

**LA DIALECTIQUE ANCIEN-NOUVEAU DANS L'INTEGRATION DE CABRI-GEOMETRE A
L'ECOLE PRIMAIRE**

TERESA ASSUDE & JEAN-MICHEL GELIS

Résumé

Dans cet article, nous nous intéresserons au problème des conditions et des contraintes de l'intégration de Cabri-Géomètre dans l'enseignement de la géométrie à des classes ordinaires de l'école primaire (élèves de 10 ans). Nous avons focalisé notre attention sur la dialectique ancien- nouveau de cette intégration à partir de l'étude des types de tâches et des types de techniques proposées en classe par les enseignantes. La " juste distance " entre l'ancien (ou l'habituel) et le nouveau apparaît comme l'une des conditions premières d'intégration en permettant de concilier les activités innovantes et les activités ordinaires du quotidien de la classe.

Mots-clé : Géométrie – Cabri – enseignement primaire – intégration des TICE - dialectique ancien-nouveau – " juste distance " - tâches - techniques

Abstract

In this article, we study the conditions and constraints of the intégration of the dynamic geometry software " Cabri " in the teaching of geometry in ordinary primary school classes (10 years old pupils). We focus our attention on the way the dialectic between old and new is working during this integration, looking at the types of tasks and techniques proposed in class by the teachers. The " good equilibrium " between old and new ways of doing appears as one of the main conditions of integration as it allows to reconcile innovating and usual activities in the everyday life of the class.

Keywords : Geometry – Cabri – primary school – integration of new technology – dialectic between old and new ways – " good equilibrium " - tasks - techniques

LA DIALECTIQUE ANCIEN-NOUVEAU DANS L'INTEGRATION DE CABRI-GEOMETRE A L'ECOLE PRIMAIRE

L'enseignement de la géométrie à l'école obligatoire et notamment à l'école primaire a toujours été le lieu de débats assez vifs de la part des acteurs sociaux comme le montrent certains travaux d'historiens de l'enseignement¹ : doit-on faire un enseignement de géométrie théorique ou faire seulement de la géométrie pratique comme l'arpentage ou autres mesurages ? Actuellement, les débats sociaux sur l'école – exceptés ceux qui émanent des spécialistes - s'intéressent moins aux contenus de l'enseignement dans leur spécificité : ils se focalisent sur des valeurs ou sur l'usage de certains instruments d'apparition récente dans la société comme c'est le cas des nouvelles technologies d'information et de communication éducatives (TICE) et plus récemment d'internet².

Une volonté institutionnelle d'introduire ces outils dans l'enseignement est manifeste comme nous le montre la citation suivante de la Charte pour bâtir l'école du XXIème siècle³ pour laquelle : “ l'émergence des nouvelles technologies de la communication pose d'une manière nouvelle le problème de l'apprentissage des savoirs fondamentaux, l'Ecole de la République doit faire face à de nouveaux défis. ” Et les nouveaux programmes pour l'enseignement élémentaire précisent que⁴ : “ L'enseignement des mathématiques doit intégrer et exploiter les possibilités apportées par les technologies de l'information et de la communication : calculatrices, logiciels de géométrie dynamique, logiciels d'entraînement, toile (pour la documentation ou les échanges entre classes), rétroprojecteur (pour les moments de travail collectif) ”.

Notre travail aborde ce problème essentiel de l'intégration des TICE, notamment dans l'enseignement des mathématiques et plus spécifiquement dans l'enseignement de la géométrie à l'école primaire : quels usages pédagogiques et didactiques doit-on faire de

¹ Helayel (1996-97)

² Le rapport d'étape sur la géométrie et son enseignement de la Commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques (Commission Kahane 2000) est consacré essentiellement au collège et au lycée : la part concernant l'enseignement primaire reste minime.

³ Cette Charte est un texte signé par le Ministre d'Education qui sert de référence pour les évolutions de l'école primaire. Il a été publié au Bulletin Officiel du 20 novembre 1998.

⁴ Bulletin Officiel du 14 février 2002.

ces instruments ? Quel est l'impact de l'utilisation de ces outils dans les apprentissages des savoirs géométriques ? Les réponses proposées à ce problème général ne peuvent pas éluder l'incidence de l'utilisation de ces instruments dans les différentes pratiques sociales et notamment celles qui ont un rapport avec les disciplines scolaires. L'utilisation de l'ordinateur et de ces instruments (comme la calculatrice) a beaucoup changé les pratiques des mathématiciens, par exemple dans la possibilité de revisiter des domaines anciens ou dans la possibilité d'expérimentation et de calcul qu'ils offrent à l'utilisateur. Mais, cette condition n'est pas le seul facteur puisqu'un certain nombre de conditions et de contraintes institutionnelles sont déterminantes pour l'intégration. Ainsi, il nous semble qu'un des problèmes actuels de la recherche sur l'enseignement est d'étudier comment l'usage des TICE peut aider et transformer l'enseignement des mathématiques de manière à tenir compte de ces nouvelles pratiques tout en observant des contraintes institutionnelles de l'enseignement primaire. Ainsi, nous allons nous intéresser à l'étude des conditions et des contraintes de l'intégration de Cabri-géomètre dans des classes de CM2 (élèves de 10 ans) en focalisant notre attention sur la dialectique ancien-nouveau dans les dimensions instrumentales et conceptuelles de l'élève et dans la gestion du travail par l'enseignant.

D'abord, nous présenterons la problématique et le cadre de la recherche, et ensuite nous étudierons quelques conditions et contraintes de l'intégration du point de vue de la dialectique ancien-nouveau.

1 – Problématique de la recherche

Nous nous situons dans la lignée de travaux sur l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques (Artigue 1998, Artigue 2001, Artigue & Lagrange 1999, Lagrange 2001, Trouche 2000) et dans la lignée des travaux intégrant Cabri dans l'enseignement de la géométrie à plusieurs niveaux (Laborde et Capponi 1994, Argaud 1998, Gomes 1999, Assude et alii 1996, etc.) L'approche multidimensionnelle qui est le fondement d'un certain nombre de ces travaux prend en compte la complexité de l'intégration des TICE dans l'enseignement en l'abordant à partir de plusieurs dimensions, notamment la dimension instrumentale et conceptuelle en utilisant les outils de l'ergonomie cognitive (Rabardel 1999), et la dimension institutionnelle en utilisant les outils de l'approche anthropologique (Chevallard 1997, 1999) notamment les notions de praxéologie et d'ostensifs. Cette perspective multidimensionnelle nous

permet de prendre comme unité d'analyse le système didactique comme un tout "émergent" de plusieurs facteurs ainsi que de leurs interrelations et non comme la somme de plusieurs facteurs sans liens entre eux. Deux résultats de ces travaux nous serviront de fondement. D'une part l'intégration d'un instrument n'est pas facile à mettre en œuvre et beaucoup moins à reproduire lorsqu'on s'intéresse au quotidien de la classe et à l'articulation des dimensions instrumentales et conceptuelles : la genèse instrumentale est essentielle car l'usage de l'instrument n'est pas transparent. D'autre part, l'un des facteurs d'intégration est de penser l'imbrication des tâches papier-crayon et des tâches avec l'instrument de manière à ce que ces dernières soient insérées dans les processus d'enseignement au quotidien.

Beaucoup de travaux ont été faits sur l'utilisation de Cabri dans l'enseignement de la géométrie à tous les niveaux de l'enseignement. Quelques résultats de ces travaux vont servir de fondement au notre, notamment :

- la *distinction dessin et figure* (qui n'est pas exclusive à l'utilisation d'un logiciel, Parzysz 1988, Laborde 1994 et 1998, Fischbein 1993 avec "concept figural"), la figure étant la classe de dessins ayant les mêmes invariants géométriques,
- le *rôle du déplacement* dans Cabri à la fois pour invalider certaines procédures et pour conjecturer certaines propriétés,
- le rôle de Cabri dans une *pratique expérimentale de la géométrie*, pratique qui peut permettre aux élèves de passer d'une géométrie de l'observation, du constat et du dessin à une géométrie de la figure.

En outre, nous poursuivons un travail fait auparavant au collège sur l'économie et l'écologie du travail avec Cabri (Assude et alii 1996). L'économie du travail avec Cabri s'appuie sur la quantité de dessins engendrés par la même figure, leur rapidité d'exécution, sur la possibilité d'observation d'une grande quantité de dessins et d'une grande variabilité de positions, sur la possibilité de faire des expériences graphiques, et cette économie est l'une des conditions pour l'existence de nouveaux types de problèmes. Toutefois cette économie n'est possible que si la genèse instrumentale est prise en compte et que l'usage de l'instrument ne pose plus de problème aux élèves.

