

FRANCK BELLEMAIN

**Un point de vue didactique sur la conception de micromondes
: le cas de Cabri-Géomètre**

Publications de l'Institut de recherche mathématiques de Rennes, 1993-1994, fascicule 3
« Fascicule de didactique des mathématiques », , exp. n° 4, p. 1-23

http://www.numdam.org/item?id=PSMIR_1993-1994__3_A4_0

© Département de mathématiques et informatique, université de Rennes,
1993-1994, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la série « Publications mathématiques et informatiques de Rennes » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

Un point de vue didactique sur la conception de micromondes : le cas de Cabri-Géomètre

Franck BELLEMAIN

Equipe DIDATECH , I.M.A.G. — 38000 GRENOBLE

Les micromondes sont, depuis maintenant longtemps, l'objet d'un grand intérêt de la part des enseignants. Ils font partie des outils informatiques les plus utilisés dans les classes. Cet intérêt a commencé avec Logo, précurseur parmi les micromondes, qui est encore aujourd'hui l'environnement d'EAO le plus connu dans l'enseignement. Cet intérêt se poursuit comme en témoigne le succès qu'on connu il y a peu Euclide (Allard et Pascal, 1986), et que connaissent les tableurs, Geoplan, Geometer's sketchpad (aux Etats-unis), sans oublier Cabri-géomètre.

Bien qu'étant plutôt un concept d'informaticien, pour de multiples raisons, les recherches en didactique se sont intéressées depuis quelques temps à ces environnements. Tout d'abord, pour ne pas rester en marge d'une évolution de l'enseignement dans lequel l'informatique prend une place de plus en plus grande, mais aussi parce que l'étude et la mise en œuvre des situations mettant en jeu un micromonde offre un grand nombre d'éléments favorisant une avancée de la théorie didactique. Ainsi, plusieurs travaux s'orientent vers la caractérisation des situations d'enseignement s'appuyant sur l'utilisation d'un micromonde (Artigue, 1991, Laborde et Capponi, 1994).

Au sein de ces recherches, il y a celles que nous avons eu la chance, par la multidisciplinarité des membres de son équipe, de pouvoir entreprendre à Grenoble. L'un des buts que nous poursuivons est ainsi d'utiliser les observations de l'utilisation de Cabri-géomètre par des élèves, ou d'autres catégories d'utilisateurs, non seulement pour l'avancée des travaux didactiques, mais aussi pour orienter notre caractérisation du logiciel. Nous nous sommes engagés dans une étude systématique de l'utilisation des micromondes, non pas seulement pour en exploiter les possibilités, mais aussi pour mieux orienter le *design* des micromondes futurs.

Au travers des observations que nous avons pu entreprendre, comme au travers de la lecture de travaux d'ergonomes (Nanard, 1990), et grâce à l'évolution technique, de nouveaux concepts, là encore issus des recherches en informatique, apparaissent comme nécessaires à la définition de l'interface de communication avec un micromonde éducatif, il s'agit de la manipulation directe et de l'engagement direct.

C'est quelques éléments de cette évolution dans la caractérisation didactique de Cabri-géomètre que nous allons présenter aujourd'hui.

I Les micromondes

Selon une définition acceptable aujourd'hui, les micromondes sont constitués d'un ensemble :

- *d'objets et de relations,*
- *d'opérateurs opérant sur ces objets, en modifiant les relations et en créant des nouveaux objets.*

(Laborde C. et Laborde J.M., 1991a)

Le micromonde se comporte comme un modèle possédant des éléments et des relations de base qui peuvent être combinés à l'aide d'opérateurs pour produire de nouveaux objets (ibid.). Il propose aussi une *matérialisation* (ibid.) de ces éléments constitutifs pour en permettre l'exploration, le dégagement de conjectures et leur vérification pragmatique.

Les micromondes ainsi définis constituent un univers assez vaste, comprenant des langages de commande ou de programmation et une multitude de logiciels comme les tableurs, les bases des données, les traitements de texte et divers logiciels plus particulièrement destinés à l'éducation. Par ailleurs, un module de type micromonde peut constituer le noyau d'un système plus complexe, intégrant notamment des modules intelligents (Baulac et Giorgiutti, 1991, Laborde C. et Laborde J.M., 1991b)

Si l'on se pose la question de savoir comment s'intègre un tel environnement au système didactique, intégration dont les choix possibles peuvent être schématisés dans la figure suivante (Bellemain, 1992), nous verrons que c'est essentiellement en tant qu'élément du milieu¹ qu'intervient le micromonde :

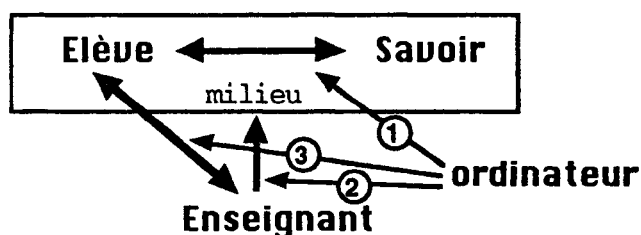


Figure 1

- ① : L'ordinateur, élément du milieu.
- ② : L'ordinateur participe à l'organisation du milieu.
- ③ : L'ordinateur participe à l'évaluation des activités de l'élève ou à l'institutionnalisation de nouvelles connaissances.

1 : C'est par le milieu que se médiatise le rapport au savoir et, ..., 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 (Artigue, 1991, p.11).

En effet, de part ses objets, ses opérateurs, ses contraintes, le micromonde peut jouer le rôle de médiateur entre l'élève et les éléments abstraits qu'il matérialise au même titre que peuvent le faire les représentations que manipule l'élève, au même titre que l'espace et plus généralement l'environnement auquel le sujet doit s'adapter. La confrontation et l'adaptation de l'élève aux spécificités du micromonde est facteur d'apprentissage.

L'intérêt que présente l'intervention de l'ordinateur dans le système, au travers des micromondes, est qu'il permet de modéliser le milieu et d'avoir sur celui-ci une plus grande possibilité de modification. Il permet aussi l'introduction d'outils et de représentations nouvelles qui permettent de placer l'élève dans des cadres de résolutions de problèmes relativement inédits.

Relativement à cette première approche didactique des micromondes, de nombreuses hypothèses sur les situations dans lesquelles apparaissent les micromondes sont formulées. Artigue (1991, p.6-7) exprime à propos d'Euclide (Allard et Pascal, 1986) :

- *Euclide peut aider à la conceptualisation en géométrie ...*
- *Euclide peut aider à approcher dès ce niveau des situations plus complexes et permettre d'engager les élèves dans une démarche expérimentale ...*
- *Euclide peut aider les élèves à entrer dans la rationalité mathématique ...*

L'utilisation d'un micromonde semble très adaptée à un apprentissage basé sur l'interaction de l'élève avec un milieu. Il facilite l'exploration, une recherche par tâtonnement et essais successifs. Cependant, dans la pratique de l'enseignement, il apparaît très rapidement que l'introduction d'un micromonde dans une situation d'apprentissage ne suffit pas à ce que soient toutes réunies les conditions pour qu'effectivement un apprentissage mathématiques se fasse. En particulier, les représentations des notions mathématiques et les opérateurs embarqués dans le micromonde ainsi que l'interface qui en permet la manipulation ont un rôle central dans les connaissances que construiront les élèves de ces notions. De plus les situations dans lesquelles le micromonde sera utilisées doivent avoir des caractéristiques particulières.

