# ANALYSE DE PROCESSUS D'ENSEIGNEMENT EN ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE

Michèle ARTIGUE
IREM, Université Paris 7

## I - Introduction

En didactique des mathématiques, l'analyse des processus d'enseignement est souvent présentée dans un cadre systémique, le système considéré étant constitué autour de trois pôles essentiels : le pôle "savoir", le pôle "élève" et le pôle "enseignant" (cf. par exemple Brousseau, 1986). C'est dans une telle perspective que nous nous situerons dans ce texte.

On a vu ces dernières années surgir des modifications de ce schéma général conçues pour prendre en compte l'introduction de l'informatique dans l'enseignement des mathématiques. Certains auteurs rajoutent une mention "informatique" à chacun des pôles du système, pour souligner le fait que l'informatique, à la fois comme technologie et comme science, affecte de façon spécifique chacun des pôles. D'autres, préférant considérer l'informatique comme un pôle autonome, transforment le triangle didactique initial en tétraèdre. D'autres enfin, voyant dans l'informatique essentiellement un élément de l'environnement, choisissent d'intégrer l'ordinateur au "milieu" conçu dans le système didactique comme territoire de référence culturelle et de fonctionnement des savoirs.

Je ne m'engagerai pas ici dans une analyse des conceptions sous-jacentes à ces différents choix et de leurs éventuelles implications didactiques. Toutes cherchent à exprimer que la science et/ou la technologie informatique influencent et modifient le système didactique que nous avions coutume de fréquenter et d'étudier et, peut-être, les diversités constatées sont-elles en partie liées au fait que les formes exactes de cette influence nous sont encore mal connues :

*Comment l'environnement informatique affecte-t-il le système ? Est-il susceptible de produire des phénomènes didactiques spécifiques ? Sous quelles conditions ? Comment les contrôler, les gérer, les exploiter efficacement éventuellement ?*

Nous avons accumulé depuis une vingtaine d'années, par le fait des travaux menés, des connaissances dans ce domaine mais elles restent pour l'instant, il faut en convenir, éparses et fortement contextualisées.

Et pourtant, il s'agit de questions essentielles si l'on se pose le problème de la pénétration de l'outil informatique dans l'enseignement et des formations nécessaires pour soutenir au mieux ce processus.

Je souhaiterais contribuer ici à cette réflexion en m'appuyant sur une recherche à laquelle je participe depuis deux ans sur l'utilisation du langage Euclide pour l'enseignement de la géométrie en classe de 4ème et, très ponctuellement, à titre de comparaison, sur la recherche menée par Brigitte Grugeon pour son mémoire de DEA : une expérimentation du logiciel "Le Géomètre" dans une classe de seconde.

Plutôt que de décrire en détail ces deux travaux, après en avoir présenté brièvement le cadre et les lignes directrices, j'essaierai de pointer en quoi ils m'ont interpellée en tant que didacticienne habituée à l'analyse de processus d'enseignement dans un environnement traditionnel.

## II - Présentation de la recherche Euclide

Cette recherche s'est engagée à l'IREM Paris 7 en Octobre 1988 au sein du groupe "Collège" de l'IREM. Elle est menée dans le cadre du projet national inter-IREM "Euclide". En 1988-89, nous étions trois à y participer : J.Belloc, S.Touaty et moi-même, en 1989-90 deux étudiants du DEA de Didactique de l'université Paris 7, A. Karatsivoulis et G.Kargiotakis ont accepté de s'y rattacher pour leur stage d'observation et leur mémoire. Elle a concerné trois classes de quatrième pour la phase exploratoire de la première année, une classe, la seconde année et donné lieu à un premier rapport intermédiaire publié par l'IREM Paris 7 en Octobre 1989.

A priori, deux directions d'exploitation du logiciel Euclide avaient été envisagées :

- exploitation via la réalisation d'imagiciels,
- exploitation via la programmation par les élèves eux-mêmes.

La première ligne directrice a conduit à des résultats beaucoup plus positifs quant aux possibilités d'utilisation d'Euclide à ce niveau, pour l'enseignement de la géométrie que la seconde. Ce sont néanmoins les données issues de la seconde direction que je vais exploiter ici, car elles me semblent beaucoup plus riches et pertinentes par rapport à l'objet de ce texte.

Notre travail dans cette direction était basé sur les hypothèses suivantes :

- **Euclide peut aider la formulation en géométrie.** En effet, comme tout langage informatique, il impose des exigences de rigueur dans le domaine syntaxique, au niveau des instructions élémentaires comme de leur structuration plus globale. L'adaptation à ces exigences, du fait de la proximité du langage Euclide du langage mathématique usuel, doit produire des connaissances aisément transférables au domaine purement mathématique, tout en ne nécessitant pas d'apprentissages annexes trop coûteux. Le recours à Euclide présente l'avantage de mettre en scène ces exigences comme des exigences du milieu et non comme des exigences relevant du simple contrat didactique, comme c'est souvent le cas, à ce niveau. Enfin, les problèmes de formulation mathématique, au niveau élémentaire où se situe le langage Euclide, sont loin d'être des problèmes résolus en classe de quatrième et ils y constituent encore un enjeu de l'enseignement.

- **Euclide peut aider la conceptualisation en géométrie.** En effet, d'une part il est bien connu que la conceptualisation n'est pas indépendante de la formulation, d'autre part, Euclide oblige à envisager différemment les objets géométriques. Il possède à ce niveau des caractéristiques relativement proches de celles du logiciel "Cabri-Géomètre" telles que décrites par exemple par (Bellemain, 1989). Dans la géométrie usuelle du collège, la perception, les instruments perçus comme objets permettant d'exécuter des "gestes" jouent un rôle dominant, quels que soient les efforts faits par l'enseignement pour contrecarrer cette tendance, voir par exemple (Grenier, 1988). Dans la géométrie d'Euclide, ces gestes doivent être décomposés, analysés et traduits en termes d'objets géométriques et de leurs propriétés : on ne fait pas glisser une règle, on trace une parallèle, on ne pose pas une équerre mais on trace des droites perpendiculaires et, si l'on veut reporter des distances, il faut tracer des cercles ou utiliser des transformations géométriques.

- **Euclide peut aider à approcher dès ce niveau des situations plus complexes et permettre d'engager les élèves dans une démarche expérimentale en mathématiques,** recherches de configurations respectant des conditions données, premiers problèmes de lieux, par exemple.

- **Euclide peut enfin aider les élèves à entrer dans la rationalité mathématique** en les aidant à prendre conscience de la généralité des énoncés mathématiques : un programme associé à une configuration étant donné sous forme de procédure, il n'y a aucune difficulté a priori à tracer un grand nombre de figures associées à cette configuration et faire apparaître les propriétés géométriques de la configuration pour ce qu'elles sont, à savoir les invariants d'une classe infinie de figures.

Un certain nombre de choix didactiques globaux avaient été effectués, pour permettre de tester ces hypothèses tout en gérant au mieux les contraintes expérimentales imposées, par exemple :

- initier préalablement les élèves au langage Logo,
- coupler les objectifs d'apprentissage des langages Logo et Euclide avec des objectifs d'apprentissage mathématique,
- associer à chacune des séances en salle informatique où les élèves travaillaient en petits groupes une séance de bilan, institutionnalisation et réinvestissement,
- faire lors de ces séances une institutionnalisation aux deux niveaux : informatique et mathématique,
- prévoir, le plus systématiquement possible, un réinvestissement papier/crayon des activités menées avec l'ordinateur.

Il s'agissait par ces choix d'essayer de prendre en compte dans le processus d'enseignement d'une part les contraintes rencontrées par une classe standard, en particulier en ce qui concerne la gestion du temps, d'autre part les problèmes posés par la familiarisation avec l'environnement informatique et la décontextualisation des connaissances par rapport à cet environnement. Nous reviendrons sur ces points dans la partie IV.

