ». Les difficultés inattendues lors des tâches de création et de déplacement peuvent être interprétées comme un non fonctionnement de ces thèmes. La création des figures (routine qui devait être facilitée) s'est révélée plus difficile que prévue. Les élèves risquaient de se déconcentrer et de ne pas être en mesure de réaliser les observations demandées. Dans l'action, cela se traduisait pour Anne par le danger que les élèves ne s'engagent pas dans les tâches d'observation/rédaction, alors qu'elle le souhaitait et qu'elle pensait que la GD y aiderait.

Son activité d'assistance aux élèves peut donc être interprétée comme une volonté de compenser le non fonctionnement des thèmes de niveau 1 et de faire fonctionner malgré tout les thèmes de niveau 2 et 3. Ce fonctionnement confirme que, pour Anne, les attentes essentielles se situent dans l'engagement des élèves et dans l'attention accrue aux caractéristiques mathématiques des figures. Pour elle, l'usage de la GD devrait mécaniquement assurer ces bons effets qui sont eux-mêmes des conditions nécessaires de la conceptualisation.

L'analyse implicite d'Anne semble attribuer à la GD la faculté de créer de bonnes conditions pour la conceptualisation, sans que l'activité des élèves avec la GD soit elle-même vue comme participant à la conceptualisation. Il est donc important pour elle que les bonnes conditions prévues se trouvent réalisées, et comme ce n'est pas le cas, elle compense par son activité. Cette analyse, telle qu'elle se révèle dans les entretiens et dans son activité, sépare donc l'activité des élèves avec la GD de leur conceptualisation. Au contraire, une analyse basée sur l'instrumentation reconnaîtrait a priori les besoins de la tâche proposée aux élèves en connaissances mathématiques et sur

⁷ Comme nous l'avons précisé, nous considérons les « thèmes » du modèle RH comme correspondant à des attentes d'enseignants vis à vis des TICE. Pour alléger le texte, nous écrivons qu'un thème « fonctionne » (ou ne fonctionne pas) pour signifier que l'attente correspondant à ce thème se réalise (ou ne se réalise pas).

l'instrument, depuis la création jusqu'au déplacement et laisserait, pendant la séance, le temps aux élèves pour s'approprier les gestes correspondants et leur donner leur signification mathématique.

2. La GD au service de l'enseignement

Comme nous l'avons dit plus haut, deux enseignants développant des usages se situant dans ce que, lors de l'analyse de manuels, nous avons appelé « la GD au service de l'enseignement » ont été observés. Ces usages privilégient l'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique avec vidéo-projection, le professeur étant aux commandes du logiciel. Nous retenons ici le cas d'un professeur que nous appellerons Bruno, réalisant systématiquement ce type d'usage.

Bruno: profil général

Nous avons observé sept séances de ce type pendant les 5 semaines suivant les vacances de Noël et Bruno a déclaré une vingtaine de séances sur l'année. Bruno exerce dans un collège qu'il considère comme pilote, notamment par l'équipement dont il dispose, et il collabore à des publications sur l'usage des TICE au collège.

Bruno, a opté pour ce type d'usage après quelques années d'expérience en salle informatique. Les problèmes liés au réseau informatique, les pannes matérielles, les contraintes de préparation de tâches spécifiques aux logiciels et la nécessité de familiarisation des élèves avec les dispositifs informatiques sont les raisons avancées par Bruno pour privilégier l'usage d'un vidéo-projecteur avec lequel il se sent plus à l'aise et efficace. Il n'exclut cependant pas de revenir à des usages en salle informatique :

[...], je n'ai pas d'habitude encore de la salle et à ce moment-là il aurait fallu que je prépare ce genre de séance par d'autres activités pour que les élèves apprennent à gérer les différents logiciels. Geoplan et Geospace, à mon avis ça fait beaucoup. Peut-être pour un rendement qui ne sera pas aussi rapide, euh, à ce moment-là il faudrait beaucoup plus de feuilles, des feuilles guidées, des TD, oui c'est faisable, je suis tout à fait d'accord.