L'un des aspects que nous avons voulu aborder dans nos recherches est celui qui concerne la définition même du micromonde et de l'interaction qu'il permet entre l'élève et l'ordinateur. A ce propos, nous avons vu la nécessité d'utiliser et d'adapter des concepts d'interface modernes parce que nous semblant mieux adapté que la formulation de commandes : la manipulation directe et l'engagement direct.

Le deuxième aspect est celui qui concerne les caractéristiques des situations d'enseignement dans lesquelles intervient un micromonde.

II La géométrie : de formes vers des configurations

L'étude du processus de mathématisation ayant permis l'émergence de la géométrie, à partir de l'exploration de l'espace physique et des dessins, et pouvant permettre l'évolution des connaissances de l'élève, est un travail complexe. Aussi, liant l'évolution des connaissances en géométrie à l'évolution de la construction d'une signification des dessins, nous nous sommes restreint à la recherche d'une caractérisation de cette construction et en particulier des étapes significatives qui la constituent.

Pour synthétiser les travaux existant (Duval, 1988, Parzysz, 1988, Arsac, 1989) et les compléter de notre caractérisation de l'appréhension des dessins par le sujet, nous avons décrit cette appréhension comme liée à une classification des dessins et considéré deux classifications : la première consiste à organiser les dessins à partir de caractéristiques graphiques communes. Dans ce cas, l'objet graphique est le point de départ de l'abstraction et de la construction de sa signification. Le deuxième consiste à décrire les dessins à partir des éléments fournis par un modèle (celui de la géométrie euclidienne, en particulier). Dans ce cas, c'est au contraire le formalisme qui permet de caractériser l'objet graphique.

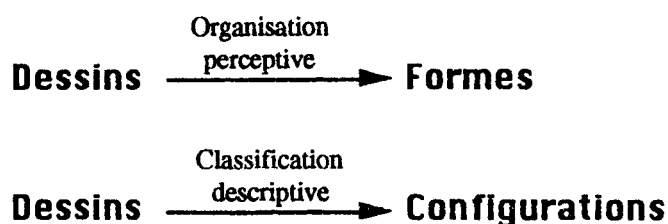


Figure 2

a- La notion de forme

La notion de forme opère dans la reconnaissance de formes qui constituent un outil privilégié de mise en évidence grâce au dessin de propriétés géométriques. Nous dirons qu'un sujet reconnaît une forme dans un dessin lorsqu'il repère qu'une partie du dessin ou le dessin lui-même est de cette forme.

La notion de forme possède une dimension perceptive et intuitive importante et la reconnaissance de formes s'associe à une organisation de la part du sujet de la perception. Nous donnons une deuxième dimension à cette organisation. Ainsi, en plus de sa dimension perceptive évidente, elle possède également une dimension socio-culturelle.

Dimension perceptive :

Nous abordons partiellement la notion de forme du point de vue des psychologues ayant élaboré la théorie de la Gestalt. Les formes de dessins sont ainsi définissables comme étant *des unités perceptives qui s'imposent à la conscience* (Sillamy, 1983) et ceci indépendamment de leur organisation en éléments simples de type mathématique. Les

psychologues, adoptant cette approche, insistent ainsi sur l'aspect global de cette perception. On peut ainsi reconnaître une forme carrée, une forme circulaire.

Dimension culturelle et sociale :

Il existe des formes reconnaissables du point de vue perceptif, cette reconnaissance a aussi une dimension culturelle. Une forme est ainsi reconnue parce qu'elle fait partie d'un acquis culturel et qu'elle a déjà été identifiée auparavant,

- soit parce que cette reconnaissance a été l'objet d'un apprentissage, notamment d'un apprentissage mathématique,
- soit parce que cette reconnaissance a été nécessaire à la résolution d'un problème.

Les dessins peuvent ainsi être reconnus comme étant de telle ou telle forme indépendamment de caractéristiques particulières graphiques : épaisseur, couleur des traits, etc... par une convention socialement établie.

Les formes apparaissent comme des classes de dessins possédant des propriétés et des caractéristiques graphiques communes qui interviennent implicitement dans la reconnaissance de formes. Parmi ces propriétés, certaines sont ce que le mathématicien reconnaît comme des propriétés géométriques. D'autres critères intervenant dans la reconnaissance de formes ne sont par contre pas identifiables comme des propriétés géométriques. C'est ainsi qu'un carré posé sur la pointe peut ne pas être reconnu comme appartenant à la forme «carré». Cette forme peut être caractérisée comme regroupant l'ensemble des dessins représentant un quadrilatère ayant des côtés consécutifs égaux et perpendiculaires (caractérisation géométrique) et parallèles aux bord de la feuille de dessin (caractéristique non géométrique).

b- La notion de configuration

La notion de configuration est une abstraction dans laquelle les dessins géométriques sont abordées d'une manière analytique à partir de l'axiomatique de la géométrie euclidienne. Une configuration est associée à une description à l'aide de primitives de la géométrie euclidienne et caractérise l'ensemble des dessins qui peuvent être élaborés à partir de ces primitives. L'ensemble des dessins qui satisfont aux données d'un énoncé définissent une configuration.

Toutes les propriétés déductibles des données de l'énoncé en sont des propriétés, c'est-à-dire qu'elles sont vraies pour tous les dessins qui la composent. A l'inverse, si tous les dessins possèdent une propriété, celle-ci est en général déductible des données caractérisant la configuration.

La reconnaissance de formes constitue un moyen, dans l'observation des configurations, de mise en évidence de propriétés géométriques. Dans cette reconnaissance de

forme, nous avons constaté, parce que les formes elle-même ont des caractéristiques implicites, que, tant dans l'élaboration d'un dessin que dans son exploration, des propriétés implicites peuvent intervenir. Ainsi, l'un des rôles de la mathématisation peut consister en l'élargissement des formes aux configurations. Cet élargissement peut notamment s'appuyer sur la généralisation des énoncés concernant les dessins géométriques pour qu'ils concernent des configurations et sur l'explicitation des propriétés implicites pouvant intervenir dans la reconnaissance de forme.

Les conditions qui favorisent cette évolution et l'accès de l'élève à la notion de configuration semblent difficiles à trouver et réunir. Il s'agit notamment de trouver les conditions qui favorisent le passage d'une organisation perceptive à une classification descriptive des dessins. Si l'on se réfère à l'évolution historique ou à la démarche du chercheur, on observe que l'un des moteurs de l'évolution est la résolution de problèmes. Un autre facteur semblant avoir favoriser cette évolution est issu d'une volonté d'abstraction, d'idéalisation du réel que l'on trouve chez le mathématicien. Ce point de vue est notamment exprimé par Dieudonné.

Dans l'enseignement, il est difficile de recréer de telles conditions d'autant que la problématique de l'élève, lorsqu'il aborde une situation, n'est pas la même que celle du mathématicien. Aussi, voyons nous dans l'enseignement séparé le dessin, objet de l'observation et de la reconnaissance de forme, du dessin et de la configuration qui lui est associée sur lesquels portent les raisonnements. Le passage de l'un à l'autre chez l'élève est rendu nécessaire par le changement dans les exigences et les attentes de l'enseignant. Ce dernier rejettera par exemple un dessin correct produit par l'élève parce que la méthode de construction qui a permis son obtention n'est pas correcte, parce que la configuration dont le dessin est issu n'est pas celle attendue. Il est aussi souvent supposé que l'élève peut reconnaître qu'une classe de dessins possède une propriété par la seule observation de dessins, éléments de cette classe. Implicitement, on suppose que l'élève est dans une problématique de la géométrie qui le conduit «naturellement» à décrire les dessins comme les représentations d'objets géométriques.