La phase d'initiation à Logo couplée avec l'étude des quadrilatères particuliers, un travail sur les angles et l'introduction de la notion de variable, a été ainsi suivie d'une phase d'initiation au langage Euclide couplée avec des activités de repérage dans le plan et l'étude des triangles particuliers. Après cette initiation, Euclide a été exploité pour le traitement de situations géométriques, chaque situation donnant lieu à deux ou trois séances de travail sur machine entrecoupées de travail en situation papier/crayon.

Décrivons par exemple très brièvement la structure de l'une de ces situations géométriques préparant l'introduction de la configuration des médianes :

Dans un premier temps les élèves reçoivent une feuille sur laquelle sont tracées plusieurs figures représentantes d'une même classe de figures (cf. FIG1 en annexe). Ils doivent, chez eux, préparer un texte mathématique et un programme Euclide permettant la construction d'une figure générique de la classe, à partir de trois points de base librement choisis. Notons que cette phase a une fonction d'introduction à la situation mais qu'elle sert également à tester l'impact de l'initiation Euclide qui précède.

Les programmes sont ensuite testés en classe et éventuellement corrigés. Lors de la synthèse collective qui suit, ils sont classés pour mettre en évidence les différents modes de construction de la figure possibles et distinguer les propriétés mathématiques à la base de chacune de celles à déduire. Un certain nombre de procédures types sont répertoriées et sauvegardées, avec des variantes correspondant à différents modes d'entrée des points de base. Ces procédures sont ensuite utilisées pour se familiariser avec la configuration en résolvant des problèmes du type suivant :

- on donne au triangle DGF certaines particularités et on se demande quel effet cela a sur le parallélogramme BHCE,
- idem avec le triangle DGA.

On demande ensuite aux élèves, les points D et G étant fixés, de déterminer comment il faut choisir le point F pour que le parallélogramme BCHE soit successivement :

- un rectangle,
- un losange,
- un carré.

Les résultats obtenus la première année d'expérimentation, sans démentir les hypothèses initiales ont montré clairement qu'elles étaient très optimistes.

Certes Euclide, comme nous le supposions, a conduit les élèves à des progrès sensibles au niveau de la formulation mathématique et les a aidés à dépasser une conception perceptive ou purement instrumentale de la géométrie. Par exemple, l'impossibilité de report direct de longueur en Euclide a conduit assez rapidement les élèves à donner au cercle un statut qu'il n'acquiert que difficilement dans les conditions usuelles d'enseignement.

Il faut noter d'ailleurs que les tests Euclide de conjecture, qui fonctionnaient dans l'expérimentation comme des validations pragmatiques, semblent avoir joué un rôle non négligeable à ce niveau. Au fur et à mesure de la progression, on a vu les élèves diversifier les tests utilisés (au départ essentiellement des vérifications de distance). Il s'agissait en effet pour eux de trouver des tests économiques en termes de programmation : on a par exemple intérêt en Euclide à tester qu'un parallélogramme est un carré en faisant une rotation. Ce phénomène a sans doute contribué à faire de certaines des notions de l'enseignement de vrais outils de l'activité mathématique.

Mais dans le même temps, il est apparu que la communication Euclide était loin d'être idéale. En particulier, en dépit des précautions prises : double institutionnalisation, fabrication d'aide-mémoire, nous n'avons pas réussi à résoudre de façon satisfaisante les problèmes posés par l'acquisition de la syntaxe et la gestion des différents modes de fonctionnement de l'ordinateur : direct, procédural, éditeur. Les résultats de l'évaluation finale organisée en environnement informatique ont mis en évidence de nombreux phénomènes de ralentissement voire de blocage liés à de tels problèmes, non mathématiques.

De même, les activités proposées ont visiblement permis aux élèves d'entrer dans une démarche expérimentale en mathématiques, et ceci quasiment indépendamment de leur niveau mathématique. Nous y avons été d'autant plus sensibles que l'une des classes expérimentales était une classe de très bas niveau formée d'élèves qui, normalement, auraient du quitter le système scolaire standard à la fin de la 5ème.

Mais, dans le même temps, et nous reviendrons plus en détail sur ce point ultérieurement, nous avons rencontré des difficultés sérieuses à gérer efficacement les phases d'exploration et à les articuler avec les autres phases de l'activité mathématique.

Compte-tenu des analyses faites, tout en conservant les mêmes directions d'exploitation du langage Euclide la seconde année, nous avons décidé, du point de vue de la recherche, d'accorder une importance particulière à l'étude des problèmes posés par l'acquisition, la mémorisation de la syntaxe Euclide ainsi qu'à la répercussion de ces problèmes sur l'activité mathématique des élèves. Nous l'avons fait en nous donnant les moyens d'observer plus finement que la première année l'ensemble du processus d'enseignement : les deux étudiants de DEA qui ont rejoint l'équipe de recherche ont chacun suivi, en tant qu'observateurs, un groupe de trois élèves : un groupe de garçons pour l'un, un groupe de filles pour l'autre, et ce sur l'ensemble du processus.

## III - La recherche sur le logiciel "Le géomètre"

Ce travail, tout à fait exploratoire, a été mené dans une classe de seconde par B. Grugeon dans le cadre de son DEA de Didactique. Il avait pour objectif de comparer les stratégies de résolution mises en oeuvre par des élèves de ce niveau dans la résolution de problèmes de construction géométrique et de lieux, suivant qu'ils travaillaient avec le logiciel ou dans la situation usuelle papier/crayon.

Il visait à tester et préciser un certain nombre d'hypothèses :

- La convivialité de ce logiciel en fait un produit d'accès rapide permettant la réalisation aisée et fiable de figures support à l'activité géométrique, après une courte initiation, à ce niveau d'enseignement tout au moins.
- La construction d'une figure dans l'environnement papier/crayon et sa construction dans l'environnement "Le géomètre" obéissent à des contraintes

différentes et conduisent de ce fait à des représentations différentes de cette figure chez l'élève.

- L'économie des modes de résolution et de validation est différente en papier/crayon et dans l'environnement "Le géomètre" et ces différences vont se traduire au niveau des stratégies de résolution et de validation de l'élève.

Tablant sur la convivialité annoncée du logiciel, il n'avait été prévu que deux séances d'initiation préalables. Mais il faut souligner que cette convivialité s'est trouvée ici fortement réduite : d'une part, le logiciel était utilisé sans souris, d'autre part divers problèmes techniques sont intervenus liés à la non-compatibilité partielle de la version dont nous disposions avec les écrans graphiques qui équipaient la salle informatique.

La phase d'expérimentation proprement dite s'est déroulée sur deux séances de deux heures, la première consacrée à des problèmes de construction, la seconde à des problèmes de lieux. La classe était partagée en deux groupes qui alternaient devant les machines. Chacun avait à résoudre deux problèmes par séance, un dans l'environnement papier/crayon et un dans l'environnement informatique.

Citons à titre d'exemple un des problèmes de construction et un des problèmes de lieu :

- *Trois points* A, B, C *non alignés étant donnés, existe-t-il un point* E *de* (AB) *et un point* F *de* (AC) *satisfaisant les conditions suivantes :*
*le triangle* EAF *est rectangle en* E,
EF = BC
*S'ils existent, comment les construire ?*

- *On se donne une droite* (D) *et deux points* A *et* B *n'appartenant pas à* (D). *Pour tout point* M *de* (D), *on construit le point* N *tel que* ABMN *soit un trapèze isocèle de base* AB. *Quel ensemble obtient-on pour les points* N *quand* M *décrit la droite* (D) ?

Les observations faites ont effectivement mis en évidence la répercussion des différences des deux environnements sur les stratégies de résolution des élèves et même plus généralement sur leur conception de la résolution. Mais elles nous amènent également à faire l'hypothèse que même si la convivialité de ce logiciel en fait un instrument bien plus aisé d'utilisation qu'Euclide, son exploitation efficace dans une classe ne va pas pour autant de soi.

## IV - Eléments pour une analyse didactique

Après cette présentation succincte des deux recherches, j'aimerais montrer dans ce paragraphe en quoi elles m'ont interpellée comme didacticienne. J'aborderai successivement les trois points suivants :

- environnement informatique et milieu,
- environnement informatique et activité de l'élève,
- environnement informatique et pilotage de la classe.