Il précise ainsi ce qu'il attend de la GD :

- Déplacement pour la visualisation des propriétés géométriques :

Ça permet d'avoir une activité dynamique. Dans la démonstration de Pythagore, il y a un ensemble de figures pour montrer que les aires de triangles sont conservées, et je déplace un point... c'est l'aspect visuel actif de la chose.

- Facilité d'obtention de mesure des longueurs :

Le deuxième aspect, c'est tout ce qui est mesure. Par exemple pour Thalès, la figure est donnée, on voit tout de suite des longueurs qui

sont affichées, les élèves après calculent les rapports...

- Richesse de tracés :

L'autre aspect, c'est la variété des figures, par exemple pour le cercle circonscrit, les droites qu'on va faire dans le triangle.

Selon Bruno l'usage d'un vidéo-projecteur en collectif exploite ces potentialités, en permettant « un gain en construction et en temps ». Nous avons choisi de présenter ici une séance que nous avons pu observer dans une classe de 5^e et qui est représentative des pratiques de Bruno avec Geoplan

Une séance de Bruno

L'effectif de la classe est de 28 élèves. L'objectif de Bruno est d'introduire le thème « inégalité triangulaire » à l'aide d'une « situation mathématique » articulant papier/crayon et Geoplan. Cette inégalité est étudiée pour elle-même plutôt que comme un outil pour résoudre des problèmes. Il s'agit de mettre en évidence la double inégalité :

a, b et c étant les longueurs de trois côtés d'un triangle,
on a : $a - b < c < a + b$

à partir de la question suivante :

a et b étant donnés, quelles valeurs peut prendre c ?

L'enseignant a à sa disposition le tableau et un ordinateur avec le logiciel Geoplan relié à un vidéo-projecteur. Chaque élève dispose d'une feuille de brouillon, d'une feuille A4 à diviser en cinq et de compas, règle et équerre. L'utilisation par Bruno de Geoplan est prévue après ou parallèlement à un travail des élèves en papier/crayon.

La séance commence par la correction d'un exercice. Notre observation porte sur les 40 minutes suivantes. Nous considérons trois phases : une phase de « mise en place du travail » (environ 10mn), suivie d'une phase « centrale » (environ 20mn) et d'une phase de « conclusion et de généralisation » (environ 10mn). Nous précisons les enjeux de chacune des phases, puis nous rapportons notre observation.

La première phase est une exploration du problème, où l'enseignant attend que les élèves réinvestissent l'utilisation du compas pour la construction d'un triangle dont les longueurs des côtés sont données. Elle prépare la construction par l'enseignant sur l'ordinateur de deux cercles dont un est de rayon variable. La phase centrale constitue une étude des différents cas de figure avec, pour chaque cas, une construction par les élèves sur la feuille A4, la réalisation par l'enseignant en parallèle sur l'ordinateur et l'écriture d'un résultat au tableau sous la forme « si r... alors... ».

La phase de conclusion et de généralisation a pour objet de rassembler les résultats obtenus dans les différents cas de figure et d'arriver à l'écriture de l'inégalité triangulaire.

La mise en place du travail (première phase)

Bruno distribue une feuille A4 à chaque élève et demande de la partager en 5 parties égales de façon à obtenir un tableau à une colonne et cinq lignes avec un espace entre lignes de 6 cm.

L'enseignant allume le vidéo-projecteur et projette un fichier Geoplan vierge. Il crée un segment [AB] et un point M libre sur la droite (AB) sans faire de commentaire.

Il annonce aux élèves l'énoncé et l'écrit en même temps au tableau :

Il s'agit d'arriver à construire un triangle, sachant que le côté AB mesure 5 cm et on donne comme autre information, AC égale 3 cm. On ne donne pas la longueur BC. Quelle est la longueur possible pour le segment [BC] et de façon que ce triangle existe ?

Pour faire prendre conscience aux élèves de conditions sur le troisième côté pour que la construction d'un triangle connaissant les longueurs de deux de ses côtés soit réalisable, Bruno pense s'appuyer sur la technique de construction d'un triangle connaissant les longueurs des trois côtés supposée connue des élèves. Il faut en fait que l'enseignant réactive cette technique. Un élève évoque l'idée de compas et d'arc de cercle comme lieu des positions possibles du point C. Bruno corrige en disant que la réponse correcte est le cercle de centre A et il construit sur l'ordinateur un cercle de centre A et de rayon 5 et un cercle de centre B passant par M, ainsi que les points d'intersection I et J. La mise en évidence du cercle correspond à une contrainte du logiciel : Geoplan ne peut tracer les « petits arcs de cercle » usuels dans la construction papier/crayon. Passer des arcs au « cercle tout entier » serait pour les élèves une prise de conscience utile des techniques différentes avec la GD et en papier/crayon, et du cercle comme lieu du point C. Mais Bruno n'insiste pas sur cette question.