Dans ce sens, il nous semble que la dialectique ancien-nouveau est un moyen d'analyse qui permet de montrer le rapport complexe entre ce qui est déjà là (en termes de connaissances des élèves mais aussi de l'organisation de l'enseignement) et ce qui est visé. Par exemple, Douady (1992) montre qu'il existe plusieurs phases dans le choix d'un problème par le professeur : le problème choisi doit permettre aux élèves de

mobiliser des connaissances anciennes mais celles-ci ne doivent pas être suffisantes pour le résoudre afin que les connaissances nouvelles puissent être les moyens nécessaires à cette résolution. Ainsi, la dialectique ancien-nouveau apparaît comme un élément important de l'intégration, comme le dit Lagrange (2001, p.27) : “ La prise en compte des techniques habituelles et nouvelles permet ainsi de bien mesurer l'intérêt de l'intégration à l'enseignement d'instruments technologiques. ”

Dans ce contexte, notre problématique est la suivante : quelles sont les conditions et les contraintes de l'intégration de Cabri dans les pratiques géométriques à l'école primaire ? Nous allons traiter cette question en utilisant un point de vue particulier qui est celui de la dialectique ancien-nouveau, et en la déclinant dans les questions suivantes : Quels sont les types de tâches et les types de techniques qui sont présents dans les classes ? Quels changements par rapport au travail fait l'année d'avant sans Cabri ? Quel est l'entrelacement des tâches et des techniques papier-crayon et Cabri ? Nos outils d'analyse seront alors le couple (types de tâches, types de techniques)⁵ associé aux variables : ancien/nouveau ; papier-crayon/Cabri ; les types d'activités géométriques (construire, décrire, reproduire, analyser).

2 – Cadre de la recherche

Notre groupe est constitué par deux chercheurs, deux institutrices-maîtres formateurs (IMF) et un directeur d'école d'application (DEA)⁶ et il est subventionné par l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres (IUFM) de Versailles. Notre but est d'intégrer le logiciel Cabri dans le travail ordinaire de deux classes de CM2 (élèves de 10 ans) et, pour cela, nous avons travaillé avec des collègues qui n'avaient jamais utilisé l'informatique et qui ne connaissaient pas le logiciel. Un contrat de recherche entre les enseignantes et les chercheurs a été établi autour des modalités de travail, du choix des thèmes, des données à recueillir, du travail d'analyse où les responsabilités ont été partagées. Ce contrat de recherche visait essentiellement un point qui pour nous était essentiel : le choix des activités, la mise en œuvre des séances sont de la responsabilité des enseignantes. Ce partage des responsabilités a permis de mieux situer le travail de chacun : l'enseignant ne fait pas ce que le chercheur lui demande de faire mais fait ce

⁵ Tâches et techniques sont ici pris au sens de Chevallard : une tâche c'est ce qu'on a à faire et une technique c'est la manière comment on accomplit une tâche.

⁶ Annie Biz, Pascale Magne et Robert Chevrolier.

qu'il a l'habitude de faire (en ajoutant bien-sûr quelque chose de nouveau). Or ce point s'avère important pour mettre en évidence les contraintes du fonctionnement habituel de la classe ainsi que les adaptations nécessaires par l'introduction du logiciel Cabri.

Les différentes étapes de travail ont été les suivantes :

- brève initiation des collègues au logiciel ;
- travail commun sur nos hypothèses de départ pour l'intégration du logiciel ;
- initiation des élèves au logiciel par les chercheurs ;
- choix du thème des quadrilatères pour le travail avec les élèves ;
- proposition par les chercheurs d'un ensemble de tâches sur les quadrilatères ("boîte à tâches") ;
- discussion en groupe de ces activités ;
- choix des tâches par les enseignants ;
- mise en œuvre dans les classes et observation par l'un des chercheurs (certaines séances sont filmées) ;
- analyse conjointe des situations de classe et perspectives pour la séance suivante ;
- choix des tâches par les enseignants, mise en œuvre et observations
- discussion et ainsi de suite...

Au début de l'année, certaines décisions ont été prises ensemble en ce qui concerne l'organisation du travail en géométrie. Par exemple, les élèves devraient avoir chacun deux cahiers : le cahier habituel (dans ces classes) de géométrie avec toutes leurs activités qui permet de garder une trace du travail de chacun et de donner une continuité au travail (papier-crayon et Cabri) et le cahier des souvenirs qui est un cahier libre où les élèves peuvent écrire ce qu'ils veulent en rapport aux activités mathématiques de la classe. La production de ce cahier a comme but que l'élève puisse revenir sur son vécu, puisse exprimer son expérience mathématique et puisse créer une certaine distanciation par rapport à l'action. Voilà par exemple ce qu'une élève écrit le 25 janvier 2001 :

" Ces temps-ci nous avons travaillé sur les quadrilatères. D'abord nous avons vu les propriétés des quadrilatères (diagonales, côtés, angles...) cela nous a appris comment il fallait faire pour construire un quadrilatère. Car avant, nous n'arrivions pas à construire le quadrilatère qu'on voulait. Nous avons donc appris les propriétés de chaque quadrilatère particulier, et maintenant c'est beaucoup plus facile. "

Nous avons ainsi plusieurs types de données : les fiches de préparation des enseignantes, les deux types de cahiers des élèves, les prises de notes dans les réunions communes, les prises de notes des observations, les films de deux séances, les réponses

des élèves à un questionnaire au début de l'année.

3 – Chronologie du travail des élèves

Les deux classes de CM2 ont d'abord travaillé la reproduction de figures en papier-crayon pendant une semaine en octobre, et fin novembre nous avons commencé le travail avec Cabri par trois séances d'initiation, une séance de synthèse sur ce travail et ensuite huit séances entre fin décembre 2000 et début février 2001 sur les quadrilatères. Voici la chronologie détaillée de ce travail :

28 novembre 2000	initiation à Cabri (collective + individuelle)
30 novembre 2000	initiation à Cabri (individuelle)
11 décembre 2000	initiation à Cabri (individuelle)
19 décembre 2000	analyse collective d'un exercice du travail d'initiation mise en évidence du rôle des remarques écrites et de leur pertinence : lien avec l'énoncé et les manipulations synthèse des découvertes : au niveau géométrique ; au niveau des caractéristiques du logiciel
21 décembre 2000 (S1)	Les quadrilatères : travail en 2 groupes (individuel) utiliser le logiciel Cabri et les outils usuels pour construire des quadrilatères particuliers : - dégager la notion de propriété - aborder le critère de permanence de la figure - aborder l'observation de liens entre les différents types de quadrilatères
11 janvier 2001 (S2)	construire des quadrilatères particuliers à partir de leurs diagonales analyser les propriétés liées aux côtés, aux angles, aux diagonales utiliser ces propriétés pour la construction (Cabri ou papier-crayon)
16 janvier 2001 (S3)	identifier les quadrilatères faire un inventaire et comparer leurs propriétés analyser un tableau de synthèse
18 janvier 2001 (S4)	faire un exercice avec Cabri observer des " déformations " de quadrilatères : dégager des propriétés
22 janvier 2001 (S5)	corriger des exercices avec Cabri sur les quadrilatères visionner collectivement des " déformations " : analyser des propriétés et faire des vérifications dégager la notion de figure compléter individuellement une fiche d'exercices conclure sur les liens entre les différents quadrilatères
25 janvier 2001 (S6)	analyser l'historique ⁷ de la construction d'un carré élaborer un programme de construction à partir de l'historique dégager la notion de figure et les liens entre construction et propriétés
1 ^{er} février 2001 (S7)	évaluation individuelle construire un carré (figure " stable ") avec Cabri à partir de ses diagonales faire des exercices sur une fiche : repérer des propriétés des quadrilatères et travailler sur le vocabulaire lié aux quadrilatères
8 février 2001 (S8)	faire une synthèse du travail sur les quadrilatères construire un carré à partir d'un côté (Cabri et papier-crayon) faire une synthèse sur ce qu'on a appris en géométrie et sur la complémentarité Cabri et outils usuels ; spécificité de Cabri

Tableau 1 – Chronologie du travail des élèves

⁷ Dans le logiciel Cabri, la commande " historique " ou " revoir la construction " dans les versions plus récentes permet de revoir les différentes étapes de la construction d'une figure.

Comme nous l'avons déjà dit, la responsabilité du choix de la chronologie, des tâches proposées aux élèves est du côté des enseignantes. Ce choix tient compte à la fois des propositions des chercheurs, des analyses des séances précédentes et surtout des contraintes du travail en classe : dialectique ouverture/fermeture des activités, travail conceptuel et instrumental, besoin de synthèses, d'exercices et de l'évaluation des élèves, et même des contraintes matérielles liées au matériel informatique utilisé (par exemple, il n'était pas possible d'imprimer).