### A - Environnement informatique et milieu

Pourquoi s'intéresser au milieu ? La didactique des mathématiques s'est construite en référence aux théories constructivistes de l'apprentissage. Dans ces théories, la connaissance du sujet s'élabore via ses interactions avec un certain milieu. C'est par le milieu que se médiatise le rapport au savoir et, comme le souligne G. Brousseau (Brousseau, 1989), c'est le milieu qu'apprête, que conditionne l'enseignant dans sa mise en scène du savoir. D'où l'intérêt d'analyser l'action de tel ou tel environnement informatique sur le milieu.

Tous les environnements informatiques n'ont bien sûr pas le même effet sur le milieu. Nous nous référerons dans ce paragraphe à un environnement possédant les caractéristiques suivantes :

- **l'environnement est ouvert** : l'élaboration de situations didactiques exploitant cet environnement est entièrement à la charge de l'enseignant, l'environnement fournit seulement un cadre pour cette élaboration. C'est le cas des environnements Euclide et Logo, tels que nous les avons utilisés dans cette recherche. Bien sûr, il est possible de construire à partir de ces langages des environnements plus fermés, qu'il s'agisse de produits d'ingénierie didactique ou même de tutoriels.
- **l'environnement est non-transparent** : il pose des problèmes de familiarisation.

L'enseignant de mathématiques est habitué à travailler dans des environnements ouverts. En revanche, il n'est pas habitué à travailler dans des environnements non transparents nécessitant un apprentissage prolongé pour lesquels l'organisation de cet apprentissage, sa coordination avec les apprentissages mathématiques visés doivent obligatoirement être pris en compte. Dans l'analyse de la recherche menée, nous avons distingué deux aspects dans cet apprentissage :

- celui concernant les aspects imbriqués aux mathématiques,
- celui concernant les aspects non imbriqués aux mathématiques.

Illustrons cette distinction par quelques exemples :

- apprendre que, dans la syntaxe de l'instruction DRORT, il faut préciser la droite à laquelle sera orthogonale la droite que l'on veut définir et un point par lequel elle passe, relève pour nous du premier aspect,
- la distinction entre les instructions DES et SOIT, la première dessinant sans définir tandis que la seconde définit sans dessiner relève plutôt du second, dans la mesure où, en mathématiques, une droite déjà utilisée d'une façon ou d'une autre est automatiquement définie,
- enfin, la gestion des espaces, ", : ou le repérage des différents niveaux de fonctionnement de la machine : mode direct, mode procédure, mode éditeur, relève clairement du second niveau.

L'apprentissage de la syntaxe dans ses aspects imbriqués aux mathématiques n'est pas une gêne en soi, au contraire, l'adaptation à ces contraintes syntaxiques peut-être conçue comme moteur de l'apprentissage mathématique (cf. les hypothèses de la recherche). Mais malheureusement, la syntaxe à mémoriser est loin de se réduire à cet aspect et, comme tendent à le montrer les résultats de la recherche, c'est justement à ce niveau non imbriqué que se situent beaucoup des erreurs récurrentes. En particulier, ce type d'erreurs réapparaît dans les situations complexes où l'attention n'est plus portée comme c'était le cas dans la phase d'initiation sur l'apprentissage du langage (cf. en français orthographe dictée/orthographe rédaction), il resurgit aussi après toute interruption un peu longue dans l'utilisation d'Euclide (vacances, ponts), ralentissant le fonctionnement des groupes ou créant même des blocages.

Nous avons relevé systématiquement ces erreurs et leurs effets dans les deux groupes d'élèves observés ainsi que, pour l'ensemble de la classe, dans les phases d'évaluation et je voudrais illustrer les affirmations qui précèdent par deux types de données :

- les programmes de construction fournis par les élèves en préalable à la situation complexe décrite dans la partie II (en me basant sur l'analyse de copies effectuée par J.Belloc),
- le travail de deux élèves pendant l'évaluation finale (en me basant sur les mémoires de DEA de G.Kargiotakis et A.Karatsivoulis).

### 1 - Programmes de construction associés à la figure complexe

Dans un premier temps, les élèves ont proposé des constructions partant de 3 points librement choisis. Chaque élève devait produire un texte mathématique et un programme Euclide. Nous donnons ci-après *le nombre d'élèves ayant construit correctement au moins* N *points,* d'abord d'un point de vue mathématique (ligne 2 du tableau I) et ensuite d'un point de vue Euclide (ligne 3 du tableau I) :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 |
| Maths | 8 | 9 | 13 | 17 | 21 | 21 |
| Euclide | 3 | 3 | 6 | 10 | 11 | 17 |

TABLEAU I

Note : 4 élèves n'ont pas produit un programme permettant le tracé sur écran des trois points de départ.

La démarche la plus fréquente a consisté à partir des trois points G, D et F puis à construire E comme milieu de [GF], C comme milieu de [DF], A comme intersection de (CD) et (GE), les définitions proposées pour B et H étant ensuite plus variées : de type milieu, symétrique ou plus rarement utilisant le parallélisme de (BH) et (EC).
Ce tableau met bien en évidence, nous semble-t-il, le décalage existant entre la correction mathématique et la correction Euclide.

Pour mieux cerner cette différence, nous allons analyser les erreurs commises dans la tâche qui a suivi celle-ci immédiatement dans l'enseignement : le professeur, ayant repris les cinq types de construction trouvés par les élèves, a demandé de coder en Euclide cinq textes mathématiques correspondant à ces constructions. Nous distinguerons ici 5 catégories d'erreurs, par ordre de désimbrication mathématique croissante :

- Les erreurs mathématiques : erreurs dans la syntaxe de certaines instructions comme l'oubli dans la définition d'une droite comme droite orthogonale à une droite donnée passant par un point donné de la mention de ce point, erreurs comme l'introduction d'objets non définis ou la double définition d'objets, comme l'ajout de propriétés, en résumé des erreurs qui résisteraient à une lecture mathématique souple du texte Euclide (code : EM).

- Les erreurs correspondant à un mode de définition mathématique non directement traduisible en Euclide (code : ED), ex : on peut en mathématiques définir G tel que C soit le milieu de [GF], en Euclide, une instruction définissant G ne peut faire appel à G, donc il faudra par exemple définir G comme le symétrique de F par rapport à C, F et C étant bien sûr préalablement définis.

- Les erreurs correspondant à un changement d'ordre entre la syntaxe Euclide et le langage mathématique usuel (code : EO), ex : "M' est le symétrique de M par rapport à O" s'exprimera en Euclide par :

SOIT "M' SYMP :O :M

- Les erreurs liées à une définition implicite en mathématiques mais nécessaires en Euclide (code : EI), ex : en mathématiques, dès que deux points A et B ont été introduits, on peut parler de la droite (AB), en Euclide, cette droite doit être à son tour définie ; il ne suffit pas non plus qu'elle soit tracée pour être définie.

- Les erreurs dites de syntaxe "de liaison" (code : EL) : espaces, : , " , [....

Le tableau ci-après donne pour chaque type d'erreur le nombre de fois où elle a été commise dans le décodage des 5 textes et le nombre d'élèves concernés sur un effectif de 21 :

| Code erreur | EM | ED | EO | EI | EL |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre | 4 | 7 | 32 | 56 | 28 |
| Elèves | 1 | 2 | 8 | 18 | 9 |

TABLEAU II

Note : dans le type EI, il s'agit uniquement de l'utilisation de droites non définies, mais dont deux points ont été préalablement définis ; dans le type EO, il s'agit essentiellement d'erreurs liées à l'inversion de l'ordre dans l'expression de la symétrie centrale.

Ce tableau montre bien la prédominance dans les erreurs, à ce moment de l'enseignement, des types correspondant aux niveaux de moindre imbrication. Remarquons que le travail demandé ici ne mettant pas en jeu une interaction effective avec l'ordinateur, nous n'avons pas introduit ci-dessus de catégorie pour repérer les erreurs informatiques liées à cette interaction, en particulier celles relevant de la gestion des procédures : appel et enregistrement, entrée et sortie du système éditeur, identification et prise en compte du niveau de fonctionnement de la machine.... L'analyse des comptes rendus de l'évaluation finale a cependant montré qu'elles étaient elles aussi particulièrement résistantes. Nous les coderons EGI dans ce qui suit.