L'ordinateur peut participer activement pour favoriser l'évolution des connaissances géométriques de l'élève, et cela en reprenant des éléments proposés par la didactique. Un tel environnement doit permettre de transformer les exigences implicites liées à un contrat didactique spécifique en la nécessité, pour la résolution d'une situation problématique, d'adaptation à un milieu. C'est ainsi qu'est né et peut se justifier la réalisation de Cabri-géomètre.

III Observations d'expérimentations

Cabri-géomètre permet d'expliciter les attentes et les exigences de l'enseignant par rapport aux productions des élèves. Cela facilite en particulier l'engagement de l'élève dans la situation qui a non seulement accès aux conditions d'élaboration des constructions géométriques, mais aussi aux conditions de leur validation. Même s'il faut se méfier de l'illusion produite par des élèves actifs que l'on croit construire des connaissances, le processus de dévolution du problème à l'élève est donc facilité. Nous avons pu notamment constater qu'un élève, ayant de mauvais résultats en mathématiques, sentant qu'il avait les moyens de résoudre un problème sacrifier la pause pour parvenir à la solution.

Il y a également avec cet environnement, qui permet de tester le caractère général d'une construction, la possibilité de poser des problèmes nouveaux qui conduiront à l'explicitation de certains implicites d'une construction géométriques, qu'une géométrie statique ne pourra faire expliciter.

La question du transfert des connaissances acquises avec un environnement informatique, et en particulier Cabri-géomètre, se pose. Il reste ainsi nécessaire d'aménager des situations favorisant ce transfert notamment par le changement d'environnements pour la résolution de problèmes. Nous avons aussi l'occasion avec le passage de l'environnement informatique à l'environnement papier-crayon et inversement de pouvoir mesurer l'influence de l'environnement sur la contextualisation des connaissances.

La contextualisation des connaissances acquises avec Cabri-géomètre est due à «la distance» entre cet environnement et l'environnement papier-crayon. C'est en particulier par le fait qu'il permet de créer un milieu composé d'instruments spécifiques et parfois restreints qu'il semble le plus rendre contextualisées les connaissances qu'il permet aux élèves d'acquérir. Les raisons sont notamment dues à ce que :

- les instruments proposés ne sont pas toujours disponibles dans d'autres environnements. Plus généralement, certains savoir-faire mis en œuvre avec l'ordinateur ne peuvent pas être transférés directement dans d'autres environnements.
- l'ordinateur introduit la nécessité d'une communication par l'intermédiaire de commandes qui donnent un caractère générique aux notions manipulées et peut en modifier la nature du point de vue des élèves.
- l'ordinateur introduit des contraintes qui empêchent les élèves de mettre en œuvre certaines stratégies.

Plus particulièrement, au travers des expérimentations que nous avons pu entreprendre avec la première version de Cabri-géomètre, nous avons observé que :

- certains implicites, notamment liés à des connaissances de formes géométriques, intervenant dans la construction par l'élève de dessins dans l'environnement papier-crayon

ne peuvent pas intervenir de la même façon avec Cabri-géomètre. Par exemple, dans la construction de dessins symétriques dans l'environnement papier-crayon, le report horizontal ou vertical peuvent être utilisés (Figure 3). Une telle procédure apparaît beaucoup plus difficilement avec Cabri-géomètre car ce dernier nécessite que soient explicités par une construction ces implicites pour qu'il soient conservés au cours de déplacements d'éléments du dessin. La caractéristique «horizontale» ou «verticale» ou plus généralement la direction d'une droite n'est pas une donnée géométrique conservée par le logiciel lors du déplacement de la droite, contrairement ce que pourrait être l'intention de l'utilisateur.

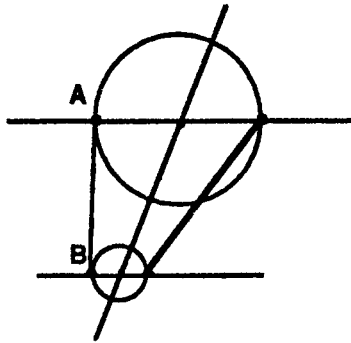


Figure 3

Dans cette construction, le report horizontal est utilisé. Les cercles centrés aux points d'intersections des droites horizontales et de l'axe permettent de reporter les longueurs. Aussi lorsque l'un des points du segment initial [AB] est déplacé, le point qui est considéré comme son symétrique se déplace également. Cette construction, si lors de déplacements aucun "monstre" n'est rencontré, peut être considérée comme répondant au problème.

- Le caractère spécifique par rapport à l'environnement papier-crayon de certaines commandes du logiciel ont été interprétées par élèves d'une manière assez inattendue. C'est le cas de deux commandes du logiciel (point sur objet et intersection de deux objets) qui permettent de marquer un point sur un objet ou à l'intersection de deux objets. A l'origine, elles avaient été mise en place pour nécessiter l'explicitation, de la part des élèves, de la construction de ces points pour qu'ils soient effectivement reconnus comme tel par le logiciel.

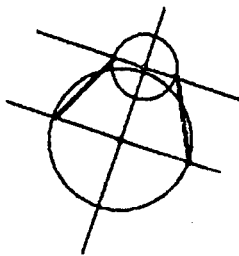


Figure 4

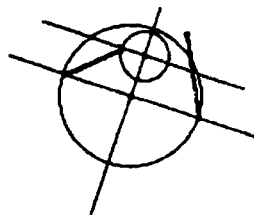


Figure 5

Dans le cas de la construction du symétrique d'un segment par rapport à un axe, lorsque les extrémités du segment image sont simplement posées à l'intersection des cercles et des droites (Figure 4), ce segment n'est pas modifié au cours du déplacement (Figure 5).

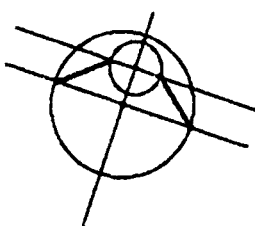


Figure 6

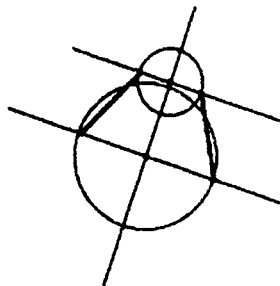


Figure 7

Ce n'est plus le cas lorsque les extrémités du segment ont été construites comme intersection des cercles et droites (Figure 6 et 7).

La signification que les élèves ont donné aux commandes de construction de l'intersection de deux objets n'ont pas toujours été conforme à ce que signifie ces commandes réellement.

Ainsi, certains élèves semblent également avoir construit un modèle mécanique du fonctionnement du logiciel Cabri-géomètre en associant dans certains cas les objets de l'écran à des représentations de solides. Certains élèves ont alors interprété la fonctionnalité d'intersection comme une liaison mécanique entre deux objets, le point d'intersection étant considéré comme une attache.

Les élèves ont généralement abordé la fonctionnalité «intersection de deux objets» comme étant une contrainte spécifique au logiciel. Cette situation augmente le caractère particulier de Cabri-géomètre par rapport à l'environnement papier-crayon et peut poser problème quant au transfert de connaissances entre les deux environnements.