Plusieurs observations peuvent être faites. Les chercheurs étaient des accompagnateurs des choix essentiellement en tant que personnes-ressources par le biais de la "boîte à tâches"⁸ et dans les co-analyses des séances mais ils n'ont jamais dit ce qu'il fallait choisir ou faire. Par exemple, les enseignantes ont choisi un seul type de tâches de la boîte, ce qui tend à indiquer que les choix faits tiennent compte d'autres facteurs outre les connaissances visées par les activités, notamment des contraintes d'organisation du travail des élèves dans le long terme et dans le quotidien, et des contraintes liées à l'imbrication du travail papier-crayon et Cabri. Une deuxième observation est relative au fait que les enseignantes aient décidé de rajouter des séances qui n'avaient pas été prévues au départ. Par exemple la séance du 19 décembre a été introduite à cause du besoin ressenti par les enseignantes de revenir sur les séances d'initiation qui avaient été animées par les chercheurs : nous en dirons plus un peu plus loin.

4 – Genèse instrumentale et contrat didactique

4.1 - Inscription dans le programme et " passer à l'épreuve de la classe "

L'une des premières conditions d'intégration dans le quotidien de la classe est celle de la possibilité de travailler dans le cadre du programme et des instructions officielles, ce qui n'est pas toujours le cas lorsqu'on fait des activités avec Cabri hors du travail en classe. Le travail avec Cabri pour les classes de CM2 est pensé en fonction des différentes activités géométriques prévues dans les programmes de l'école élémentaire - reproduire, décrire, construire et représenter et il concerne des objets géométriques prévus dans les programmes, notamment les quadrilatères.

⁸ La "boîte à tâches" est un ensemble d'activités sur les quadrilatères proposées par les chercheurs où les enseignantes peuvent venir " piocher ".

Cette condition, somme toute banale, est essentielle : cette contrainte institutionnelle pose le cadre de travail mais laisse aussi une marge de liberté dans la mise en œuvre. Dire que Cabri s'intègre au travail de la classe en l'inscrivant dans les programmes c'est lui donner une légitimité institutionnelle qui n'est pas pour le moment explicite. Cette légitimité institutionnelle peut devenir une réalité si on montre la pertinence du travail avec Cabri en tant qu'outil de travail à l'instar d'autres outils (comme la règle et le compas), outil qui peut apporter des aspects différents et complémentaires à d'autres outils dans le genre d'activités prévues. Cette légitimité se construit " en passant à l'épreuve de la classe " : quelles sont les activités possibles en tenant compte des contraintes de la classe ? La robustesse des activités proposées est ainsi un autre critère de légitimation. Ce critère peut apparaître déterminant lorsqu'on veut transmettre ces activités à d'autres enseignants.

" Passer à l'épreuve de la classe " c'est aussi mettre en place un certain nombre de règles de fonctionnement du savoir – faire rentrer les élèves dans un certain contrat didactique. Par exemple, l'une de ses règles est que les activités Cabri ne sont pas des activités de jeux mais visent des savoirs car il peut avoir un certain nombre d'élèves pour qui les " activités avec l'ordinateur " sont associées aux jeux. Le partage de responsabilités dans les activités Cabri est loin d'être évident pour le professeur. Examinons en quoi les séances d'initiation au logiciel sont déterminantes pour installer certaines règles d'un nouveau contrat didactique (différent de celui en vigueur en papier-crayon), ainsi que pour commencer le processus de genèse instrumentale (même si ces séances ne peuvent pas suffire à stabiliser ces processus).

4.2 – Les choix des séances d'initiation

Les choix explicites qui sont à la base de la conception des séances d'initiation sont les suivants :

- les activités doivent faire rencontrer aux élèves le maximum de fonctionnalités du logiciel ;
- les activités proposées ne doivent pas viser l'apprentissage d'objets mathématiques nouveaux ;
- à la fin de ces séances, l'enseignante institutionnalisera à la fois des connaissances mathématiques et des connaissances instrumentales (des connaissances-Cabri, du logiciel Cabri) : par exemple, le fait qu'il y ait trois sortes de points - le point libre qui

peut se déplacer partout ; le point sur objet qui ne se déplace que sur l'objet (segment, cercle) ; le point "fixe" qui ne peut pas se déplacer tout seul (milieu, intersection) ;

- certaines fonctionnalités ne feront pas l'objet d'une activité d'initiation pour ne pas prendre plus de trois séances (par exemple, tracer un segment passant par un point et perpendiculaire à une droite donnée⁹) mais seront reprises explicitement plus tard pendant les autres activités ;

- à chaque activité, l'élève doit faire, observer ce qu'il fait et répondre à la question récurrente : " que remarques-tu ? " Cette contrainte de l'activité visait à arrêter les élèves sur l'activité, à les habituer à observer les dessins et à essayer de voir des régularités.

Ces trois séances ont été proposées et animées par les deux chercheurs, d'abord en classe entière et ensuite les élèves ont travaillé individuellement. Les enseignantes étaient présentes dans la classe et intervenaient aussi lorsqu'un élève leur posait une question. A la fin de chaque séance, un bilan était fait par les chercheurs pour voir les points essentiels et les difficultés rencontrées par les élèves. Nous avons décidé que ce seraient les enseignantes qui auraient la responsabilité de l'institutionnalisation des connaissances mathématiques et des connaissances instrumentales par une trace écrite à la fin des trois séances d'initiation pour faire le lien avec le travail sur les quadrilatères qui venait après : le travail avec Cabri s'inscrivait ainsi dans le travail de la classe.

Voilà trois activités proposées qui avaient comme but la rencontre des élèves avec les trois sortes de points et avec la construction d'objets géométriques à partir des commandes du logiciel :

Exercice 1

Trace un point. Nomme-le A. Construis une droite qui passe par A. Bouge la droite.

Que remarques-tu ? Comment peut-on bouger la droite ?

Peux-tu construire une autre droite passant par A ? Fais-le.

Combien de droites peux-tu faire passer par le point A ?

Exercice 3

Trace le segment [AB]. Place un point O sur le segment [AB] en utilisant " point sur un objet ". Déplace les points A et B. Que remarques-tu ?

Déplace le point O. Que remarques-tu ?

⁹ Cet aspect a été pris en compte dans les séances d'initiation de la deuxième année.

Exercice 4

Trace 3 points A, B et C. Construis le triangle ABC. Bouge les points.

Cherche “ milieu ” dans les menus.

Construis le milieu I du côté [AB] et le milieu J du côté [AC].

Bouge encore les points.

Que remarques-tu ?

Construis le segment [IJ]. Mesure les segments [IJ] et [BC].

Bouge les points.

Que remarques-tu ?

Enregistre la figure (appelle-la pierre 4 si tu t'appelles Pierre)

A la fin des trois séances, les enseignantes ont institutionnalisé les connaissances suivantes, qui ont été affichées dans la classe et recopiées dans les cahiers par les élèves :

- par un point passe une infinité de droites ;

- par deux points donnés, il ne passe qu'une droite et une seule ;

et les connaissances instrumentales :

- on peut choisir trois sortes de points : points libres, points sur objet et points “fixes” ;

- le déplacement des points permet de vérifier les propriétés des constructions effectuées¹⁰.

En outre, une quatrième séance a été ajoutée par les maîtresses car elles ont senti le besoin de revenir sur l'une des activités et faire travailler les élèves sur ce qu'on attendait avec les remarques : ce travail a été fait à propos de l'exercice 4.

Cette activité visait la rencontre avec le milieu d'un segment en tant que point “ fixe ”¹¹. Les élèves devraient remarquer qu'on ne pouvait pas bouger les points I et J et qu'ils étaient encore les milieux des segments lorsqu'on déplaçait les points A, B ou C. La deuxième partie visait la rencontre avec la commande du logiciel qui permet de mesurer les longueurs des segments : on ne visait pas spécialement qu'ils trouvent une relation entre les mesures des segments [IJ] et [BC], même si on ne l'excluait pas non plus.

¹⁰ Nous avons décidé que les élèves pouvaient utiliser le déplacement et la mesure pour vérifier perceptivement certaines propriétés – une vérification expérimentale. Par contre la mesure ne pouvait pas être utilisée pour construire des figures car les constructions doivent résister au déplacement.

¹¹ Point fixe représente ici un point non déplaçable directement à l'aide de la souris.