De même, nous inclurons dans la catégorie "EI" les erreurs liées aux confusions entre DES et SOIT dont nous n'avons pas eu d'exemple dans les copies analysées ici.

**2 - Compte rendu d'un premier travail d'élève dans l'évaluation finale**

Pour cette évaluation, chaque élève était seul devant son ordinateur. Le cas de Virginie, que nous détaillons ci-après, met bien en évidence, nous semble-t-il, le ralentissement dans la recherche causé par les problèmes informatiques rencontrés. Il y avait plusieurs sujets différents et celui proposé à Virginie était le suivant :

*Les trois points* H, B *et* C *sont donnés dans la procédure* HBC. *Sans modifier cette procédure, écrivez-en une autre permettant la construction du point* A *tel que* H *soit l'orthocentre du triangle* ABC.

Soulignons que ce problème était beaucoup plus difficile qu'il ne le paraît a priori car le choix des points H, B et C donnait un orthocentre extérieur au triangle. Ceci rendait l'utilisation de la configuration classique et le tâtonnement difficiles.

Pour faire exécuter la procédure donnée V. tape d'abord :
DES :HBC ( DES :HBC au lieu de HBC, erreur EGI)
D'où le message d'erreur :
"Pas de chose donnée à HBC"

Avec le livret aide-mémoire, elle retrouve comment faire exécuter une procédure et voit apparaître trois points sur l'écran. Les noms de ces points ne sont pas affichés mais V. a la possibilité d'aller lire leurs coordonnées dans la procédure HBC, en passant en éditeur.

V. décide, elle, de faire dessiner sur l'écran indépendamment les trois points en leur choisissant librement des coordonnées. Elle tape, sans passer dans le mode éditeur reconnaissable à l'écran blanc :
POUR DES1
SOIT "B PTXY -5 -12
DES :B

Elle s'étonne de ne rien voir apparaître sur l'écran (ce qui est normal puisqu'elle est en mode procédural) mais continue sa procédure ajoutant le point C et la droite (BC) (syntaxe correcte).

A ce moment, l'enseignante intervient pour rappeler la consigne : il est interdit de modifier les points de départ.

V. décide d'effacer l'écran. Elle tape :
DEBUT (erreur EGI)
sans terminer sa procédure. L'écran ne s'efface donc pas et il faudra l'intervention de l'enseignant pour la débloquer.

V. décide de dessiner le cercle de centre H qui passe par les points B et C : elle pense que A est le point d'intersection de ce cercle et d'une droite passant par H. Elle tape :
SOIT "C1 CLCP :H :B :C ( erreur EM)
DES :C1

SOIT "D3 DRPP :H (il manque un point, erreur EM)
DES :D3
SOIT "A INTDD :D3 :C1 (erreur de syntaxe : intersection de droites au lieu de droite/cercle)
DES :A
FIN

L'ordinateur commence le dessin puis affiche le message d'erreur :
"Dans DES2 que faire de -5 67 PT" (ce sont les coordonnées de C en trop dans la définition du cercle)
V. décide d'abandonner le mode procédural et de taper en direct :
DES C1 CLCP :H :C :B (confusion DES et SOIT, erreur EI et )
Elle reçoit le message d'erreur :
"Comment faire pour C1"
Elle consulte son aide-mémoire et tape :
DES CLCP :H :C
L'ordinateur produit un dessin non conforme à son attente parce qu'il ne passe pas par B. Elle insiste et retape :
DES CLCP :H :C :B (erreur EM)
L'ordinateur commence le dessin et renvoie le même message d'erreur que précédemment. V. tape alors :
DES CLPP :B :C (erreur EM)
et obtient le message :
"Comment faire CLPP"
Elle abandonne alors le travail sur ordinateur et passe en papier crayon en recommençant à zéro. Ceci la conduit à tracer (BC) puis une droite perpendiculaire à (BC) passant par H.
Elle décide alors de réaliser cette construction à l'ordinateur mais la séance est terminée.

### 3 - Compte rendu d'un second travail d'élève

Il s'agit du travail de Pascal, un élève beaucoup plus à l'aise avec le langage Euclide. Il travaille sur le sujet suivant :

*Les points* A *et* B *et la droite* $D_1$ *sont donnés dans la procédure* ABE. *Dans cette procédure, un point* E *est ciblé sur la droite* $D_1$ *(ne pas modifier cette procédure). Ecrire une procédure permettant la construction du point* F *tel que le quadrilatère* ABFE *soit un parallélogramme. Où se déplace le point* O, *centre du parallélogramme quand* E *se déplace sur* $D_1$ *? Justifier la réponse.*

P. exécute la procédure ABE puis l'édite et examine les instructions. Il quitte le mode édition, fait une deuxième exécution puis repasse en mode édition et tape :
POUR FIG1
ABE
SOIT "D2 DRPAR :D1 :B
SOIT "D3 DRPAR :D2 :E (erreur, il veut tracer la parallèle à (AB)) (erreur EM)
SOIT "F INTDD :D2 :D3
DES :D2 DES :D3
FIN

Il fait exécuter cette procédure et obtient le message d'erreur :
"Dans INTDD, / n'aime pas 0"

Il repasse alors en mode édition, et après avoir regardé les instructions, conclut qu'il n'a pas défini (AB). Il modifie alors le programme en introduisant la définition de (AB) notée D4 et en corrigeant par la même occasion la définition de D3. La nouvelle procédure est appelée FIG1.

A l'exécution, il obtient le tracé correspondant à la figure 2 donnée en annexe sans les noms.

Il repasse en édition et ajoute à la procédure des instructions de dessin pour D4 et F juste après les définitions correspondantes. Pour F, il ajoute également une instruction de modification de couleur.

DES :F FCC 1

La nouvelle procédure est appelée FIG2.

A l'exécution, il obtient la figure complète, les droites D2 et D3 étant tracées en rouge, mais pas le point F (erreur EGI). Il repasse en édition et modifie la procédure faisant passer l'instruction DES :F FCC 1 à la fin (procédure FIG3). A l'exécution, plus rien n'est en rouge. Cette fois ci, il interprète correctement le phénomène et inverse l'ordre des instructions de tracé de F et de couleur (procédure FIG4).

Le professeur passe et indique qu'il veut voir le point 0 en vert.

P. crée alors la procédure FIG5 en rajoutant à la fin de FIG4 les instructions :

SOIT "D5 DRPP :A :F
SOIT "D6 DRPP :B :E
FCC2 SOIT "O INTDD :D5 :D6 DES :O
FIN

Après vérification, il fait exécuter 10 fois la procédure par : REPETE 10 [FIG5]

Il identifie le lieu et écrit sur sa feuille :

"Les points O se déplacent sur une droite qui est à égale distance de la droite (EA) et (FB)".

Mais il ne cherchera pas à justifier davantage sa réponse.

**En conclusion**

Les problèmes didactiques de familiarisation avec le milieu sont incontournables. L'analyse des productions relatives à l'enseignement dans un tel environnement montre que le système n'a pas développé une stratégie uniforme pour essayer de les gérer. En fait, plusieurs tendances se manifestent :

- accroître la transparence du milieu, par exemple en réduisant la syntaxe introduite, en fournissant des programmes tout faits aux élèves ....
- améliorer le logiciel initial, en introduisant en particulier de nouvelles macro-procédures,
- utiliser le logiciel dans des conditions hors classe (clubs informatiques par exemple) pour échapper aux contraintes de temps et aux problèmes de motivation.

Les textes et productions des équipes ayant travaillé avec Euclide mettent bien en évidence ces différentes tendances, leur efficacité et leurs limites respectives.

Par exemple, les essais d'amélioration du logiciel conduisent généralement à augmenter sensiblement le nombre d'instructions à mémoriser. Même si ces instructions sont plus claires, efficaces ou mieux gérées par l'ordinateur, l'apprentissage n'en est pas réduit pour autant : le milieu n'est pas devenu plus transparent.