On comprend aussi que Bruno avait préparé le point M pour faire varier la longueur du troisième côté. Dans le dialogue qui suit avec les élèves, Bruno n'évoque pas le point M, mais se réfère au rayon du cercle variable qu'il appelle r. Bruno complète la figure en faisant afficher ce rayon et en coloriant le triangle AIB. Le coloriage lui pose un problème technique qu'il ne résout qu'au bout de 2mn de manipulations.

Étude des différents cas de figure (deuxième phase)

Les cinq étapes de cette phase correspondent aux différents ensembles de valeurs possibles de r : $[0 ; 2[$, $\{2\}$, $]2 ; 8[$, $\{8\}$, $]8, \text{infini}[$.

Bruno lance la première étape en demandant les valeurs de r pour lesquelles le triangle n'existe pas et la conclut avec le seul cas $r < 2$, alors même que des élèves ont entrevu le cas $r > 8$ qui sera traité seulement à la dernière étape de cette phase.

Après avoir illustré le cas $r < 2$ sur le logiciel en déplaçant le point M, Bruno passe au cas $r = 2$. Il n'obtient pas tout de suite la position du point M adéquate à cause des contraintes de la décimalisation.

Bruno illustre ensuite le cas $r > 2$, les élèves reconnaissent que deux triangles sont obtenus et Bruno demande quelle est la plus grande valeur possible de r pour cela. Les élèves hésitent, un d'entre eux lance la conjecture 5 que Bruno invalide à l'aide du logiciel. La réponse 8 est trouvée à partir de cette exploration. Lorsqu'il veut illustrer le cas $r = 8$, il rencontre à nouveau un problème lié à la décimalisation et laisse la mesure à $r = 8,012$.

Conclusion et généralisation (troisième phase)

L'enseignant tente de préparer l'écriture de l'inégalité triangulaire par une réflexion sur les longueurs 2 cm et 8 cm : « Bien, alors maintenant, il va falloir réfléchir et se demander, pourquoi 2 cm, pourquoi 8 cm ? ». Les élèves n'apportent pas de réponses. Bruno déplace alors le point M à l'écran de façon à obtenir un triangle et repose la même question en sollicitant une analyse de la figure. Mais cette analyse n'est pas facile, car ni le rayon r , ni le point C n'apparaissent explicitement sur la figure. En effet, C peut être en I ou J lorsqu'ils existent, et les élèves sont attirés par la symétrie des deux solutions. Ils ne voient pas que r représente la distance BC, ni comment les valeurs limites de r dépendent des données AB et AC. Ils semblent désorientés d'autant que, plutôt que de souligner les relations géométriques ($AB = AC + BC$ ou $BC = AB + AC$ dans les cas limites), Bruno insiste sur les relations arithmétiques ($2 = 5 - 3$, $8 = 5 + 3$). Il finit par écrire :

si $2 < r < 8$ deux triangles ABI ABJ, r correspond au coté [BC]
 on a $5-3 < BC < 5+3$
 puis $AB - AC < BC < AB + AC$

Analyse de la séance

Bruno apporte un grand soin à l'organisation matérielle et à la structuration pédagogique de la séance, en préparant l'espace de travail des élèves en coordination avec le plan d'étude qu'il a choisi (exploration, cinq cas de figure, conclusion). A la suite de la séance, il exprime d'ailleurs le regret de ne pas avoir préparé davantage cet espace sur polycopié car les élèves ont perdu du temps en hésitant sur le placement du segment [AB] dans les 5 cas de figure.