IV Manipulation directe et engagement direct dans Cabrill

Dans l'écriture d'une version renouvelée du logiciel, pour tenir compte de l'ensemble des observations et remarques relatives à la version initiale et pour essayer d'éclaircir le *rapport plus ou moins net au concept de manipulation directe* (Laborde C. et Laborde J.M., 1991a) des micromondes, nous nous sommes engagés dans une implémentation plus approfondie des principes de manipulation directe et d'engagement direct.

La notion de manipulation directe est apparue progressivement avec l'introduction des interfaces graphiques de Rank Xerox. Elle est associée dans le milieu informatique à la notion de *métaphore* (ibid.). Par ces deux idées, les ergonomes ont cherché à représenter des notions informatiques et à permettre la manipulation physique de ces représentations à l'écran de l'ordinateur par l'intermédiaire de la souris graphique. Les premières définitions (Schneiderman B., 1982, Smith D.C. et al., 1982) mettent l'accent surtout sur «l'immédiateté» de la manipulation directe, les opérateurs et les objets sont symbolisés par des icônes plutôt que par des commandes écrites. Des travaux plus récents exigent en plus de la manipulation directe, *l'engagement direct*. Par cette idée, il ne s'agit plus seulement pour l'utilisateur de choisir des objets et des opérateurs par leur représentation, mais aussi de pouvoir effectuer directement sur ces objets un certain nombre d'actions (déplacement d'un fichier, ...).

Nous nous sommes donc appuyées sur les définitions formulées par Nanard (1990) des concepts de manipulation et engagement direct :

DEF1 : Une interface est à manipulation directe si l'utilisateur a l'impression d'agir directement sur les objets intervenant dans ses buts et intentions en manipulant les objets du système.

DEF2 : L'impression d'engagement direct correspond à ce que l'utilisateur ressent lorsqu'il peut agir directement et librement sur les représentations des objets de son propre monde et percevoir de façon immédiate leurs réactions.

De notre point de vue, dans le cas de la conception de logiciels pour l'enseignement, la manipulation directe permet de poser le problème de la communication avec l'ordinateur à un autre niveau que celui de la formulation de commandes qui a été jusqu'à présent le plus employé. Elle permet notamment de réduire les contraintes liées à la formulation : syntaxe, explicitation de certains implicites parfois difficile, bon niveau de compétence dans la manipulation du langage. La manipulation directe et l'engagement direct permettent plutôt de situer la communication avec l'ordinateur au niveau de l'action.

Les réponses de l'ordinateur à des formulations d'un élève peuvent porter sur des problèmes syntaxiques spécifiques du langage ou des aspects formels n'ayant pas toujours du sens pour lui. Lorsqu'elles répondent à ses actions, elles se manifestent au niveau de la matérialisation des objets, matérialisation qui lui sont accessibles. Par ces manifestations, les actions et les manipulations de l'élève peuvent être soumises à des validations pragmatiques.

La manipulation directe peut donc faciliter l'exploration de la matérialisation d'un modèle mathématique dans le cadre d'un micromonde et, par l'observation des réponses de cet environnement aux activations de l'élève, la construction de connaissances relatives à ce modèle mathématique. L'élève a ainsi, de la part du milieu, des réponses à ces actions qui le conduisent à adapter ces démarches ou à les reprendre :

Les rétroactions du milieu apparaissent comme objectivement liées à la situation à l'élève et sont moteurs de la poursuite d'une recherche d'une solution plus satisfaisante.

(Capponi et Laborde, 1991, p.221)

Nous faisons l'hypothèse que par la manipulation directe, ce sont plutôt les rétroactions de l'environnement, apparaissant dans les différents dessins parcourus au cours de déplacements d'objets, que les contraintes qui doivent favoriser chez les élèves l'adaptation de ses démarches de résolution et l'explicitation de propriétés géométriques des dessins.

Nous nous sommes donc efforcés d'accorder la plus grande place à la manipulation directe dans les actions nécessaires à la construction et l'exploration de dessins géométriques.

Le but poursuivi est de permettre à l'élève :

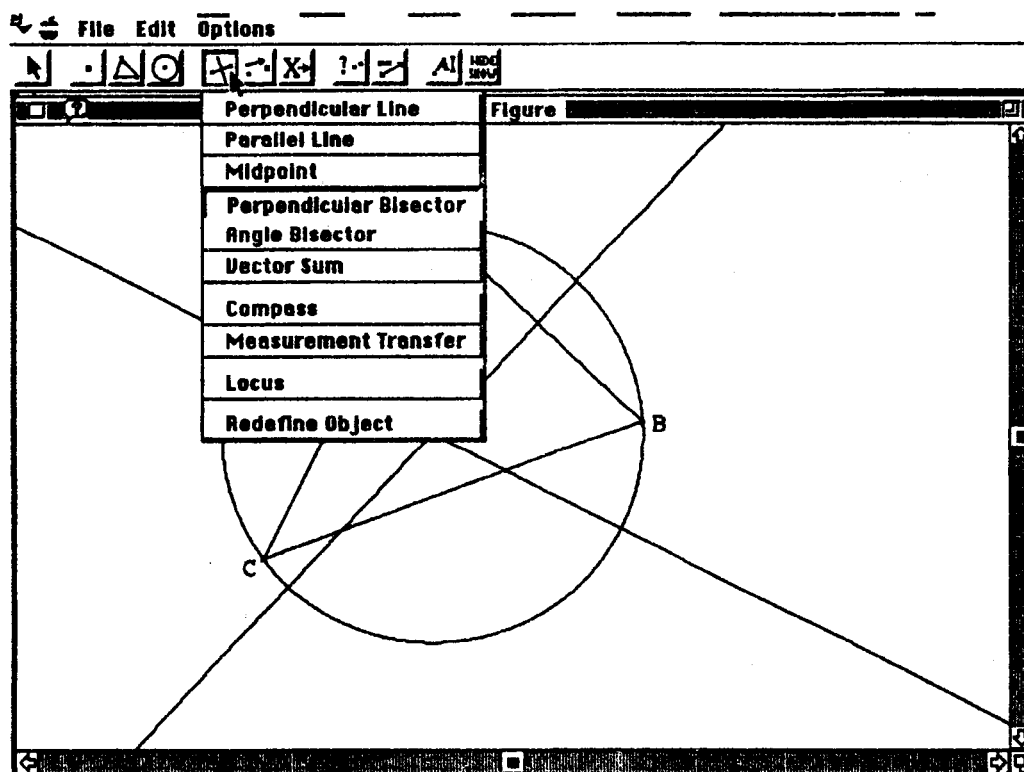
- de décrire des configurations par la construction de dessins sans que ces constructions soient complètement explicitées. Dans ces constructions, l'élève peut notamment implicitement chercher à reproduire des formes géométriques.
- et de pouvoir explorer ces configurations pour en observer les caractéristiques et éventuellement revenir sur ses descriptions et expliciter les caractéristiques géométriques des formes qu'il y a pu implicitement utiliser.

V En guise de conclusion : Quelques éléments sur Cabrill

a- Les 3 nouveautés les plus visibles

Une barre de menu «icotextuelle»

Ce qui frappe le plus est sans doute la nouvelle barre de menu. Elle associe dans un nouveau concept les avantages d'une barre d'outils (comme dans WORD, EXCEL, etc.) et les avantages des menus textuels, plus classiques mais qui contribuent à l'expression verbale indispensable dans un contexte d'enseignement.