Divers exemples montrent aussi que la donnée aux élèves de programmes tout faits peut conduire à des situations didactiques où le travail de l'élève consiste essentiellement à appuyer sur des boutons, regarder ce qui se passe, faire des observations et les noter, sans qu'il y ait de sa part de réel engagement mathématique dans la résolution d'un problème : il est bien connu que ce n'est pas parce que l'on manipule que l'on s'engage nécessairement dans une démarche expérimentale.

Dans la recherche que nous avons menée, nous avons nous aussi essayé de prendre en compte ce problème d'apprentissage du milieu, et ce dès la première année :

- par l'organisation systématique d'une double institutionnalisation c'est-à-dire d'une institutionnalisation portant explicitement à la fois sur les connaissances mathématiques et les connaissances Euclide,
- par la réalisation de fiches aide-mémoire à la disposition des groupes pendant les séances,

Les problèmes n'étant pas pour autant résolus, la seconde année, nous y avons adjoint :

- un entraînement à interpréter les messages d'erreur pendant les synthèses de l'initiation,
- une limitation du langage ; ainsi nous n'avons pas introduit les instructions TR (triangle) et SG (segment), l'instruction LB (ligne brisée) permettant une gestion uniforme, et présentant moins de risque d'implicite mathématique que l'instruction segment. Nous avons aussi supprimé les instructions de marquage pour raccourcir les programmes et limiter les problèmes matériels liés à l'utilisation du crayon optique,
- la saisie de procédures écrites par les élèves pour réutilisation ultérieure.

Nous devons cependant convenir, et les données fournies le montrent sans ambiguïté, que nous n'en avons pas résolu pour autant de façon satisfaisante tous les problèmes d'accès au milieu.

Le travail de B. Grugeon, de son côté, tend à montrer que ces problèmes d'accès au milieu ne sont pas systématiquement résolus par l'utilisation de logiciels plus conviviaux comme le logiciel Le Géomètre. Ce logiciel ne pose pas les mêmes problèmes qu'Euclide, le travail s'y faisant notamment en mode direct avec une gestion convenable des erreurs. Il s'agit cependant d'un logiciel complexe et le travail en seconde a montré que, même avec des élèves ayant l'habitude d'utiliser des logiciels de mathématiques, les deux séances d'initiation organisées n'avaient par exemple pas permis à la majorité d'entre eux d'acquérir une familiarisation et une rapidité suffisante dans la gestion des menus déroulants pour assurer la centration du travail sur des questions mathématiques ou relevant d'une imbrication maths/info.

Pour terminer ce paragraphe, je voudrais souligner que les résultats obtenus dans la recherche Euclide mettent en évidence deux grandes catégories d'erreurs de syntaxe : les erreurs présentant une imbrication mathématique forte et à l'inverse celles présentant une imbrication mathématique faible, voire nulle. Ces deux types d'erreurs ne vivent pas de la même façon dans le système didactique : les premières sont naturellement enjeu d'enseignement donc objet d'attention, elles tendent à disparaître au cours du processus d'enseignement, montrant par là-même l'impact du travail

Euclide sur la formulation mathématique, les secondes résistent et réapparaissent alors même que l'on croît les avoir éradiquées. En fait, on peut faire l'hypothèse que les connaissances auxquelles elles correspondent sont vécues par les différents protagonistes, élèves et enseignant comme des connaissances hors-contrat, ne pouvant faire l'objet d'évaluation ou de sanctions. Ceci pose un réel problème, lié à celui du statut institutionnel de l'outil informatique, dans la mesure où, la recherche menée le montre clairement, l'efficacité de l'utilisation d'Euclide avec programmation par les élèves, passe par un apprentissage du milieu sous ses différents aspects, imbriqués aux mathématiques ou non.

### B - Environnement informatique et activité de l'élève

Les théories constructivistes de l'apprentissage ont pénétré le monde scolaire en valorisant l'image de la classe dite "active", une classe où l'enseignant est avant tout animateur, conseiller..., une classe où chacun est actif et travaille à son rythme. A première vue, c'est justement cette image valorisée que renvoie une séance de mathématiques où les élèves travaillent en petits groupes devant des consoles informatiques : l'ordinateur s'est substitué au professeur comme interlocuteur privilégié des élèves et comme intermédiaire entre eux et le savoir, le professeur, lui, circule de groupe en groupe, après avoir donné les consignes initiales, dépanne, conseille ; les élèves en petits groupes, sont actifs devant les machines, chaque groupe travaillant à son rythme. Ils reçoivent en permanence les feed-back qui doivent permettre un apprentissage par adaptation au milieu conforme à la théorie. Tout semble idéal... Mais que se passe-t-il réellement au delà de cette apparence :

- Quelles sont les mathématiques en jeu dans l'activité de l'élève devant la machine ?
- Quel rôle jouent les feed-back dans la régulation de cette activité ?

Il nous a semblé nécessaire d'essayer de cerner de plus près l'activité de l'élève, en essayant de préciser la part mathématique de cette activité. Les données obtenues montrent que l'image est assez distante de la réalité et qu'il est sans doute beaucoup moins facile qu'il n'y paraît à première vue, de faire vivre des activités riches mathématiquement, dans un environnement informatique comme celui envisagé ici. J'aborderai dans ce paragraphe trois points qui me semblent déterminants sur ce plan de l'activité de l'élève :

- les modifications du contrat didactique,
- les perturbations informatiques à l'activité mathématique,
- le problème de la décontextualisation des connaissances.

#### Les modifications du contrat didactique

La recherche menée amène à penser que l'environnement informatique modifie le contrat didactique, et ce indépendamment de toute intervention explicite de l'enseignant. En particulier, en environnement informatique, il semble plus facile à l'élève de jouer le rôle qui est attendu de lui si ce rôle est conçu comme un rôle de participation active car le champ des activités ouvertes déborde largement le champ des activités usuelles dans la classe de mathématiques (cf. le compte rendu du travail de Virginie pendant la séance d'évaluation : Virginie a été active pendant toute la séance, même si elle n'a pratiquement pas avancé dans la résolution du problème posé). De plus, l'analyse des protocoles le montre clairement, le jeu semble se renouveler sans cesse : les réponses du système, immédiates, variées, introduisent régulièrement de nouveaux problèmes, on ne voit pas le temps passer : on joue son rôle et on ne s'ennuie pas. Ceci est d'ailleurs conforme à la vision que, hors école, les jeux informatiques tendent à développer.

Il semble, et ceci confirme notre analyse, que les élèves faibles qui dans un environnement traditionnel ont justement du mal à jouer correctement leur rôle d'élève, apprécient plus que les autres cette modification. C'est peut-être une arme que l'on peut utiliser pour commencer à les réconcilier avec les mathématiques (et nous l'avons exploitée la première année avec la classe de niveau très faible) mais encore faut-il arriver à forcer cette activité à devenir suffisamment mathématique, par le choix des situations et leur mode de gestion, pour en retirer un profit sur le plan des connaissances mathématiques. Ceci ne va pas de soi.

En revanche, on trouve tout aussi régulièrement dans les classes quelques bons élèves qui, eux, se référant non à l'activité mais à la production tangible rejettent cet environnement informatique où ils ont l'impression de perdre leur temps dans tout un tas de tâches annexes, convaincus qu'ils sont que, dans le cadre de la pédagogie traditionnelle à laquelle ils sont bien adaptés, ils auraient pu apprendre bien davantage dans le même temps.