Arrêtons nous sur le rôle de l'ordinateur couplé au video-projecteur. Il existe une variété d'usages de cet outil. Il est par exemple possible de l'utiliser avec un élève « sherpa » (Trouche *ibid.*, p.250), c'est-à-dire un élève exécutant les commandes sur le logiciel dans le cadre d'un travail collectif dirigé par le professeur. Le professeur peut aussi exécuter sur l'ordinateur des gestes indiqués par les élèves. Ces usages supposent une certaine instrumentation du logiciel dans la classe et peuvent venir en complément de situations « élèves aux commandes ». L'usage que Bruno fait du video-projecteur est différent. L'ordinateur rétroprojeté est un outil d'exploration dynamique. Bruno ne s'en sert pas pour le mettre à disposition des élèves, mais comme un espace de monstration, complétant les espaces d'institutionnalisation que constituent le tableau noir et la feuille des élèves. Dans la séance observée, cette maîtrise de l'espace d'exploration collectif lui permet de mener la séance dans la durée prévue mais l'exploration semble faire difficilement sens pour les élèves.

Bruno accorde une grande place à l'aspect visuel, les seules « pertes de temps » résultant de l'usage du logiciel sont celles où il hésite sur le coloriage de la figure et le positionnement « exact » du point M. L'usage que Bruno fait du logiciel repose sur une hypothèse de transfert des observations dans la GD vers l'espace papier/crayon des élèves. Ce transfert lui permettrait facilement d'institutionnaliser des propriétés. Or les ostensifs ne sont pas les mêmes. En papier/crayon, les élèves construisent un point C. Le logiciel, en revanche affiche un rayon r auquel l'enseignant se réfère, piloté par un point M qu'il ne mentionne pas, et deux triangles variables, distincts, plats confondus, ou inexistants. L'analyse de la figure n'est pas aisée pour des élèves qui n'ont pas de connaissance de la géométrie dynamique. Cette difficulté n'est pas évoquée par Bruno dans l'entretien qui suit la séance. Il remarque simplement « Il y a toujours un problème chez les élèves : le passage du cas particulier de longueurs à un cas de cotés ».

Bruno remarque aussi qu'il a dépassé les objectifs du programme. Il nous semble que l'usage qu'il fait du logiciel conduit naturellement à ce dépassement en lui facilitant la systématisation de l'étude. C'est un paradoxe puisque l'enseignant est « allé plus loin que le programme », alors que les élèves n'ont guère eu le temps de prendre des initiatives et de réfléchir par eux-mêmes.

Le système des attentes de Bruno. Comparaison avec Anne.

Dans son discours, Bruno souligne le gain de temps et d'efficacité ainsi que les possibilités de visualisation que lui permet son usage de

la GD. Contrairement à Anne, Bruno n'est pas particulièrement préoccupé par l'ambiance de travail ni la motivation des élèves. Par contre, il accorde une grande importance à l'organisation de l'espace de travail et à la visualisation des propriétés de façon à ce que les élèves restent concentrés sur l'enjeu mathématique de la séance. Avec les élèves aux commandes de la GD en salle informatique, il lui serait plus difficile de maintenir cette concentration.

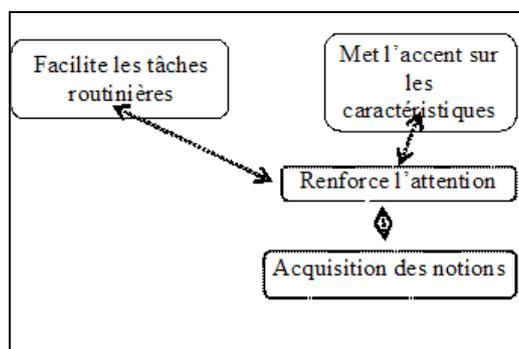


Schéma 3.-thèmes privilégiés par Bruno

Nous avons dit plus haut que l'analyse implicite d'Anne attribue à la GD la faculté de créer de bonnes conditions pour la conceptualisation notamment par l'engagement des élèves dans la tâche, sans que les spécificités de l'activité avec la GD soient vues comme importantes dans la conceptualisation. A la différence d'Anne, Bruno ne voit pas l'activité autonome des élèves comme une condition de la conceptualisation. La visualisation des propriétés est pour lui ce qui est le plus important, et, en ce sens, la manipulation du logiciel par les élèves serait une complication inutile. Il souligne que ce travail en salle informatique demanderait de beaucoup guider les élèves, ce qui confirme que, pour lui, l'important est que ceux-ci soient attentifs aux observables préparés par le professeur. Nous résumons cette analyse par le schéma 3, qui constitue un extrait du schéma général n°3 ci-dessus avec les 4 thèmes qui apparaissent chez Bruno.