Un instantané de l'interface "icotextuelle" de Cabri-géomètre II.

Des boutons permettent de changer d'outils.

L'ensemble des outils d'un même type apparaît lorsque l'on presse l'outil un peu plus longtemps, ce qui fait se dérouler un menu.

Figure 8

De nouveaux objets géométriques disponibles

La deuxième nouveauté très visible vient des nombreux nouveaux objets géométriques que Cabri-géomètre II permet de construire et de manipuler les arcs de cercle, les 1/2 droites, les polygones, les coniques, etc.

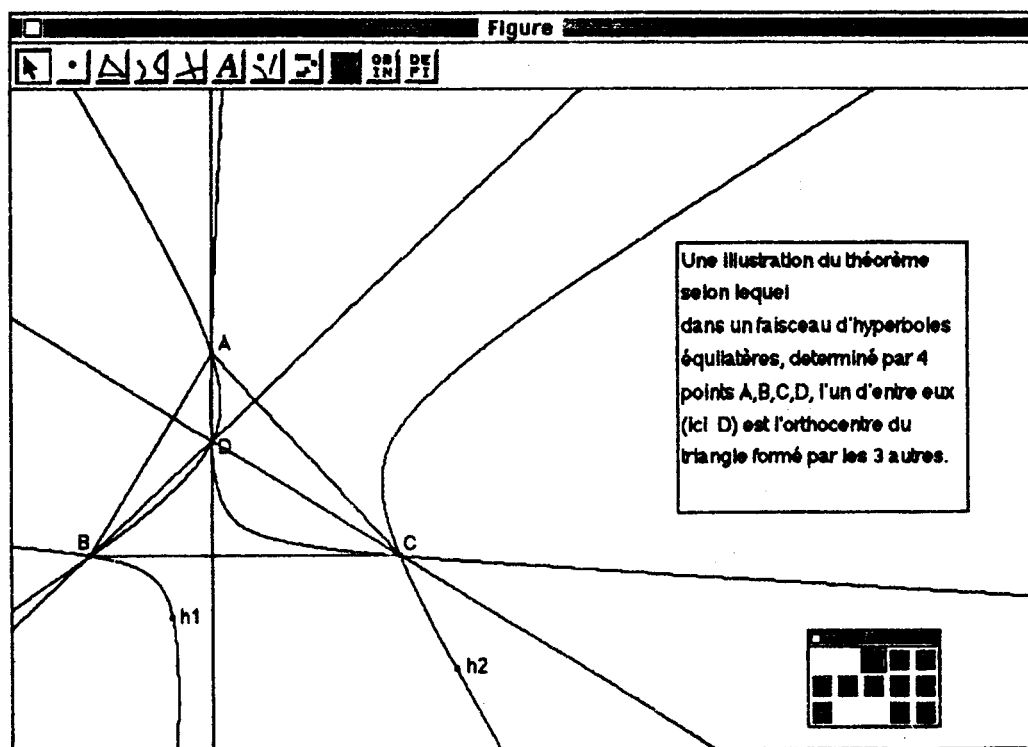


Figure 9

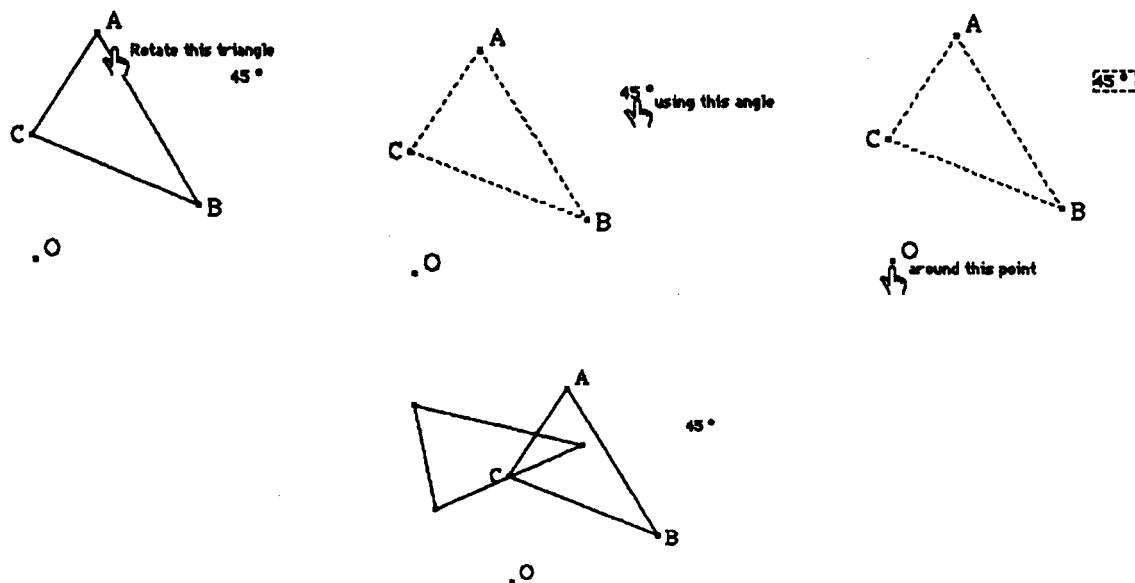
Un nouveau moteur graphique

L'implémentation graphique recourt de plus à une nouvelle technique d'informatique graphique que nous avons spécialement développée. Celle-ci assure à la fois des performances (vitesse de tracé) très grandes alliées à l'absence complète de scintillement ou d'effacement partiel d'objets lors de leur déplacement. Il s'agit d'une technique différente des simples «offscreen» auxquels recourent certains logiciels au détriment de la vitesse et donc de l'impression de coulée lors des déplacements d'objets.

b- Quelques aspects de la manipulation directe et de l'engagement direct

L'immédiateté

Lorsque l'élève entreprenant une action, un texte attendant au pointeur donne immédiatement des informations sur cette action :



Lors de la construction de l'image d'un triangle dans une rotation, le curseur, selon l'objet que l'on montre, précise s'il s'agit de l'objet qui va être transformé, de l'angle de la rotation ou du centre de la rotation².

Figure 10

Contrairement à la version initiale, CabriII n'exige pas de la part de l'élève de donner les arguments d'une construction dans un ordre donné lorsque cela ne s'impose pas. Dans la construction donnée en exemple, l'élève pourra fournir les arguments dans un ordre indifférent, et, dans tous les cas, CabriII l'informe sur l'interprétation qu'il fera de l'action. En particulier, si le premier argument donné par l'utilisateur est un point, il sera l'objet transformé ce que le logiciel aura interprété par «Rotate this point».

Toujours dans l'idée d'immédiateté, les rétroactions de l'environnement aux actions sont continues et les réponses «en temps réel» des actions de l'élève. Lorsque celui-ci représente un objet de base (segment, droite, demi-droite, triangle, polygone, cercle, arc, conique), il a constamment à l'écran une représentation de l'objet qu'il construit basée sur les arguments déjà fournis et la position courante du pointeur. Par exemple, lorsqu'il construit un triangle, l'élève voit un triangle dont les sommets sont pris parmi les points déjà proposés par l'élève et la position du pointeur :

² : Je vous prie d'excuser les termes anglais dans les figures proposées en exemple, mais la version anglaise de CabriII est la seule disponible actuellement. Par ailleurs, il est bien plus rapide d'écrire «Rotate this triangle» que «Construire l'image par une rotation de ce triangle».