4.3 – Eléments d'analyse

Quelques éléments se dégagent de l'analyse du déroulement de ces séances en ce qui concerne certaines conditions de la genèse instrumentale et de l'installation de certaines règles nouvelles du contrat didactique :

a) Conflit entre une direction et l'errance

L'une des difficultés rencontrées par les élèves est celle de suivre les consignes de l'énoncé et les commandes du logiciel d'une manière précise : lire d'abord et ensuite faire pas à pas ce qu'on leur dit de faire. Cette précision dans la direction de ce qu'on demande de faire aux élèves est vite en conflit avec l'usage que certains élèves font de l'ordinateur (les jeux) ou la représentation qu'ils en ont : aller partout, chercher partout dans une sorte d'errance qui perd de vue la direction visée. Cet aspect qui n'est nullement spécifique à Cabri a été rencontré dans nos classes. Le travail de lecture et d'écriture qui impliquait les activités d'initiation et de suivi des consignes visait, entre autres, à montrer que le travail avec Cabri n'est pas un jeu et qu'il y a des contraintes dans son utilisation. Mais ces contraintes sont là pour créer des conditions à l'élève de développer une certaine autonomie et un autre rapport au savoir géométrique ce que Hoyles et Noss (1992) appellent "play paradox". Certains élèves ont fait référence à cet aspect contraignant de l'utilisation de Cabri et aussi au fait que le logiciel ne fait que ce que l'utilisateur commande : sortir de l'aspect magique qui est souvent associé à l'informatique.

Nous avons noté ce conflit lors de nos observations en classe mais certains élèves y font référence dans le cahier des souvenirs.

Voilà ce qu'écrit un élève :

" quand on se sent maître de la souris, on veut en faire toujours plus. Mais, mon voisin ne fait que jouer ! Il ne fait que bouger la souris, cliquer et bouger la figure, tandis que moi, j'écris ! Un voisin pareil, c'est très embêtant ! Moi, je voudrais être toute seule, être maîtresse de la souris ! "

Deux nouvelles règles du contrat se sont alors mises en place : l'utilisation du logiciel Cabri permet d'apprendre des savoirs géométriques mais pas n'importe comment et son usage n'est pas le même que l'usage social usuel de l'ordinateur par les élèves. L'intégration d'un logiciel ne change pas radicalement le contrat didactique mais introduit du nouveau dans l'ancien, et ce nouveau est l'une des conditions de la genèse instrumentale.

b) Conflit entre la souris et le crayon

Les élèves étaient très investis dans le travail avec l'ordinateur mais beaucoup moins lorsqu'il s'agissait d'écrire. Nous avons observé ce fait dans les séances et dans les productions : les élèves sont essentiellement dans l'action et ils ne s'engagent pas dans une autre activité qui implique de laisser la souris et prendre le crayon. Le travail à deux dans certaines séances a été un moyen de faire écrire les élèves. Il nous semble que ces séances d'initiation ont mis en œuvre un milieu matériel (Brousseau 1996) en ce qui concerne les connaissances instrumentales et que le passage à l'écrit dans le but de permettre un arrêt et une réflexion sur l'action était trop nouveau pour qu'il puisse être accepté lors de ces séances.

c) Conflit entre l'ancien et le nouveau

Beaucoup d'élèves n'ont rien écrit lorsqu'on leur demandait de faire des remarques. Cette absence de réponse peut être expliquée par le conflit entre la souris et le crayon mais aussi par la nouveauté de la demande et par le fait que le travail (animé par les chercheurs et non par les enseignantes) a été pensé sans tenir compte des habitudes de travail de la classe.

Cette absence de réponse a interpellé les enseignantes (" on ne laisse pas les élèves sans savoir ce qu'on attend d'eux ") qui ont alors décidé de rajouter une séance à celles qui étaient prévues pour analyser avec les élèves ce qu'on attendait d'eux en leur posant cette question récurrente. La régulation des activités d'initiation a été ainsi faite par le biais de l'analyse de l'exercice 4 à partir des questions suivantes : " que doit-on répondre ? Qu'est-ce qu'on attend qu'on réponde ? ", questions qui ont été discutées oralement par les maîtresses et les élèves. L'un des moyens d'aide pour que les élèves puissent répondre à cette question est qu'ils recherchent des indices dans les énoncés : par exemple, si dans l'énoncé on parle des milieux I et J, les remarques peuvent porter sur ces points. Ce travail conjoint a permis la renégociation du contrat didactique autour d'une règle encore non établie dans la classe : celle du travail d'observation et d'analyse de figures (construites ou non par les élèves) qu'on demandera par la suite.

Cette reprise par les enseignantes du travail nous paraît symptomatique du fait que, même les séances d'initiation à Cabri doivent être à la " juste distance " entre l'ancien (les habitudes de travail dans la classe, certaines règles du contrat didactique) et

le nouveau (faire des remarques sans savoir trop sur quoi - question très ouverte). Un élève, dans son cahier de souvenirs, fait remarquer d'une manière judicieuse ce caractère de nouveauté que le logiciel Cabri impose dans les pratiques géométriques des élèves :

“ Ce logiciel informatique nous permet d'utiliser la géométrie tout en apprenant à utiliser l'informatique. Tout d'abord on a regardé comment on pourrait l'utiliser et ensuite c'était à nous, on nous a donné des exercices à faire et à chaque fois, on avait une petite question “ Que remarques-tu ? ” après chaque exercice. On nous a dit qu'on allait utiliser ça toutes les semaines à la place de la géométrie. C'est sûr que c'est un peu plus dur que d'habitude parce que c'est nouveau mais on devra s'y faire. ”

d) Institutionnalisation de connaissances instrumentales

Nous avons choisi d'institutionnaliser un certain nombre de connaissances-Cabri, connaissances qui font partie du processus de genèse instrumentale. Or ce processus ne s'arrête pas au moment où la maîtresse écrit l'affiche et les élèves recopient dans le cahier. En ce qui concerne les différents statuts de points, les élèves répondaient facilement à la question de l'existence de ces types de points (lors des phases de synthèse) mais ce type de connaissance n'a pas été vraiment opératoire pour certains élèves que lorsqu'ils ont pu comprendre que pour construire un carré “ fixe ” (comme ils l'ont appelé) il fallait utiliser non seulement des points libres mais aussi des points fixes, c'est-à-dire des points résultant de l'intersection d'objets ayant un certain nombre de propriétés. A ce propos, un élève écrit dans son cahier de souvenirs :

“ Nous sommes allés dans la bibliothèque pour observer un carré, sur ordinateur qui était relié à la télé. J'ai appris pourquoi lors de la dernière séance nos carrés bougeaient de forme et devenaient des rectangles ou des losanges ou des parallélogrammes. C'est parce que nos carrés n'étaient pas des points fixes. ”

A travers l'expression “ nos carrés n'étaient pas des points fixes ”, nous pouvons dire que, pour cet élève, les points “ fixes ” (et ce que cela signifiait en termes de propriétés) ont un caractère opératoire. Par ailleurs, ce que cet élève a écrit, nous l'avons observé oralement par rapport à d'autres élèves qui disaient, lors de l'échec de la construction d'un carré qui résiste au déplacement, qu'il fallait utiliser les points fixes ou alors, comme un élève a dit “ on ne peut pas tous les déplacer ”.

La genèse instrumentale ne se fait pas d'un coup mais au fur et à mesure que le travail avance et notamment en lien avec des connaissances mathématiques. Par exemple, dans la première séance sur les quadrilatères les élèves n'utilisent pas le

déplacement pour invalider leurs constructions même si cela a été institutionnalisé dans les séances d'initiation mais, à la fin des séances sur ce thème, le déplacement était un moyen de validation/invalidation pour beaucoup d'élèves. Toutefois, l'institutionnalisation nous paraît essentielle pour donner un statut explicite aux connaissances instrumentales dans le travail conceptuel des élèves.

5 – Tâches, techniques et dialectique ancien-nouveau

L'intégration de Cabri dans le quotidien de la classe pose le problème de l'articulation des types de tâches avec des outils différents. Le choix des types de tâches par les enseignantes est fonction d'un ensemble de facteurs qui déterminent une logique dans le travail d'ensemble de la classe. L'une de nos hypothèses est que cette logique est déterminée, en partie, par la possibilité qu'il y ait une "juste distance" entre les objets anciens et les objets nouveaux, entre les pratiques anciennes et les pratiques nouvelles, et cette "juste distance" s'obtient par l'entrelacement de l'ancien et du nouveau. L'entrelacement de l'ancien et du nouveau ou l'entrelacement du travail avec Cabri et en papier-crayon veut dire qu'il existe des liens tissés entre eux : l'ancien nourrit le nouveau qui, lui, éclaire l'ancien, mais aussi l'ancien peut co-exister avec le nouveau dans un nouveau tissage de relations.

Nous allons voir cette dialectique d'abord dans la description et l'analyse de la première séance, et ensuite dans l'évolution des types de tâches et des types de techniques pendant l'ensemble des séances.