Chez Anne l'activité avec la GD est vue non comme spécifique par rapport au papier/crayon mais simplement comme plus facile, ce qui entraîne une absence de prise de conscience des besoins en instrumentation de ses séances. Chez Bruno c'est la visualisation qui est facilitée, sans que les spécificités de la GD interviennent. Le choix de définir un point M pour piloter le rayon, de tracer des cercles complets plutôt que des arcs de cercles, l'obtention de deux triangles solutions sont spécifiques à la GD, et Bruno écarte une discussion sur

ces points alors que celle-ci pourrait jouer un rôle dans la compréhension par les élèves de cette situation.

Le décalage avec la recherche s'observe par l'accent mis sur les possibilités de visualisation : pour Bruno, dirigées par le professeur, les visualisations doivent avoir directement un sens mathématique pour l'élève, alors que la recherche problématise le rapport objets observés/objets théoriques. Le décalage entre les attentes de Bruno et les phénomènes didactiques se produisant dans la classe a lieu lorsque les élèves, bien qu'attentifs aux visualisations produites par le professeur, peinent à en saisir la portée générale. Sur le moment, Bruno ne semble pas avoir prévu cette difficulté. Il pourrait tirer parti de la GD pour mettre en évidence de façon dynamique des relations entre mesures non numérisées et leur nécessité. Au lieu de cela, il insiste sur les relations arithmétiques entre les valeurs numériques des mesures, pour faire émerger la propriété mathématique. Comme chez Anne, nous interprétons cela comme une volonté de faire fonctionner malgré tout les thèmes de niveau 2 et 3.

IX. SYNTHÈSE ET DISCUSSION

Pour valider notre hypothèse d'un écart entre les potentialités découlant d'une réflexion didactique sur la GD et les attentes des enseignants usagers de cette technologie, et étudier cet écart, nous nous sommes appuyés sur une analyse des discours noosphériques et sur l'observation de deux professeurs. La recherche didactique sur la GD met en évidence l'influence spécifique que l'activité des élèves avec cette technologie peut avoir sur les notions et leur apprentissage. Elle considère généralement une influence conjointe des différentes fonctionnalités telles que les primitives de construction et le déplacement. Nous avons montré que les programmes officiels, tout en reconnaissant formellement l'intérêt des fonctionnalités de la GD, font une concession importante aux pratiques et conceptions dominantes en fondant leur discours sur l'indépendance des notions et conceptualisations par rapport aux représentations des notions et aux outils employés pour les manipuler. Les manuels, considèrent la GD dans deux grands types d'usage, « *comme environnement d'étude de l'élève* » et « *au service de l'enseignement* ».

Chacun des deux professeurs observés développe un de ces types d'usage à l'exclusion de l'autre. L'étude de leurs discours et pratiques a permis de mettre en évidence leurs attentes respectives vis-à-vis de ces types d'usage, et la façon dont elles s'organisent en système. Nous avons constitué ces attentes en systèmes à partir du modèle RH issu

d'une étude à plus grande échelle. En rassemblant les attentes repérables dans les systèmes de ces deux professeurs, nous retrouvons la quasi-totalité des thèmes du modèle. Ajouté au fait que les types d'usages sont repérables dans les manuels qui constituent les discours les plus directement soumis aux attentes des enseignants, cette observation permet de penser que les systèmes d'attentes de ces deux professeurs sont des bons candidats à être des prototypes représentatifs d'enseignants faisant usage de cette technologie.

Les systèmes d'attentes d'Anne et de Bruno se distinguent bien. Le système d'Anne est plus riche, et trouve sa cohérence dans l'aspiration de l'enseignante à l'implication des élèves. Le système de Bruno privilégie l'acquisition des notions via la concentration des élèves sur des observables préparés par le professeur. Soulignons les points communs aux usages et aux systèmes d'attente qui les fondent.