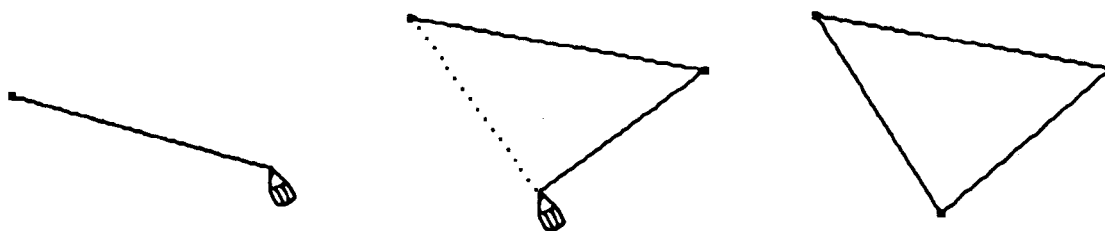


Figure 11

C'est également lorsqu'il déplace des objets à l'écran, que l'élève voit représenté en continu (sans scintillement ou autre effet graphique perturbateur grâce au nouveau moteur graphique) le nouveau dessin correspondant à la nouvelle position des objets.

L'engagement direct

Lors du déplacement d'objet, CabriII, par rapport à la version initiale qui permettait essentiellement la manipulation de points, Cabri donne plus l'impression à l'élève de manipuler en fonction de ses intentions. Il permettra par exemple aussi bien le déplacement de l'un des sommets d'un triangle que le déplacement global du triangle.

Lors de la construction d'un objet, les points d'un objet et les points d'intersection peuvent être utilisés sans avoir été au préalable construits. Par exemple, pour la construction de l'un des sommets d'un triangle, lorsque l'utilisateur approche le pointeur d'un objet ou de l'endroit où se coupent deux objets, CabriII interprète qu'il veut utiliser un point de cet objet ou le point d'intersection des deux objets :

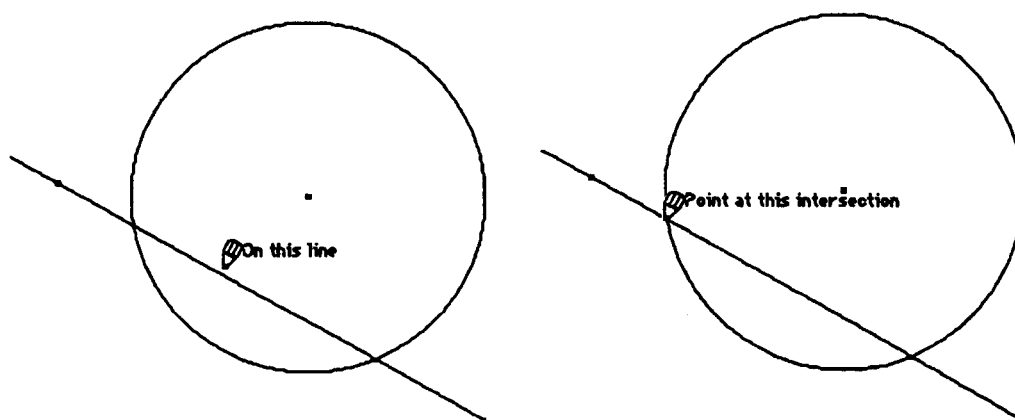


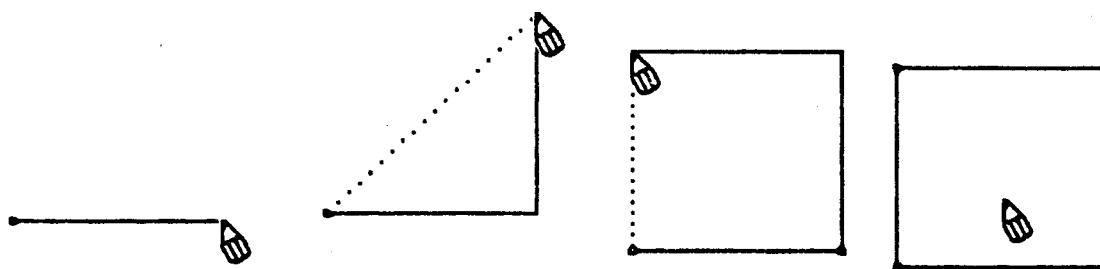
Figure 12

Au travers de cet exemple, c'est la prise en compte des intentions de l'élève qui est mise en œuvre par le logiciel. Par ailleurs, dans le cas de l'intersection de deux objets, lorsque mathématiquement plusieurs points d'intersection existent, ce sera celui désigné par l'élève qui sera pris en compte et non pas, par les hasards du calcul, l'autre point.

c- Conséquences les formes et les implicites dans CabriII

Prise en compte de formes

Les formes peuvent intervenir dans la construction des objets géométriques avec CabriII par le fait de l'immédiateté des rétroactions de l'environnement. L'élève peut par exemple, beaucoup plus facilement que dans la version précédente, construire un carré par le tâtonnement :



Étapes de la construction d'un tel carré.

Figure 13

De telles formes peuvent être conservées au cours de déplacements et sont ainsi en partie reconnues par CabriII. Le carré précédent peut être déplacé globalement.

Prise en compte d'implicites

Nous l'avons vu, CabriII est capable de reconnaître lorsque l'utilisateur veut implicitement prendre un point sur un objet ou à l'intersection de deux objets.

Des implicites de formes comme le précise le paragraphe précédent peuvent intervenir, c'est le cas aussi des implicites liés à des directions particulières des segments, droites ou demi-droites (horizontale ou verticale). L'élève peut construire un triangle dont la base est horizontale. Il peut aussi construire une droite horizontale. La procédure de report horizontal ou vertical qui apparaît par fois dans la construction du symétrique d'un segment par rapport à une droite par l'élève dans l'environnement papier-crayon et qui n'était pas apparue dans la même activité avec la première version de Cabri, peut de nouveau apparaître avec CabriII :

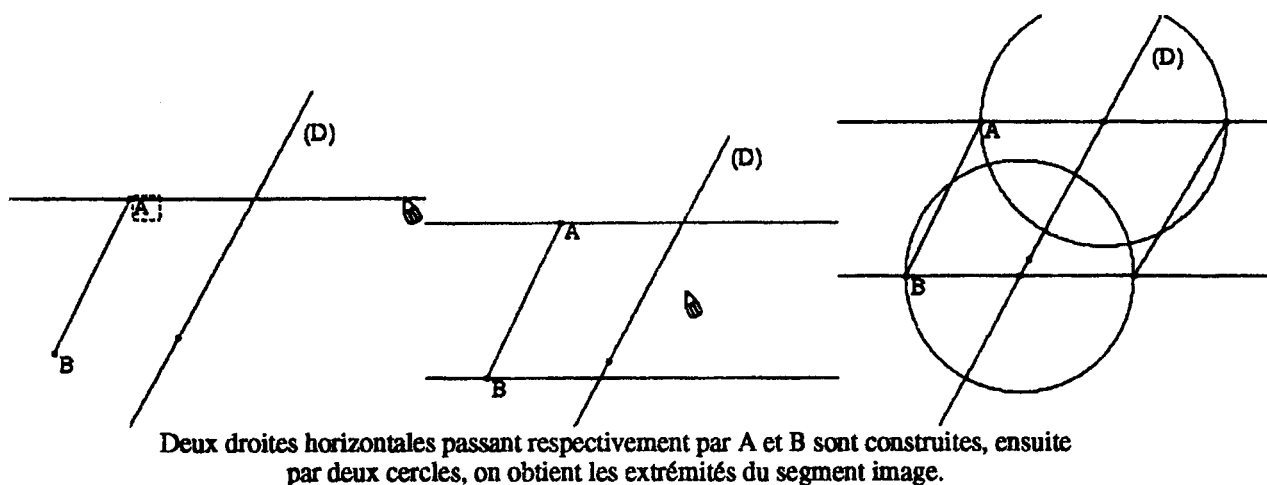


Figure 13

CabriII permet désormais la construction de dessins en laissant intervenir des caractéristiques implicites (liées à des formes géométriques, des directions particulières, ...) et permet à l'élève d'utiliser, notamment par le tâtonnement, des connaissances acquises dans sa perception de l'espace physique. Il reste à organiser, grâce aux outils d'exploration des configurations proposés par le logiciel et aux rétroactions qu'il fournit, des situations qui favorisent la mise en cause éventuelle de conceptions erronées.