La modification du contrat didactique n'apparaît pas seulement liée à l'ouverture du champ des activités apportée par l'utilisation d'Euclide. Il ne s'agit d'ailleurs pas d'une simple ouverture. Elle s'accompagne d'une évolution dans la hiérarchie des valeurs attribuées à tel ou tel mode de résolution. Pour les dernières séances et l'évaluation, la classe a été partagée en deux groupes travaillant l'un en papier/crayon, l'autre devant l'ordinateur. Il semble bien que les élèves ne se faisaient pas la même idée de la résolution de la tâche et des moyens licites pour y parvenir, dans un environnement et dans l'autre, comme si, changeant d'environnement, ils changeaient de personnage. Les élèves travaillant en Euclide, en particulier, n'hésitaient pas à recourir au tâtonnement et lorsqu'ils avaient obtenu par tâtonnement un résultat qu'ils estimaient satisfaisant, considéraient avoir résolu le problème. Les élèves, travaillant en papier/crayon avaient davantage tendance à vouloir procéder de manière exacte et, même s'ils se résolvaient au tâtonnement, ils ne s'estimaient pas satisfaits. Ceci se trouve tout à fait confirmé par la recherche de B. Grugeon menée dans des conditions analogues, avec Le Géomètre cette fois. Tout se passe comme si le tâtonnement, en milieu informatique, était non seulement valorisé par le fait qu'il devient moins coûteux, plus efficace, mais aussi se trouvait anobli, médiatisé qu'il est par l'intervention du milieu informatique, donc faisant intervenir des instruments et des modes d'action plus élaborés que le tâtonnement en papier/crayon.

**Activités - Activités mathématiques**

Il nous a semblé qu'en ce qui concerne le niveau d'activité brut (c'est-à-dire sans mettre en jeu une analyse de l'activité du point de vue mathématique), un indicateur intéressant était l'indicateur "prise en compte des feed-back de la machine". Ce type d'indicateur a déjà été utilisé par d'autres chercheurs, par exemple (Hillel, Kieran, Gurtner, 1989). Au départ, nous avons remarqué que beaucoup d'élèves, dans les premières séances Logo, ne prenaient pas en compte les feed-back de la machine, en particulier lorsque la machine ne bloquait pas mais donnait une réponse contraire à leurs attentes. L'attitude spontanée dans ce cas consistait plutôt à recommencer rapidement autre chose sans essayer de tirer réellement parti de la production de l'ordinateur. Nous avons donc accordé pendant tout le temps du travail en environnement informatique une importance explicite à cette prise en compte des feed-back, à la fois dans le travail en groupes et dans les synthèses collectives.

Les données recueillies sur ce point ne sont pas encore complètement analysées mais semblent bien montrer qu'au moment où l'initiation Euclide commence, les élèves dans leur grande majorité se sont déjà habitués à essayer de prendre en compte les feed-back de la machine. Une différence sensible intervient cependant : du fait de la pauvreté de la syntaxe Logo et des tâches envisagées dans l'initiation à ce langage, les feed-back Logo relevaient le plus souvent d'une inadéquation entre la figure géométrique attendue et la figure qui apparaissait sur l'écran. Il s'agissait donc le plus souvent de feed-back pertinents mathématiquement, au moins potentiellement. L'analyse systématique des feed-back Euclide au cours des différentes séances montre que ce n'est plus vraiment le cas dans le travail avec Euclide. Ainsi G. Kargiotakis distingue dans son mémoire de DEA cinq catégories de feed-back. Il met bien en évidence le souci des élèves de les utiliser mais aussi les problèmes posés par leur interprétation vu la faiblesse d'Euclide au niveau des messages d'erreur et la difficulté de centration sur le problème mathématique à résoudre qui en résulte.

Ainsi, si la prise en compte de la variable "feed-back" permet de mieux cerner le niveau d'engagement de l'élève dans l'activité proposée et la distanciation qu'il est capable d'opérer par rapport à la simple action, au simple jeu avec la machine, elle ne suffit pas à nous renseigner sur son engagement mathématique. Le protocole de Virginie illustre bien ce fait et, de manière générale, les données recueillies montrent qu'il n'est pas facile de créer les conditions d'un engagement mathématique important et productif (ceci rejoint les conclusions de la recherche déjà citée de Hillel, Kieran et Gurtner, en dépit de conditions expérimentales sensiblement différentes).

Je voudrais pour contribuer à illustrer ce point donner, sans le commenter pour ne pas alourdir l'article, un exemple très différent du cas déjà cité de Virginie. Il s'agit du compte-rendu d'un travail de groupe, dans le groupe des trois garçons désignés respectivement par F., P. et O. (cf. Karatsivoulis, 1990). La séance choisie est la dernière avant l'évaluation. F. est chargé de la frappe, P. de la prise de notes et O. du contrôle. Les élèves ont à traiter le problème suivant :

> O *est le point de coordonnées* (0,0). (C) *est le cercle de centre* O *et de rayon* 40. *On cible un point* M *sur le cercle* (C). N *est un point du cercle* (C) *tel que l'angle* MON *mesure* 50°. (T) *est la tangente au cercle* (C) *en* M. L *est le point d'intersection de* (ON) *et de* (T).
> *Faire une procédure qui réalise cette construction. En utilisant plusieurs fois cette procédure sans effacer l'écran entre deux exécutions, trouver sur quelle "courbe" se déplace* L *quand* M *se déplace sur le cercle* (C). *Tracer cette courbe en rouge sur l'écran. Pourquoi l'obtient-on ?*

Le groupe commence à faire d'abord un dessin papier/crayon grossier (le fait de ne pas introduire cette seconde année les instructions de marquage a eu comme effet de favoriser cette attitude).

Puis F. commence à taper la procédure correspondante :
POUR FIG
Ils s'interrogent ensuite sur la façon d'introduire O :
F : Je mets PTXY avec quoi ?"
O : Mets SOIT
P : Non, tu mets DES" puis il réfléchit un moment
P : Laisse le SOIT et après tu mets DES :O
F : Après c'est CLCR"
Ils vérifient la syntaxe sur la fiche aide-mémoire et F tape ensuite :
SOIT "C1 CLCR :O 40
O : Il faut cibler sur le cercle. Tape CIBLESUR :C1 [M]
P : On fait ROT pour N ?"
La syntaxe de l'instruction est rappelée au tableau mais pas très clairement :
ROT point angle point
P : Le centre c'est le point O
O : Non
P : Mais oui
O : D'accord
P : SOIT "N ROT :O 40
O : A côté, ils ont rajouté M
P : Nous, on a mis N devant, c'est bon (s'adressant à F.) tape SOIT "P1 DRORT... non efface, on n'a pas défini la droite (OM).
En regardant le livret P. dicte :
SOIT "D1 DRPP :O :M
SOIT "P1 DRORT :D1 :M
SOIT "D2 DRPP :O :N
SOIT "L INTDD :D1 :D2 (erreur, L est l'intersection de P1 et de D2)
FIN
Ils font exécuter la procédure et obtiennent le message d'erreur :
Pas assez de données pour ROT
O : Bien sûr, on a oublié M
Ils éditent la procédure et P. corrige.
Nouvelle exécution et nouveau message d'erreur :
Dans FIG que faire de [ ]

Ils passent en édition et constatent qu'il y a des crochets inutiles après M. Correction et nouvelle exécution. Seul O est dessiné. Ils comprennent qu'ils ont oublié les instructions de dessin. Nouvelle édition. Ils rajoutent un DES pour chaque objet défini par SOIT. Nouvelle exécution.

O : Mais on veut le point L en rouge.

Ils cherchent l'instruction sur la couleur et rajoutent FCC1 à la fin de la procédure. La figure se trace comme la première fois. Ils vérifient que 1 est bien le code de la couleur rouge. Ils essaient encore DES :L FCC1 avant de mettre FCC1 avant le tracé de L. Exécution et c'est O qui apparaît en rouge. F. décide de suivre la procédure pas à pas et repère alors l'erreur dans la définition de L.

Edition encore une fois puis exécution. Tout va bien enfin. Seconde exécution sans effacer l'écran et tout se trace en rouge.

Correction pour aboutir enfin au programme définitif suivant :

```
POUR FIG
SOIT "O PTXY 0 0  DES :O
SOIT "C1 CLCR :O 40  DES :C1
CIBLESUR :C1 [M]
SOIT "N ROT :O 40 :M  DES :N
SOIT "D1 DRPP :O :M  DES :D1
SOIT "P1 DRORT :D1 :M  DES :P1
SOIT "D2 DRPP :O :N  DES :D2
FCC1
SOIT "L INTDD :D1 :D2  DES :L
FCC0
FIN
```

Après trois exécutions, ils conjecturent que le lieu de N est un cercle, de même centre, le fait que le point L soit d'une autre couleur que le reste des tracés leur permettant visiblement de faire abstraction de la complexité de la figure après ces trois exécutions. Pour le vérifier, ils font tracer le cercle de centre O passant par l'un des points L.