5.1 - Description de la première séance

La première séance sur les quadrilatères était organisée de la manière suivante :

- travail collectif et oral : reprise des connaissances Cabri vues auparavant et reprise des connaissances sur les quadrilatères (qu'est-ce qu'un quadrilatère ? quels quadrilatères ? comment on les distingue ? comment on les construit ?)
- travail en deux groupes (chaque élève travaille individuellement et après un temps ils changent de groupe) :
 - le premier groupe travaille avec Cabri et a comme tâche t1 de "construire des quadrilatères" ;
 - le deuxième groupe travaille avec le papier-crayon et a comme tâche t2 de

“ construire des quadrilatères dont les diagonales ont une longueur imposée ”¹².

Le but initial de ce travail était d’avoir un maximum de quadrilatères différents pour pouvoir ensuite les classer et identifier des propriétés des quadrilatères particuliers.

Cette séance était organisée autour de deux tâches : la tâche t1 est une tâche ancienne pour les élèves car ils ont déjà construit des quadrilatères et notamment ils ont construit à la règle et à l’équerre des carrés, des rectangles, mais la technique visée est une technique nouvelle car ils doivent utiliser Cabri et ils ne savent pas au départ comment faire. Par contre, la tâche t2 est une tâche nouvelle (construire des quadrilatères avec une contrainte : partir des diagonales), la technique est nouvelle même si les outils utilisés sont anciens. Cette situation de départ est une situation très ouverte.

Cette ouverture voulue au départ pour que les élèves produisent le maximum de quadrilatères différents crée un espace d’incertitudes en ce qui concerne les techniques utilisées par les élèves et en ce qui concerne la gestion par les maîtresses.

5.2 - Analyse de la première séance

La première séance proposait deux tâches aux élèves, l’une ancienne qui devait être accomplie avec une technique nouvelle, technique instrumentée par Cabri, l’autre tâche était nouvelle et impliquait des nouvelles techniques instrumentées par des instruments anciens (règle, équerre, compas). L’un des buts de la deuxième tâche était que l’activité avec les outils anciens soit aussi motivante pour les élèves que l’activité avec Cabri. De la conjonction de ces deux types de tâches et techniques, nous pouvons dire que cette situation était très ouverte dans sa conception ainsi que dans sa mise en œuvre. Cette ouverture n’a pas résidé dans la variété des quadrilatères ou des techniques pour les construire, comme il avait été prévu lors de la conception : par exemple, en ce qui concerne t1, la majorité des élèves ont essayé de construire soit un carré soit un rectangle. Tous ont utilisé une technique perceptive : ils ont fait un dessin qui ressemblait à un carré ou à un rectangle. Et, en ce qui concerne t2, la majorité des élèves ont utilisé une technique perceptive en essayant de tracer les diagonales pour que la figure s’apparente approximativement à une figure connue (carré, losange ou rectangle).

¹² La consigne de la tâche cabri était très générale “ construire des quadrilatères avec le logiciel Cabri ” et la consigne de la tâche papier-crayon était la suivante : “ Soient deux segments [AB], [CD] de 8cm de longueur et [EF], [GH] de 5cm de longueur ; construis plusieurs quadrilatères particuliers différents à partir de ces segments qui en sont les diagonales. Nomme ces quadrilatères. Note leurs propriétés après les avoir vérifiées. ”

L'absence de connaissances mathématiques concernant les propriétés des diagonales des quadrilatères a été un obstacle pour que la tâche t2 soit réussie.

L'ouverture de la situation a posé beaucoup de problèmes de mise en œuvre et de gestion. Les problèmes de mise en œuvre dans la classe ont été essentiellement les suivants : manque de temps de travail des élèves, beaucoup de demandes d'aides, trop de difficultés conceptuelles, trop de difficultés instrumentales. Par exemple, les élèves n'avaient pas encore acquis que la figure construite devait résister au déplacement (même si cette connaissance-Cabri a été institutionnalisée lors des séances d'initiation et rappelée au début de cette séance).

Les problèmes de gestion rencontrés ont été essentiellement les suivants : la difficulté à gérer deux activités nouvelles et à répondre à toutes les sollicitations des élèves, la difficulté de prendre des informations sur le travail individuel des élèves : les observations étaient très éclatées, la rapidité de changement des essais et tâtonnements des élèves était une difficulté pour dégager des éléments sur les différentes techniques utilisées. Or cette prise d'informations apparaît comme un élément essentiel lors des phases de synthèse puisque les enseignantes utilisent leurs observations pour mettre en évidence plusieurs techniques (réussies ou ébauchées). En outre, les traces écrites ne montraient pas le travail de l'élève : certains élèves ont fait beaucoup d'essais et ils n'ont pas eu le temps d'écrire.

Comme le disent les enseignantes dans l'analyse de la séance : “ on a prévu trop de choses ”, “ c'était trop riche mais le temps manquait pour aller plus loin ”, “ il faut revenir sur les propriétés des quadrilatères, et notamment celles qui concernent les diagonales ”, “ il faut revenir sur les deux activités séparément ”. A la fin de cette séance, les enseignantes ont décidé de changer et de fermer la situation :

- la deuxième séance reprenait la tâche t2 en papier/crayon de façon bien plus encadrée et fermée (les diagonales étaient déjà tracées, il suffisait de tracer les côtés des quadrilatères proposés avant d'en dégager les propriétés) et en Cabri cette tâche se déclinait dans la tâche t8¹³: “ construire un carré à partir des diagonales ”

- la troisième séance permettait, à partir de la reconnaissance de quadrilatères particuliers dans des figures complexes représentées en papier-crayon, d'établir un tableau recensant les propriétés de ces différents quadrilatères particuliers.

Dans la première séance, il y a une non “ juste distance ” entre l'ancien et

¹³ L'ensemble des tâches est présenté plus loin.

nouveau qui a posé de problèmes de gestion d'une part et d'apprentissage conceptuel et instrumental d'autre part. L'ouverture de cette situation n'a pas été là où les enseignantes attendaient, à savoir dans la variété de quadrilatères, mais elle a été dans les possibilités de travail par la suite : cette situation a marqué la progression du travail en ce qui concerne la fermeture des situations, la réduction des incertitudes (surtout du point de vue de la gestion par l'enseignante) et la reprise des potentialités ouvertes (travail plus systématique sur les propriétés des diagonales pour les utiliser dans la construction des quadrilatères).

5.3 – Description de l'ensemble des séances

La séquence sur les quadrilatères peut être divisée en trois étapes : la première étape concerne les séances 1 à 3, la deuxième étape les séances 4 et 5 et la troisième étape les séances 6 à 8.

Nous avons décrit et analysé la première séance de cette première étape dans le paragraphe précédent. Nous présentons ici seulement un schéma de cette première étape :

Première étape

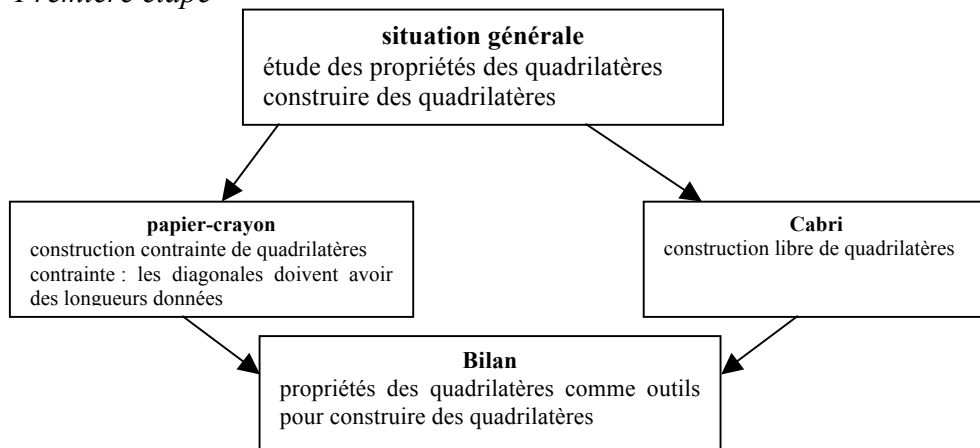


Figure 1 : Schématisation de la première étape

Deuxième étape

La deuxième étape reposait sur une série d'exercices constitués de figures Cabri préalablement construites et de questions qui s'y rapportaient. La figure 2 propose un exemple représentatif de cette famille d'exercice. Dans cet exemple, le fichier Cabri s'ouvrait sur un carré qu'il s'agissait de déformer. Les dessins obtenus à partir de cette

figure Cabri étaient tous des losanges, du fait des propriétés géométriques qui avaient présidé à sa construction. Les objectifs de la tâche proposée étaient à la fois de nature instrumentale et mathématique. Sur le plan instrumental, il s'agissait de travailler sur la distinction figure/dessin (une même figure Cabri engendre des dessins dont les propriétés géométriques peuvent être différentes), ainsi que d'affirmer la permanence de propriétés par déformation d'une figure. Sur le plan mathématique, cette tâche était l'occasion de revoir les propriétés des différents quadrilatères (on vérifie qu'un quadrilatère est un losange en mesurant à l'aide de Cabri les longueurs de ses côtés et en déplaçant les points libres). Cette activité permettait aussi de travailler sur les inclusions entre classes de quadrilatères particuliers (tout carré est un losange, mais il existe des losanges qui ne sont pas des carrés). Les autres exercices étaient similaires et concernaient d'autres couples de quadrilatères particuliers (tels que les rectangles et les carrés, ou les parallélogrammes et les rectangles).