- Nous nous attendions en introduction à ce que le degré d'intégration, à l'inverse de celui observé dans des conditions expérimentales par Assude (ibid.) soit plus proche de zéro que de un, c'est-à-dire à ce que les dimensions instrumentales et praxéologiques soient très peu prises en compte. Dans les analyses que nous avons faites de séances de ces professeurs, nous avons insisté sur le niveau d'instrumentation de la GD qui serait nécessaire pour que les attentes fonctionnent -routinisation des créations d'objets chez les élèves d'Anne, compréhension des contraintes sous-jacentes à la réalisation d'une figure dynamique chez les élèves de Bruno. Les enseignants ne semblent pas avoir conscience de ces besoins en instrumentation. Sur le plan des praxéologies, il n'y pas chez Bruno prise en compte de tâches et techniques spécifiques à la GD. Anne, quant à elle, fait suivre les tâches GD d'observation/rédaction par une tâche papier/crayon (rédaction d'un programme de construction). Les tâches GD apparaissent comme une mise en activité de l'élève, la tâche papier/crayon donnant son caractère mathématique à l'activité. Les tâches sont plutôt juxtaposées qu'articulées et il n'y a pas émergence de techniques.
- Les systèmes d'attente expliquent comment les usages peuvent fonctionner, en dépit du faible degré d'intégration et des difficultés qui pourraient en résulter. Dans les deux cas, l'activité de l'enseignant consiste à compenser in situ les points faibles : instrumentation insuffisante chez les élèves d'Anne, difficulté des élèves de Bruno à saisir la portée générale des observations dans la GD. Nous observons donc une stabilité des pratiques que les difficultés rencontrées ne remettent pas en cause. Les déclarations des enseignants permettent d'apercevoir les genèses qui ont

conduit à cette stabilisation. Anne avait des objectifs ambitieux d'usages « élèves aux commandes ». Différentes contraintes l'ont conduite à limiter le nombre de séances en salle informatique et donc ses usages ne peuvent pas prendre en compte suffisamment la genèse instrumentale des élèves, point faible qu'elle compense par étayage. Bruno a rencontré des difficultés avec l'usage en salle informatique qui ne correspondait pas à ses attentes. Il a multiplié les séances avec video-projecteur qu'il pense efficaces.

- Les systèmes d'attente sont liés à des conceptions générales de l'enseignement : chez Anne l'activité des élèves est une condition de la conceptualisation, alors que Bruno privilégie une rencontre contrôlée par le professeur avec des observables significatifs. Les systèmes rendent ainsi compte de la cohérence des conceptions de l'enseignement et des usages de la technologie, déjà soulignée par Kendal, Stacey et Pierce (2005, p. 102) à partir de leur observation de deux professeurs André et Benoît. Néanmoins, ces systèmes ne sont pas une simple « transposition » à la technologie de conceptions préexistantes. Nous avons notamment observé une autre enseignante qui hésitait entre les deux types d'usages (Brune dans C.-Dedeoglu ibid.). Elle reconnaissait les limites d'un usage de la GD « *au service de l'enseignement* », mais s'attendait à des difficultés très importantes de mise en œuvre d'usages « *comme environnement d'étude de l'élève* ». Dans son discours elle soulignait les conditions générales d'exercice en collège, la difficulté à maintenir les élèves dans une activité productrice, à conserver leur attention et leur concentration sur les mathématiques. Ainsi, les systèmes d'attente apparaissent déterminés par les remises en cause imposées par la technologie et par les contraintes des conditions d'exercice du métier.

Après ces observations en forme de constat, il faut poser la question de la genèse de ces systèmes, de leur évolution et du rôle que pourrait jouer la formation. Plus ou moins consciemment, les enseignants cherchent comment les fonctionnalités d'une technologie pourraient répondre à leurs besoins dans les conditions d'exercice qu'ils connaissent. Dans cette quête, ils voient la GD comme un ensemble de fonctionnalités disjointes, alors que l'analyse didactique conduit à considérer leurs effets conjoints. Les manuels, écrits souvent par des enseignants en exercice, et soumis au choix des enseignants, participent à cette quête. Rappelons notre analyse selon laquelle les programmes constituent seulement une vague référence favorable aux usages et les documents d'accompagnement, centrés sur l'analyse didactique, sont perçus comme éloignés des préoccupations et réservés aux formateurs.