P : Bon, le cercle passe par les points.

Il ne reste plus que cinq minutes. Ils ne cherchent pas à aller plus avant et à chercher des raisons mais font tracer le cercle d'une autre couleur.

### Milieu et décontextualisation des connaissances

Nous voudrions, sur ce plan des activités, insister sur un dernier point : celui de la contextualisation des activités. Nous sommes tentés de faire l'hypothèse que les activités menées en milieu informatique risquent de souffrir plus encore que des activités plus traditionnelles d'une sur-contextualisation. D'une part, le milieu informatique est un milieu complexe et pesant et la distinction de ce qui est essentiel dans la masse de l'accessoire en sera d'autant plus difficile, d'autre part, la décontextualisation nécessite déjà le transfert dans un autre environnement, l'environnement du fonctionnement scolaire usuel des mathématiques.

Ceci doit particulièrement être objet d'attention quand on travaille avec des élèves en difficultés. Comme le montre M.J. Perrin (Perrin-Glorian, 1990), ces élèves ont sans doute plus que d'autres du mal à se dégager du contexte matériel d'une activité pour la situer dans un projet d'apprentissage plus général.

## C - Environnement informatique et pilotage de la classe

L'environnement informatique induit à ce niveau également des différences importantes et je reprendrai à ce sujet les différences identifiées dans le rapport intermédiaire déjà cité :

### Les difficultés de reprise en main de la classe

Comme nous l'avons déjà souligné, dans les situations du type de celles envisagées ici, l'enseignant n'est plus l'interlocuteur privilégié de l'élève dans ses relations avec les mathématiques. On l'appelle surtout en cas de panne, de blocage, mais chaque groupe vit à son rythme dans son univers propre. Toute irruption de l'enseignant dans cet univers, si elle n'est pas sollicitée, est vécue plutôt comme une intrusion. Il lui est de ce fait difficile de reprendre sa classe en main collectivement quand il en ressent le besoin comme il le fait dans une séance traditionnelle.

Comme nous l'écrivions dans le rapport :
"L'enseignant se trouve ainsi quasiment privé des modes d'action qu'il utilise habituellement, consciemment ou non, en temps réel, pour réduire les blocages, accélérer l'avancée du temps didactique, organiser la dévolution progressive des différentes activités prévues pendant la séance, essayer d'homogénéiser la classe et enfin gérer l'institutionnalisation."

Dans la recherche menée, nous avions pris en compte cette difficulté de reprise en main au niveau de l'institutionnalisation (cf. paragraphe II). Ceci est somme toute naturel : les travaux didactiques ont bien mis en évidence l'importance de ces phases et le fait que l'enseignant en est un acteur à part entière.

En revanche, nous n'avons pas anticipé les problèmes rencontrés au niveau du processus de dévolution. Je ne fais pas référence ici à la dévolution initiale de l'activité aux élèves, ni même à l'entretien de cette dévolution initiale mais à la négociation avec les élèves de l'évolution de cette dévolution au cours de l'activité. En effet, une séance d'enseignement au niveau du collège fait le plus souvent intervenir plusieurs niveaux d'activité et la transition de l'un à l'autre ne va pas de soi.

Par exemple, dans les situations expérimentées, le point de départ est souvent l'écriture par les élèves d'un programme de construction. Ce programme doit être ensuite exploité soit pour rechercher les invariants d'une configuration, soit pour réaliser une configuration particulière, soit pour identifier un lieu géométrique. Enfin, dans un troisième temps, on attend des élèves qu'ils se donnent les moyens par le biais du langage Euclide ou de méthodes plus classiques, de prouver, pragmatiquement au moins, les conjectures faites (cf. les textes de travail en groupe et d'évaluation précédemment cités). L'expérience a clairement montré qu'il ne suffit pas de proposer aux élèves une fiche de travail incluant ces diverses phases pour qu'ils s'engagent spontanément dans l'évolution de point de vue sur le problème qu'implique le changement de phase.

Dans une situation d'enseignement classique, l'enseignant, quand il estime que la classe est mûre pour un tel changement de niveau d'activité, reprend la main et en assure la négociation. Si seuls quelques élèves ont suffisamment avancé, mais s'il estime qu'il est néanmoins temps de passer à la suite, il s'appuie sur ces quelques réussites pour faire un bilan partiel et tenter d'homogénéiser la classe avant de passer à la phase suivante. Ceci s'est avéré pratiquement impossible dans les séances en salle informatique et, le plus souvent, au cours d'une même séance, la plupart des groupes en sont restés au niveau de la dévolution initiale, ne prenant pas réellement au sérieux les tâches suivantes proposées.

Pour l'enseignant donc, une situation d'enseignement en environnement informatique est une situation d'enseignement moins souple, moins contrôlable que les situations usuelles, une situation qui lui échappe plus facilement. C'est aussi une situation aussi où, vues ces contraintes, les difficultés rencontrées se font plus visibles, l'hétérogénéité des élèves plus flagrante, la lenteur du travail mathématique plus évidente. Et, même s'il est satisfait de l'image de classe active qui lui est renvoyée, l'enseignant ne peut s'empêcher généralement de ressentir, dans le même temps, une impression de moindre efficacité. De ce point de vue, une comparaison systématique entre le fonctionnement des séances de travail en groupes et celui des séances de synthèse collective qui les suivaient, l'image que s'en faisaient les acteurs du système, aurait été sans doute un élément précieux pour l'analyse.

### Les difficultés de prévision

Cette situation d'enseignement est à la fois moins malléable et moins prévisible. En effet, comme nous le soulignions dans le rapport déjà cité :

"L'enseignant expérimenté fonctionne, bâtit et gère ses séances en se basant sur un système de prévision, fortement implicite, issu de sa familiarité avec le système. Ces prévisions concernent les comportements attendus des élèves mais aussi la gestion du temps. Il est en particulier capable de préparer des situations d'enseignement gérables comme des unités pendant le temps alloué et permettant une réussite acceptable du groupe classe, dans le cadre des modes de gestion qu'il s'autorise. Dans des situations à support informatique, pour la majorité des enseignants, cette familiarité n'a pu encore se construire. Même si elles semblent proches, une tâche informatique et une tâche papier/crayon présentent des caractéristiques différentes, l'économie de leur résolution est souvent modifiée et il n'est pas évident d'inférer des comportements en environnement informatique de comportements dans un environnement traditionnel."

Au niveau du temps, la recherche montre par exemple une sous-estimation systématique dans les prévisions, liée à une sous-estimation systématique du temps passé dans la communication avec la machine.

En fait, l'enseignant est habitué à diriger sa classe surtout par un pilotage en temps réel, par les décisions qu'il prend pendant les séances d'enseignement. L'environnement informatique réduit les possibilités de ce pilotage en temps réel et lui impose d'anticiper davantage sa gestion. Et, dans le même temps, cette anticipation est rendue encore plus difficile car les modifications introduites tendent à disqualifier ses systèmes de prévision usuels.

## V - Conclusion

Nous ne voudrions pas que ce texte soit perçu de façon négative. Il est à notre avis par exemple positif pour l'enseignement que certains moyens de régulation, tentants parce que faciles à mettre en oeuvre et rassurants, soient mis en défaut dans un environnement informatique tel que celui que nous avons envisagé ici, obligeant l'enseignant à anticiper davantage son action, ou à avancer au rythme des élèves et non à celui qu'il est tenté de leur imposer. Il est aussi positif que l'enseignant échappe par moments à sa position d'unique intermédiaire entre les élèves et le savoir et puisse prendre une position d'observateur. De plus, même si la recherche a obligé à modérer les hypothèses initiales, elle a mis en évidence, comme nous l'avons souligné, les retombées positives de l'utilisation d'Euclide au niveau de la conception des objets géométriques et de la formulation. Elle a aussi montré le rôle que peut jouer un tel environnement dans le développement de systèmes de preuves pragmatiques antérieurs aux démonstrations classiques et à l'entrée des élèves par ce biais dans la rationalité mathématique.