La première séance (S4) permettait aux élèves de travailler les exercices par groupes de deux. La deuxième (S5) était l'occasion de reprendre collectivement les résultats obtenus, de travailler sur une fiche relative aux inclusions de classes de quadrilatères et de réaliser une institutionnalisation des connaissances instrumentales et mathématiques visées.

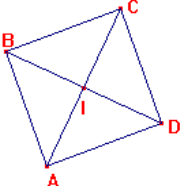
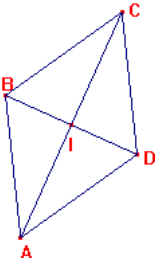
<p>une figure CABRI déjà construite à déformer</p>	<p>des questions à traiter</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • La figure ABCD est-elle un carré ? • Déplace les points. La figure est-elle encore un carré ? • La figure ABCD est un car.....
	<ul style="list-style-type: none"> • Un carré est-il toujours un losange ? • Un losange est-il toujours un carré ? • Quelle est la condition pour qu'un losange soit toujours un carré ?

Figure 2 : Exercice représentatif de la deuxième étape

Troisième étape

La troisième étape aborde le problème des programmes de construction¹⁴. Elle se

¹⁴ Un programme de construction est un ensemble ordonné d'instructions qui permet de construire une

caractérise par une forte imbrication des activités papier/crayon et des activités Cabri qui s'enchaînent et se répondent. Les programmes de construction (vus dans le contexte papier/crayon) et les historiques des figures Cabri se correspondent, tout comme la construction de figures à l'aide des instruments usuels (règle, équerre, compas) et à l'aide de Cabri. Le déroulement chronologique de cette étape est le suivant :

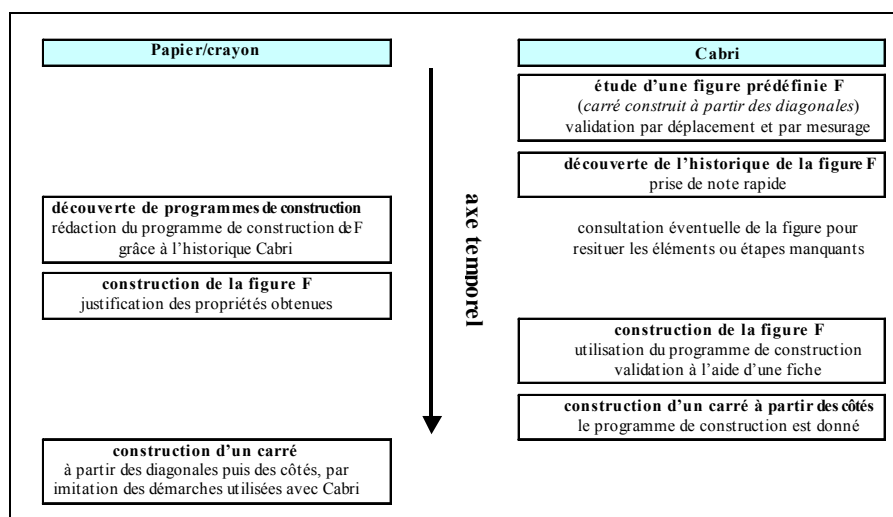


Figure 3 : Schématisation de la troisième étape

5.4 – Types de tâches et types de techniques dans l'ensemble des séances

Les types de tâches proposées aux élèves pendant les 8 séances consacrées aux quadrilatères sont les suivants :

t1 : construire des quadrilatères

t2 : construire des quadrilatères dont les diagonales ont une longueur imposée

t3 : reconnaître des quadrilatères dans une figure complexe

t4 : décrire les différents éléments d'une figure et notamment d'un quadrilatère

t5 : identifier les propriétés de certains quadrilatères

t6 : établir des liens entre différents quadrilatères

t7 : élaborer un programme de construction

t8 : construire un carré à partir de ses diagonales

t9 : construire un carré à partir du côté

Certaines des tâches sont uniquement dans Cabri, d'autres uniquement en papier-crayon et d'autres encore dans les deux environnements. Certaines de ces tâches

figure.

sont nouvelles : t2, t6 et t8, d'autres sont des tâches anciennes : t1, t3, t4, t5, t7, t9. Le fait d'être nouveau ou ancien est relatif à ce que les enseignantes ont l'habitude de proposer dans les classes de ce niveau. On aurait pu faire la distinction par rapport à ce que ces élèves ont déjà rencontré qui recoupe en gros les mêmes types de tâches. Lorsque les enseignantes lancent le travail par une reprise sur les quadrilatères oralement, nous avons pu observer que des élèves savent définir un quadrilatère, reconnaître plusieurs types de quadrilatères et ont déjà construit (à la règle, à l'équerre ou au compas) certains quadrilatères comme le carré ou le rectangle. Les types de tâches correspondent aux types d'activités prévus dans le programme : construire et décrire essentiellement.

Les différentes techniques prévues par les enseignantes (et effectivement observées¹⁵) pour accomplir les différents types de tâches sont les suivantes :

a)- *technique perceptive (TP)* : pour construire une figure on se place au niveau du dessin- on trace perceptivement les différents éléments du dessin (en utilisant ou non des propriétés de la figure).

Dans un premier temps, pour accomplir t1- tâche ancienne avec un outil nouveau - on va faire comme si on accomplissait t1 avec les outils anciens. Par exemple, pour construire un carré, on trace un segment, on le mesure, on trace deux segments perceptivement en position de perpendiculaires (sans utiliser la commande “ droite perpendiculaire ”) à celui-ci en passant par les extrémités, en essayant d'avoir approximativement la même mesure, et ensuite on trace le dernier segment. On est au niveau du dessin.

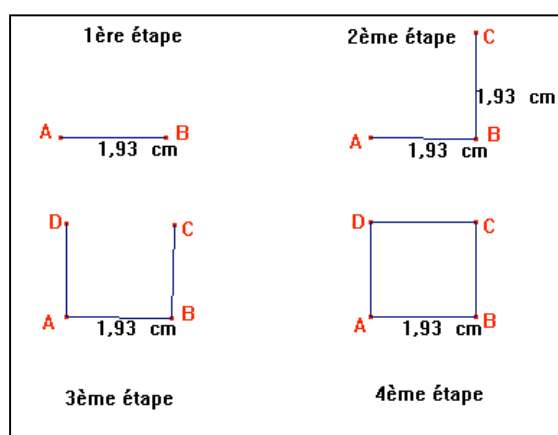


Figure 4 : Exemple de technique perceptive

¹⁵ Précisons ici que les techniques effectivement observées sont au niveau de la classe et pas forcément au niveau d'un élève particulier.

b)- *technique perceptivo-théorique (TPT)* : pour construire une figure on se place au niveau de la figure. Le tracé est fait en utilisant des commandes du logiciel qui matérialisent les propriétés de la figure, propriétés qui sont des outils pour la construction.

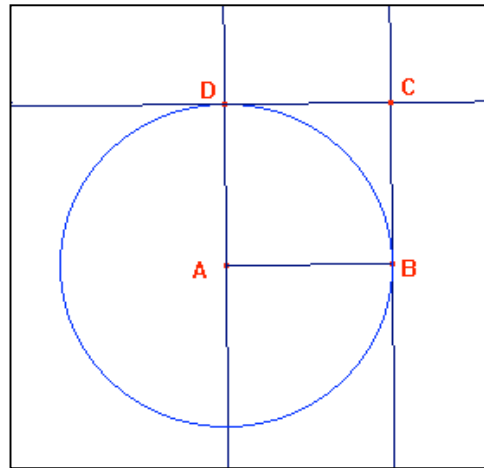


Figure 5 : Exemple de technique perceptivo-théorique

c) - *technique programme de construction (TPC)* : la construction de la figure est faite en suivant un programme de construction (élaboré ou non par les élèves)

Le programme de construction a été élaboré collectivement par les élèves à partir de l'historique d'une figure déjà construite. Il s'agit de la tâche t8.