Cette distance entre les potentialités dont parle la recherche didactique et les attentes des enseignants renvoie à la notion de « monde » introduite par Béguin (ibid. p.46). Béguin l'utilise pour rendre compte d'une distance de même nature qui existe entre le monde des concepteurs et le monde des opérateurs dans l'étude d'un processus de production. Rappelons la situation pour montrer comment cette notion peut être utile à notre propos. Les concepteurs s'intéressent à la gestion d'un risque majeur d'emballement et ont conçu pour cela un système de sûreté. Les opérateurs tout en étant conscients de ce risque exceptionnel sont confrontés à d'autres problèmes (risque quotidien) pouvant gêner la production. Ceci les conduit à détourner l'artefact complexe que constitue le système de sûreté afin de gérer ce risque quotidien. Cette gestion se fait empiriquement et est contradictoire avec le principe de séparation entre système de sûreté et système de conduite. L'appropriation du système de sûreté est très partielle, puisqu'elle concerne seulement les fonctionnalités détournées et ne peut donc intervenir dans la gestion du risque exceptionnel. Les opérateurs ont d'ailleurs tendance à ne pas s'intéresser à ce risque du fait de son caractère exceptionnel et donc ne peuvent pas le conceptualiser suffisamment pour instrumenter le système de sûreté. Pour remédier à cette situation bloquée, il a fallu « redéfinir le sens du projet », en reconnaissant les deux formes d'expertise (celle des concepteurs et celles des opérateurs), en outillant les opérateurs pour faire face au monde des concepteurs et en intégrant dans la conception du système les usages créés par détournement du système initial.

Pour Béguin (ibid. p. 49) « un monde est un implicite qui n'apparaît que lorsqu'il est en échec ». Nous avons commencé cet article en disant que nous cherchions ce que peuvent nous apprendre des usages dans des conditions « ordinaires ». Ces usages apparaissent décevants par rapport à un objectif d'intégration et ne semblent pas ouvrir de voie en direction de cet objectif. Ils nous ont cependant permis de mettre en évidence le monde des attentes des enseignants et de le spécifier par rapport au monde des potentialités de l'analyse didactique. Bégin (ibid. p. 50) insiste aussi sur la discussion collective « du sens des apprentissages entre les mondes » pour dépasser le blocage que révèle le détournement du dispositif. Dans le contexte des enseignants, ceci renvoie à la formation aux TICE. Reconnaître l'expertise du monde des enseignants conduit à rejeter comme inefficaces les stratégies courantes de transfert de situations innovantes ou d'un corpus d'analyse didactique. Reconnaître cette expertise et la confronter au monde de l'analyse didactique suppose d'introduire une dimension réflexive pratiquement absente

actuellement dans les formations aux TICE (Emprin 2008). Il s'agit de permettre aux enseignants d'interroger des pratiques dépassant l'innovation du point de vue de leur épistémologie mathématique, de leur contribution aux apprentissages et de leur viabilité écologique. Il devrait alors être possible d'identifier avec les enseignants des points faibles des systèmes d'attente et de réintroduire l'analyse didactique pour de meilleures adaptations. Nous pensons que notre étude peut fournir des outils pour cela. Une perspective importante est donc la poursuite, à l'aide de ces outils, des travaux initiés par Emprin (ibid.) pour la mise en œuvre d'analyse réflexive de pratiques TICE.