Mais elle a aussi montré, il ne faut pas le nier, qu'une exploitation efficace d'un tel environnement informatique ne va pas de soi, qu'il importe d'être vigilant et de ne pas se laisser piéger par les apparences, que l'adaptation de l'enseignant ne peut être instantanée, qu'elle doit être soutenue par des formations adéquates.

Et je voudrais pour conclure insister sur le fait qu'une telle formation, si l'on accorde une certaine valeur aux analyses qui précèdent, ne peut se réduire à la familiarisation de l'enseignant avec l'objet ordinateur et à la présentation de logiciels, si performants soient-ils. Il faut également donner à l'enseignant les moyens d'identifier et de gérer le plus efficacement possible, les modifications inévitablement apportées par l'environnement informatique, l'aider à s'adapter à cet environnement en prenant en compte son fonctionnement global d'enseignant. Nous espérons que des travaux comme ceux que nous développons peuvent aider à mettre en place de telles formations.

## Remerciements

Je tiens à remercier ici les enseignants et étudiants de DEA qui ont participé à cette recherche et l'ont rendue possible : Jacqueline Belloc et Samuel Touaty d'une part, Georges Kargiotakis et Andreas Karatsivoulis d'autre part.

## Références

ARTIGUE M., BELLOC J. et TOUATY S. (1989) : Une recherche menée dans le cadre du projet Euclide, *Brochure N° 77, IREM Paris 7.*

BELLEMAIN F. (1989) : Le logiciel Cabri-Géomètre, un nouvel environnement pour l'enseignement de la géométrie, *Cahiers du Séminaire de didactique des mathématiques de Rennes, Année 1988-89, Ed. IREM de Rennes.*

BROUSSEAU G. (1986) : La théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques, *Thèse d'Etat, Université de Bordeaux I.*

BROUSSEAU G. (1989) : Le contrat didactique : le milieu, *Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol. 9.3, pp. 309-338.*

GRENIER D. (1988) : Construction et étude du fonctionnement d'un processus d'enseignement de la symétrie orthogonale en sixième, *Thèse, Université de Grenoble I.*

GRUGEON B. (1990) : Une expérience menée avec le logiciel "Le Géomètre", *Mémoire de stage de DEA, Université Paris 7.*

HILLEL J., KIERAN C., GURTNER J.L. (1989) : Solving structured tasks on the computer : the role of feed-back in generating strategies, *Educational Studies in mathematics, N°20 pp. 1-39.*

KARATSIVOULIS A. (1990) : L'enseignement de la géométrie en milieu informatique : le cas du logiciel "Euclide", *Mémoire de DEA, Université Paris 7.*

KARGIOTAKIS G. (1990) : L'exploitation du langage Euclide dans l'enseignement de la géométrie : problèmes posés par l'acquisition de la syntaxe, *Mémoire de DEA, Université Paris 7.*

PERRIN-GLORIAN M.J. (1990) : Réflexions sur le rôle du maître dans les situations didactiques à partir du cas de l'enseignement à des élèves en difficulté, *Actes du Congrès PME XIV, Oaxtepec, juillet 1990, Vol. II, pp. 209-218.*

FIGURE 2

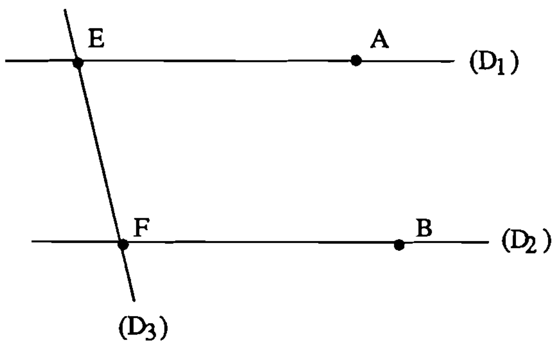
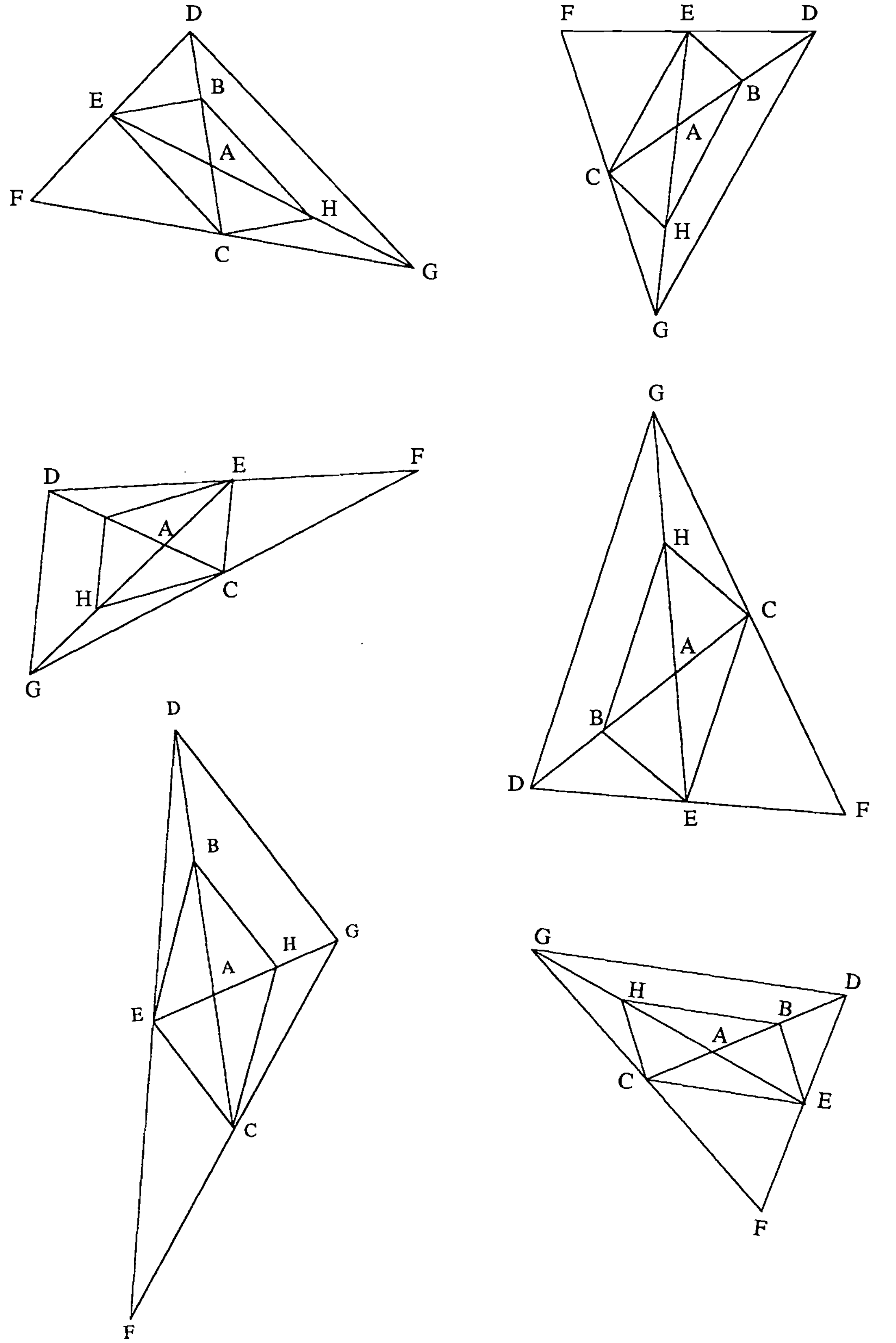


FIGURE 1




Choisir 3 points de départ. Ecrire un programme de construction des 5 autres points de la figure représentée par ces six dessins.
Ecrire une procédure Euclide qui corresponde à cette construction.