Programme de construction

Place un point de base A

Place un point de base C

Trace le segment défini par les points A et C

Construis le milieu du segment [AC]. Nomme-le I

Construis une droite perpendiculaire à [AC] qui passe par I

Construis le cercle défini par deux points, passant par A et centre I

Marque l'intersection droite-cercle. Nomme-la B

Marque l'intersection droite-cercle. Nomme-la D

Trace les segments [AB], [BC], [CD] et [AD]

d) - *technique analytique (TA)* : la construction des figures est faite en utilisant une technique intermédiaire qui est une technique où on analyse des figures pour dégager les propriétés qui permettent ensuite la construction. Cette technique TA peut être une composante de la technique TPT.

Un exemple de l'utilisation de cette technique peut être pris dans la quatrième

séance où les élèves analysent une figure qui est déjà construite en Cabri (voir la figure 2) pour identifier les propriétés qui sont à l'origine de sa construction. Voilà par exemple les réponses d'une élève (en italique) :

Ouvre le fichier " B1 "

La figure MNPQ est-elle un carré ? *Oui*

Comment as-tu vérifié ? *En mesurant les côtés (ils sont égaux), les diagonales (elles sont égales et sécantes en leur milieu), les angles (ils sont droits 90°)*

Déplace tous les points que tu peux déplacer.

La figure MNPQ est-elle encore un carré ? *Non*

C'est un losange parce que ses 4 côtés sont égaux et ses diagonales sont perpendiculaires en leur milieu

Un carré est-il toujours un losange ? *Oui*

Un losange est-il toujours un carré ? *Non*

Le tableau suivant¹⁶ nous permet de voir l'évolution des types de tâches dans l'ensemble des séances ainsi que des types de techniques :

	Cabri (C)	Papier-crayon (PC)
S1	t1 TP	t2° TP
S2	t8° TP	t2° et t5 TA et TPT
S3		t3, t4 et t5 TP, TA et TPT
S4	t5 et t6° TA et TPT	
S5		t5 et t6° TA et TPT
S6	t7 et t8° TPC	t7 et t8° TPC
S7	t8° TPC et TPT	
S8	t9 TPC et TPT	t9 TPC et TPT

Tableau 2 – Evolution des tâches et des techniques

Quelques observations peuvent être faites à partir de ce tableau :

- a) - il existe un entrelacement des tâches papier-crayon et des tâches Cabri ;
- b) - il existe un entrelacement des tâches anciennes et de tâches nouvelles, des techniques anciennes et des techniques nouvelles ;
- c) - trois types de tâches sont essentiels : *construire des quadrilatères (t1), construire des quadrilatères à partir des diagonales (t2) et identifier les propriétés des quadrilatères (t5)*, même si ces tâches se déploient ensuite dans d'autres ;

¹⁶ Les petits cercles indiquent que la tâche est nouvelle pour ces classes.

d) - pour accomplir un type de tâches il existe plusieurs techniques et certaines techniques ne sont pas sans liens entre elles : par exemple TA peut être une composante de TPT et la technique TPC peut être ou non une technique TPT ;

e) - une évolution des techniques observées (cette évolution se présente aussi comme une visée) est manifeste : de TP à TPT, et cette évolution est faite à travers des techniques comme TPC et TA.

Les trois types de tâches t1, t2 et t5 organisent l'ensemble du travail conceptuel des élèves, travail qui va être accompli par des techniques différentes (nouvelles et anciennes) et instrumentées par des outils différents (règle, équerre, compas, Cabri). La tâche t2 est un cas particulier de t1 (construction avec des contraintes). Les enseignantes ont décidé de travailler t2 dans la deuxième séance en la mettant en relation avec la tâche t5 "*identifier les propriétés de certains quadrilatères*" : celle-ci devient une composante de la technique pour accomplir t2 par l'analyse de figures où les diagonales sont déjà tracées (et tracées comme il faut pour obtenir des quadrilatères particuliers). L'identification des propriétés des figures est alors une composante de la technique TPT : les propriétés permettent non seulement de caractériser les quadrilatères particuliers mais elles deviennent des outils pour les construire.

Pour les enseignantes, une connaissance doit apparaître comme un outil pour résoudre une difficulté rencontrée lors d'une activité : par exemple, pour reproduire une figure complexe, on rencontre la difficulté de construire un triangle, donc on travaille alors sur la construction des triangles. Cette manière de penser les tâches des élèves par les enseignantes nourrit le choix des tâches et des techniques. Ici, les élèves doivent construire un quadrilatère à partir des diagonales (t2) mais ils rencontrent des difficultés conceptuelles sur les propriétés des diagonales des différents quadrilatères particuliers, alors le professeur propose des tâches (t5) qui permettent de travailler cet aspect d'un autre point de vue (ici l'analyse de figures construites à partir des diagonales déjà tracées). La technique TPT est ainsi nourrie de certaines composantes conceptuelles qui permettent par la suite l'accomplissement de la tâche t2. Mais cette tâche telle quelle apparaît trop ouverte lorsqu'on passe à l'environnement Cabri où des nouvelles difficultés instrumentales (liées à l'usage de Cabri) vont apparaître (notamment celle de tracer un segment perpendiculaire à un autre) : la fermeture de la situation se fait alors par la réduction de la tâche t2 à la tâche t8 (construction du carré à partir de ses diagonales - cas particulier de t2).

Cette deuxième séance comportait une phase papier-crayon et une phase Cabri

qui se suivaient. Une synthèse a été faite à la fin de la phase papier-crayon en ce qui concerne les propriétés des diagonales des quadrilatères particuliers. Oralement, des élèves ont dit que “ pour tracer un carré à partir des diagonales, elles doivent avoir la même longueur, être perpendiculaires et être sécantes en leur milieu ”. La difficulté de la tâche t8 dans la séance 2 est à la fois une difficulté instrumentale : comment tracer un segment perpendiculaire à un autre ? Comment tracer un segment de même longueur ?, et une difficulté conceptuelle : la non stabilité des connaissances des élèves en ce qui concerne les propriétés des diagonales du carré. Ces deux difficultés sont à la base de deux directions qui seront matérialisés d’une part dans les séances S3, S4 et S5, d’autre part les séances S6 et S7.

La séance S3 sera consacrée au travail conceptuel en papier-crayon et la séance S4 au travail instrumental et conceptuel à la fois. Dans cette dernière séance, les élèves n’avaient pas à construire des figures mais ils avaient à analyser des figures déjà construites (technique TA) qu’ils avaient ensuite à manipuler (tâche 6 : “ établir des liens entre différents quadrilatères ”), comme nous l’avons dit précédemment.

Cette tâche nouvelle pour les élèves avait comme but de faire analyser des figures aux élèves et de leur faire travailler la distinction dessin/figure en mettant l’accent sur les propriétés qui ont permis la construction des figures et sur les liens entre les différents quadrilatères : les élèves commencent à parler de “ carré fixe ” ou “ carré stable ” et à rendre opératoire la connaissance instrumentale liée à la résistance des figures au déplacement des points. Dans la séance S5, les enseignantes reviennent sur cette tâche pour essayer de stabiliser à la fois les connaissances instrumentales et les connaissances mathématiques des élèves concernant les propriétés des quadrilatères.

Par contre, les difficultés instrumentales citées précédemment (notamment celle de construire un segment perpendiculaire à un autre) qui n’avaient pas encore été dépassées ont fait que les élèves ont mieux réussi la tâche t8 en papier-crayon, mais cette rencontre (et cet échec) a permis de reprendre cette tâche aux séances S6 et S7 en utilisant une nouvelle technique de construction d’un carré avec le cercle (notamment en utilisant l’historique et le programme de construction – technique TPC). Cette technique avait été vue l’année précédente par certains élèves de la classe qui ont fait un rapprochement de techniques : ils ont pu affirmer que cette technique Cabri était aussi valable en papier-crayon en utilisant le compas et le cercle. L’entrelacement des tâches et techniques Cabri et papier-crayon permet l’approfondissement conceptuel même lorsqu’on travaille sur des difficultés instrumentales.