REFERENCES

- 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(2), pp. 133-169.
- ASSUDE T. (2007), Modes et degré d'intégration de Cabri dans des classes du primaire. In Floris R. et Connes F. (eds), *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques* pp. 119-134. De Boek Université.
- ASSUDE T., GELIS J.M. (2003), La dialectique ancien-nouveau dans l'intégration de Cabri-géomètre à l'école primaire, *Educational Studies in Mathematics*, 50(3), pp. 259 – 287.
- BEGUIN P. (2005), Concevoir pour les genèses professionnelles. In Rabardel P. et Pastré P. (eds), *Modèles du sujet pour la conception* (pp. 31-52). Toulouse: Octarès Editions.
- C.-DEDEOGLU N. (2006), *Usages de la géométrie dynamique par des enseignants de collège. Des potentialités à la mise en oeuvre : quelles motivations, quelles pratiques ?* Thèse de doctorat de l'université Paris VII.
- C.-DEDEOGLU N., ERDOGAN E. (2003), La place des TICE dans les mémoires professionnels d'IUFM. In Lagrange J.-B. et al. (eds.), *Actes en ligne ITEM : Intégration des Technologies dans l'Enseignement des Mathématiques*. Reims, France 20-22 juin 2003 : <http://archive-edutice.ccsd.cnrs.fr/ITEM2003/fr/>
- CHAACHOUA H. (1997), *Fonctions du dessin dans l'enseignement de la géométrie dans l'espace. Etude d'un cas : la vie des problèmes de construction et rapports des enseignants à ces problèmes*. Thèse de doctorat de l'université Joseph Fourier.
- EMPRIN F. (2008), Analysis of teacher education in mathematics and ICT. *Proceedings of the 5th Conference of the European society for Research in Mathematics Education*. Larnaca, Cyprus, 22-26 February 2007.
- FALCADE R., LABORDE C., MARIOTTI M. A. (2004), Towards a definition of function. *Proceedings of the 28th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Vol II, pp. 367-374. Bergen: University of Norway.
- GOMES A. S., VERGNAUD G. (2004), On the Learning of geometric concepts using Dynamic Geometry Software. *Novas Tecnologias na Educação*. 2(1),

Março 2004, CINTED-UFRGS:

<http://www.cinted.ufrgs.br/renote/mar2004/artigos/40-alexGomes.pdf>

HEALY L. (2000), Identifying and explaining geometrical relationship: interactions with robust and soft Cabri constructions. In Nakahara T. and Koyama M. (eds) *Proceedings of the 24th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Vol. I, pp. 103-117, Hiroshima: Hiroshima University.

HÖLZL R. (2001), Using dynamic geometry software to add contrast to geometric situations – A case study. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*. 6(3) pp. 63-86.

KENDAL M., STACEY K., PIERCE R. (2005), The influence of a computer algebra environment on teachers' practice. In Guin D., Ruthven K. et Trouche L. (eds.), *The Didactical Challenge of Symbolic Calculators: Turning a computational device into a mathematical instrument* (pp. 83-112). New York: Springer.

LABORDE C. (1999), L'activité instrumentée par des logiciels de géométrie dynamique. *Actes de la Xe Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques*. Vol. I, pp. 235-244. Houlgate.

LABORDE C. (2000), Dynamic geometry environments as a source of rich learning contexts for the complex activity of proving. *Educational Studies in Mathematics*. 44, pp. 151-161.

LABORDE C., CAPPONI B. (1994), Cabri-géomètre constituant d'un milieu pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. 14(1.2), pp. 165-210.

LAGRANGE J.-B. (2000), L'intégration d'instruments informatiques dans l'enseignement : une approche par les techniques. *Educational Studies in Mathematics*. 43, pp. 1-30.

LAGRANGE J.-B., LECAS J.-F., PARZYSZ B. (2006), Les professeurs-stagiaires d'IUFM et les technologies : quelle instrumentation ? *Recherche et Formation*. 52, pp. 131-147.

MEN (2004), Texte d'appel à projets du Ministère délégué à la Recherche, Éducation-formation et technologies d'information et de communication. <http://www.recherche.gouv.fr/appel/2004/aotice.rtf> (page consultée le 21/06/07).

PRATT D., AINLEY J. (1997), The construction of meanings for geometric construction: two contrasting cases. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*. 1(3), pp. 293-322.

ROBERT A., ROGALSKI J. (2002), Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *La revue canadienne des sciences, des mathématiques et des technologies*. 2(4), pp. 505-528.

RUTHVEN K., HENNESSY S. (2002), A practitioner model of the use of computer-based tools and resources to support mathematics teaching and learning. *Educational Studies in Mathematics*. 49, pp. 47-88.

TROUCHE L. (2000) La parabole du Gaucher et de la Casserole à bec verseur: Etude des Processus d'Apprentissage dans un Environnement de Calculatrices Symboliques. *Educational Studies in Mathematics*, 41, pp. 239-264.