Bibliographie

ALLARD J.C. et PASCAL C.: 1986, *Euclide, un langage pour la géométrie plane*, logiciel et manuel, Cedic-Nathan

ARSAC G.: 1989, La construction du concept de figure chez les élèves de 12 ans, PME XIII, Paris, pages 85-93.

ARTIGUE M.: 1991, Analyse de processus d'enseignement en environnement informatique, *Petit x*, n°26, Grenoble, p.5-27.

BALACHEFF N.: 1991, Contribution de la didactique et de l'épistémologie aux recherches en EIAO, *Actes des 13ème Journées Francophones sur l'Informatique*, Formation Intelligemment Assistée par Ordinateur, Genève, pages 9-38.

BAULAC Y. & GIORGIUTTI I.: 1991, Interaction micromonde/tuteur en géométrie, le cas de Cabri-géomètre et de DEFI, In Nicaud J.F. et Baron M. (eds.) *Actes des 12èmes journées d'EIAO*, Cachan, ENS, 11-18.

BELLEMAIN F.: 1992, *Conception, réalisation et expérimentation d'un logiciel d'aide à l'enseignement de la géométrie, Cabri-géomètre*, thèse, Grenoble, Université Joseph Fourier.

CAPPONI B. & LABORDE C.: 1991, Cabri-géomètre, un environnement pour l'apprentissage de la géométrie élémentaire, *In* GRAS R. (Ed.) *Actes de la VIème école d'été de didactique des mathématiques et de l'informatique*, Plestin les grèves, 220-222.

DUVAL R.: 1988, Approche cognitive des problèmes de géométrie en termes de congruence, *Annales de didactique et de sciences cognitives*, Vol. 1, IREM de Strasbourg, pages 57-74.

JACKIW N.: 1989, Geometer's sketchpad, collège de Swarthmore, USA.

LABORDE C. & CAPPONI B.: 1994, Cabri-géomètre constituant d'un milieu pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique, *Didactique et intelligence artificielle*, 14 (1), 165-210

LABORDE C. & LABORDE J.M.(*): 1991a, Micromondes intelligents et environnement d'apprentissage, *In* Bellissant C. (Eds.) *Actes des XIII° journées Francophones de l'informatique*, Grenoble, IMAG-CNRS, à paraître.

LABORDE C. & LABORDE J.M.(*): 1991b, Problem Solving in geometry, from microworlds to intelligent computer environments, *In* Ponte J. (eds.) ASI-Series, Springer-Verlag, *Proceedings of Information technologies and mathematical problem solving research*, April 27-30 Viana do Castelo, Portugal.

NANARD J.: 1990, *La manipulation directe en interface homme-machine*, Thèse, Université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier.

PARZYSZ B.: 1988, Knowing vs Seeing. Problems of the plane representation of space geometry figures, *Educational Studies in Mathematics*, 19(1), pages 79-92.

SCHNEIDERMAN B.: (1982) The future of interactive system and the emergence of direct manipulation, *Behavior and Information Technology*, (1), 1982, 237-256.

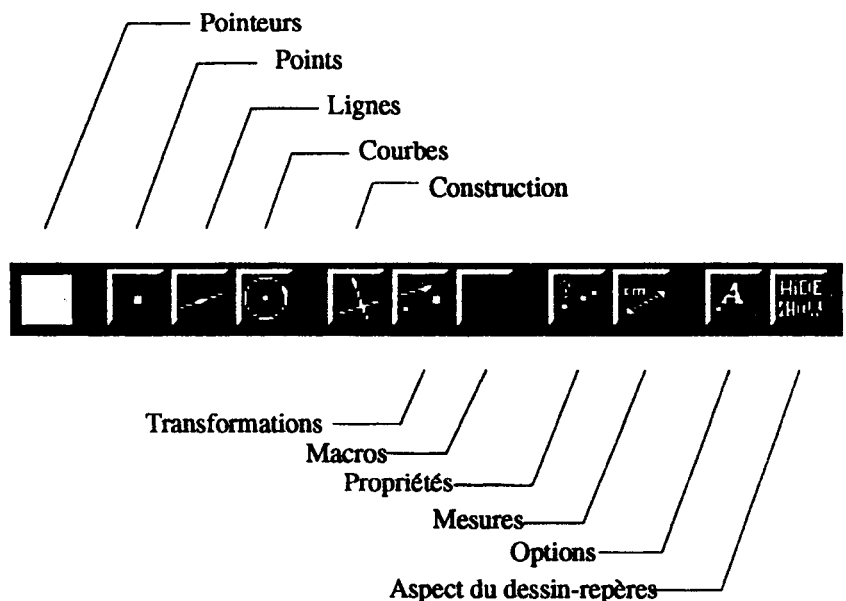
SMITH D.C., IRBY C., KIMBALL R., VERPLANCK B. & HARSLEM E.: (1982) Designing the Star User Interface, *Byte* (7), n° 4, 1982, 242-282.

Annexe : Références de Cabri II

Menu : Options

	Montrer / Cacher les attributs	Affiche ou cache la barre d'outils qui contrôle l'aspect des objets
	Configuration des couleurs.	Choix des couleurs par défaut pour les objets de la figure.
	Configuration des menus	Choix et disposition des menus.
	Préférences	Choix par défaut relatifs aux lieux, repères, unités.
	Police	Choix par défaut d'une police de caractères.
	Taille	Choix par défaut d'une taille de caractères.
	Style	Choix par défaut d'un style de caractères.

Barre des icônes



Pointeurs

	Pointeur	Sélection et déplacement d'objets.
	Tourner	Faire tourner un objet autour de son centre géométrique ou d'un point sélectionné.
	Dilater	Dilater un objet autour de son centre géométrique ou d'un point sélectionné.
	Tourner et dilater	Simultanément faire tourner et dilater un objet autour de son centre géométrique ou d'un point sélectionné.

Points

	Point	Construction d'un point de base et éventuellement sur un objet ou à l'intersection de deux objets.
	Point sur objet	Construction d'un point sur un objet.
	Point d'intersection	Construction des points d'intersection de deux objets sélectionnés.