L'une des conditions d'intégration de Cabri dans les classes observées est que la conception des situations soit régie par un même *principe* que celui d'autres situations dans la classe : trouver des détours par des situations où les connaissances apparaissent comme le moyen de dépasser des difficultés ou pour répondre à des questions posées par les élèves (caractère outil de certaines connaissances). *La " juste distance " entre l'ancien (les tâches proposées l'année dernière à propos des quadrilatères) et le nouveau (les tâches de cette année) est régulée (entre autres) par ce principe qui est commun au choix des tâches proposées.*

Un autre exemple peut être donné à propos du type de tâche t7 " élaborer un programme de construction " qui apparaît aussi comme un outil pour construire des quadrilatères et notamment construire des carrés à partir des diagonales (tâche t8) et à partir du côté (tâche t9). Ce type de tâche t7 n'est pas nouveau car les enseignantes l'ont utilisé en d'autres occasions mais la technique, en utilisant l'historique de Cabri va être différente. Les questions posées au départ sont les suivantes : on observe à l'ordinateur un carré. Est-il vraiment un carré ? A-t-il été construit en tant que carré ? Comment a-t-on fait ? Des réponses aux deux premières questions ont été proposées par des élèves dans un échange oral entre la maîtresse et la classe tandis qu'un élève manipulait l'ordinateur. Les réponses saillantes ont été : " ça semble un carré ", " on dirait un carré ", et pour vérifier ils ont suggéré de mesurer les longueurs des côtés, des diagonales et les angles, et déplacer les points qui pourraient l'être, ce que l'élève à l'ordinateur a fait. En observant les déplacements et la conservation de l'égalité des mesures, ils ont conclu que la figure était un carré. La deuxième question a été abordée ensuite et des élèves ont suggéré de regarder l'historique, suggestion reprise par les enseignantes qui avaient prévu que les élèves regardent l'historique et l'écrivent sur une feuille. Un travail sur l'écriture des instructions a été fait pour passer de l'historique à un programme de construction, programme qui a ensuite permis de construire le carré. Là encore nous sommes dans une dialectique ancien-nouveau : élaborer des programmes de construction pour ensuite construire des figures, mais cette élaboration a été faite à partir des éléments nouveaux notamment l'historique.

La " juste distance " entre l'ancien et le nouveau nous apparaît comme l'une des conditions de l'intégration de Cabri. Cette " juste distance " se décline de plusieurs manières. Les tâches peuvent être anciennes et les techniques nouvelles, les tâches peuvent être nouvelles et des techniques anciennes, des tâches et des techniques peuvent être nouvelles mais elles sont régies par des principes qui sont aussi à la base d'autres

situations usuelles de la classe.

6 - Conclusion

Notre projet de recherche n'est pas encore fini mais nous pouvons déjà avancer quelques éléments qui nous paraissent importants lorsqu'on traite le problème de l'intégration de Cabri dans des classes ordinaires de l'enseignement primaire. Nous avons abordé ce problème à travers la dialectique ancien-nouveau. Intégrer Cabri aurait pu signifier prendre des tâches anciennes et les refaire telles quelles avec Cabri : les techniques seraient nouvelles ou non si on utilisait ou non toutes les potentialités de Cabri et notamment le fait que ce soit un logiciel de géométrie dynamique. Intégrer Cabri aurait pu signifier aussi changer tout complètement : des nouvelles écologies se dessineraient alors, des nouveaux problèmes pourraient être posés aux élèves (c'est ce que nous avons fait auparavant (Assude et alii 1996)). Au point où nous sommes actuellement, nous pensons que le problème de l'intégration de Cabri doit permettre de poser le lien entre les activités innovantes (nouvelles écologies) avec les activités ordinaires (contraintes économiques). Dans ce travail, nous avons essayé de poser ce lien : comment concilier le nouveau avec l'ancien ?

Il nous semble que notre travail apporte quelques éléments de réponse à cette question. Nous disions, dans notre introduction, que la légitimité du travail avec Cabri est institutionnelle dans le sens qu'il y a une volonté politique d'intégrer les nouvelles technologies dans l'enseignement, mais pour qu'elle puisse avoir une réalité le travail avec Cabri doit être mis à l'épreuve de la classe, et notamment dans une classe ordinaire.

Cette mise à l'épreuve ne signifie pas pour nous tout changer mais asseoir les changements dans des socles stables du fonctionnement de la classe. Par exemple, dans nos classes, un principe est à la base du choix des types de tâches : une connaissance doit apparaître en tant qu'outil pour résoudre une difficulté ou une question. Ce principe de base est l'un des éléments pour trouver la "juste distance" entre l'ancien et le nouveau qui a été l'une des conditions d'intégration de Cabri dans nos classes. Cette "juste distance" peut être aussi obtenue par l'entrelacement des tâches anciennes et les tâches nouvelles, par l'entrelacement des techniques anciennes et les techniques nouvelles, ainsi que par l'entrelacement des tâches papier-crayon et des tâches Cabri, comme nous l'avons montré plus haut.

Cette dialectique ancien-nouveau est aussi présente lorsqu'on pense aux

conditions de la genèse instrumentale et aux conditions d'émergence de nouvelles règles du contrat didactique, notamment le fait de donner explicitement un statut institutionnel aux connaissances instrumentales ainsi que le fait de dépasser le stade de jeu lorsqu'on manipule avec l'ordinateur. Nous avons rencontré aussi le résultat d'autres travaux qui montrent comment le travail conceptuel peut être articulé au travail instrumental et qu'on ne peut pas penser à l'intégration de Cabri sans penser le lien entre les deux.

Bibliographie

Argaud H-C (1998). Problèmes et milieux a-didactiques pour un processus d'apprentissage en géométrie plane à l'école élémentaire, dans les environnements papier-crayon et Cabri-géomètre. Thèse de l'Université Joseph Fourier : Grenoble.

Artigue M (1998). Rapports entre la dimension technique et conceptuelle dans l'activité mathématique avec des systèmes de mathématiques symboliques. *Actes de l'Université d'été 1996 " Des outils informatiques dans la classe... "*, IREM de Rennes, 19-40.

Artigue M. (2001). Learning mathematics in a cas environment : the genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *Journal of Computers for Mathematical Learning*. (à paraître)

Artigue M & Lagrange J-B (1999). Instrumentation et écologie didactique de calculatrices complexes : éléments d'analyse à partir d'une expérimentation en classe de Première S. In Guin D (ed) *Actes du congrès " Calculatrices symboliques et géométriques dans l'enseignement des mathématiques "*, IREM de Montpellier, 15-38.

Assude T., Capponi B., Bertomeu P. & Bonnet J.F. (1996). De l'économie et de l'écologie du travail avec le logiciel Cabri-géomètre. *Petit x*, 44, 53-79.

Brousseau G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7 (2), 33-115.

Chevallard Y. (1997). Familiale et problématique, la figure du professeur. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol.17.3, 17-54.

Chevallard Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique, *Recherches en didactique des mathématiques*, vol.19.2, 221-266.

Commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques (2000). Rapport d'étape sur la géométrie et son enseignement. *Bulletin de l'APMEP*, n°430, 571-599.

Defouad B. (2000). *Etude de genèses instrumentales liées à l'utilisation d'une*

- calculatrice symbolique en classe de première S*. Thèse de doctorat. Université Paris 7.
- Douady R. (1992). Des apports de la didactique des mathématiques à l'enseignement. *Répères-IREM*, 6, 132-158.
- Fischbein E. (1993). The theory of figural concepts. *Educational Studies in Mathematics*, 24.2, 139-162.
- Gomes A.S. (1999). *Développement conceptuel consécutif à l'activité instrumentée*. Septentrion : Lille.
- Hélayel J. (1996/97). *La géométrie à l'école primaire : textes et contextes de son enseignement dans la société française de 1800 à 1938*. Mémoire de DEA d'épistémologie et d'histoire des sciences. Université de Paris 7.
- Hoyle C., Noss R. (1992). A Pedagogy for Mathematical Microworlds. *Educational Studies in Mathematics*, 23, 31-57.
- 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, 165-210.
- Laborde C. (1994). Enseigner la géométrie : permanences et révolutions. *Bulletin de l'APMEP*, 396, 523-548.
- Laborde C. (1998). Visual phenomena in the teaching/learning of geometry in a computer-based environment. In Mammana C. & Villani V. (eds), *Perspectives on the teaching of geometry for the 21st century*, p.113-121. Kluwer academic publishers : Dordrecht.
- Lagrange J.B. (2001). L'intégration d'instruments informatiques dans l'enseignement : une approche par les techniques. *Educational Studies in Mathematics*, 43, 1-30.
- Lagrange J.B, Artigue M., Laborde C. & Trouche L. (2001). A Meta Study on IC Technologies in Education. *PME* 25, 1, 111-125.
- Parzysz B. (1988). Knowing vs seeing, Problems of the plane representation of space geometry figures. *Educational Studies in Mathematics*, 19.1, 79-92.
- Rabardel P (1999). Eléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques. *Actes de la Xème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques*, Houlgate, vol I, 203-213.
- Trouche L. (2000). La parabole du gaucher et de la casserole à bec verseur : étude des processus d'apprentissage dans un environnement de calculatrices symboliques. *Educational Studies in Mathematics*, 41, 239-264.

Teresa Assude
DIDIREM (Université Paris 7) & IUFM de
Versailles
Case courrier 7018
2, place Jussieu
75251 Paris cedex 05

Jean-Michel Gélis
INRP & IUFM de Versailles
Domaine du Saulchoir
91450 Etolles