Lignes (droites)

	Droite	Construction d'une droite passant par un point sélectionné (ou créé) et une direction (choisie par un second clic).
	Segment	Construction d'un segment à partir de ses deux extrémités (points sélectionnés ou créés).
	Demi-droite	Construction d'une demi-droite passant par un point sélectionné (ou créé) et une direction (choisie par un second clic).
	Vecteur	Construction d'un vecteur à partir de ses deux extrémités (points sélectionnés ou créés).
	Triangle	Construction d'un triangle à partir de ses trois sommets (points sélectionnés ou créés).
	Polygone	Construction d'un polygone à partir de ses sommets (points sélectionnés ou créés). Le nombre de sommets est déterminé en re-cliquant sur le point de départ.
	Polygone régulier	Construction d'un polygone régulier à partir de son centre, d'un point pour le rayon et d'un troisième point pour déterminer le nombre de sommets (et de tours pour les polygones croisés). Pour un polygone convexe on tourne dans le sens des aiguilles d'une montre on choisit le nombre de côtés et on clique. Pour un polygone croisé on tourne dans l'autre sens et on choisist aussi le nombre de tours.

Courbes

	Cercle	Construction d'un cercle. Le centre est sélectionné (ou créé) en premier et le rayon est ensuite déterminé par un second clic.
	Arc	Construction d'un arc de cercle défini par trois points. Le premier est une extrémité, le deuxième un point de l'arc et le troisième l'autre extrémité.
	Conique	Construction d'une conique (Ellipse ou hyperbole). Sélectionner 5 points de la conique.

Construction

	Droite perpendiculaire	Construction d'une droite passant par un point et perpendiculaire à une direction donnée.
---	-------------------------------	---

	Droite parallèle	Construction d'une droite passant par un point et parallèle à une direction donnée.
	Milieu	Construction du milieu de deux points ou d'un segment.
	Médiatrice	Construction de la médiatrice de deux points ou d'un segment.
	Bissectrice	Construction de la bissectrice d'un angle défini par trois points ou sa marque.
	Somme de deux vecteurs	Construction de la somme de deux vecteurs en spécifiant les deux vecteurs puis l'origine.
	Compas	Construction d'un cercle avec la sélection ou création du centre. Le rayon est défini en montrant deux points qui le définissent (ou un segment).
	Report de longueur	Reporte une mesure définie par un nombre sur une demi-droite, un vecteur ou un cercle (dans le sens trigonométrique).
	Lieu de points	Construction d'un lieu de points (ou d'une enveloppe) en montrant le point (ou l'objet) dont on veut le lieu et un point dont il dépend astreint à se déplacer sur un objet;
	Redéfinition d'un point	Redéfinit les caractéristiques d'un point. Les options sont accessibles dans un pop-menu.

Transformations

	Translation	Construction de l'image d'un objet dans une translation. On désigne l'objet puis un vecteur.
	Rotation	Construction de l'image d'un objet dans une rotation. On désigne d'abord l'objet puis le centre et un angle défini par un nombre.
	Homothétie	Construction de l'image d'un objet dans une homothétie. On désigne d'abord l'objet puis le centre et un rapport défini par un nombre.
	Symétrie centrale	Construction de l'image d'un objet dans une symétrie centrale. On désigne l'objet et le centre.
	Symétrie droite	Construction de l'image d'un objet dans une symétrie droite. On désigne l'objet et la droite.
	Inversion	Construction de l'image d'un point dans une inversion. On désigne l'objet et le cercle.

Macro-constructions

	Objets initiaux	Définition des objets initiaux d'une macro-construction.
	Objets finaux	Définition des objets finaux d'une macro-construction.
	Valider une macro	Les objets initiaux et finaux étant définis permet de valider la macro, de l'enregistrer et d'éditer une aide.

	Macro créée	Macro-construction créée par l'utilisateur. La première lettre du nom donné à la macro est ici un a . (Par exemple si le nom de la macro est arc inscrit). Il peut y avoir plusieurs macros, qui par défaut se retrouvent dans ce menu.
---	--------------------	--

Propriétés

	Points alignés	Fournit un texte pour confirmer ou infirmer l'alignement de 3 points. Le texte se met à jour suivant les positions des points.
	droites ou objets parallèles	Fournit un texte pour confirmer ou infirmer le parallélisme de deux directions (droites, demi-droites, segments, vecteurs). Le texte se met à jour suivant les positions des objets.
	Droites ou objets perpendiculaires	Fournit un texte pour confirmer ou infirmer l'orthogonalité de deux directions (droites, demi-droites, segments, vecteurs). Le texte se met à jour suivant les positions des objets.
	Points équidistants	Fournit un texte pour confirmer ou infirmer l'équidistance de trois points. Le premier point est celui dont on teste l'équidistance aux deux autres. Le texte se met à jour suivant les positions des objets.
	Appartenance d'un point à un objet.	Fournit un texte pour confirmer ou infirmer l'appartenance d'un point à un objet. Le texte se met à jour suivant les positions des objets.

Mesures

	Mesure de longueur	Permet de mesurer la longueur d'un segment, la distance de 2 points, le périmètre d'un cercle, d'une conique, ou d'un polygone. La taille, la police, le style et l'unité sont modifiables.
	Mesure d'aires	Permet de mesurer l'aire d'un cercle, d'une conique ou d'un polygone. La taille, la police, le style et l'unité sont modifiables.
	Pente d'une droite	Donne la pente d'une droite relativement au repère par défaut. La taille, la police, et le style sont modifiables.
	Mesure d'un angle	Donne la mesure d'un angle en sélectionnant 3 points ou la marque d'un angle. La taille, la police, le style et l'unité sont modifiables.
	Equations d'objets et coordonnées de points	Donne l'équation d'une droite, d'un cercle ou d'une conique relativement au repère par défaut ou relativement au repère sélectionné avant de demander l'équation. La taille, la police, et le style sont modifiables ainsi que le type d'équation (Polaire ou Cartésien)
	Calculatrice	Fournit une calculatrice où en plus des calculs scientifiques avec des nombres saisis au clavier on peut intégrer des nombres issus de la figure en tant que variables

	Tableau de valeurs	Fournit un tableau dans lequel on peut intégrer des valeurs issues de la figure. Le tableau ne s'actualise pas avec la figure.
---	---------------------------	--

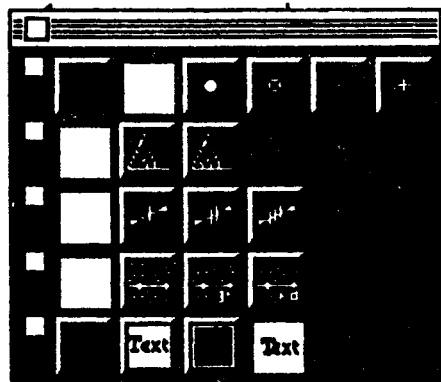
Options

	Etiquettes	Permet de désigner à l'aide d'une étiquette, qui peut être un texte, des points, des droites ou des cercles. La taille, la police et le style sont modifiables.
	Commentaires	Permet d'éditer un texte. On peut y inclure des variables issues de la figure. La taille, la police et le style sont modifiables.
	Edition de nombres	Permet d'éditer un nombre. La taille, la police, le style et l'unité sont modifiables.
	Marquage d'un angle	Permet de marquer un angle. Le type de marque peut être modifié.
	Blocage de position d'un point	Permet de bloquer (et débloquer) la position d'un point qui ne peut alors plus être déplacé.
	Trace d'un objet	Permet d'obtenir la trace d'un objet pendant le déplacement. La trace n'est pas un objet au sens de Cabri.
	Animation d'un objet	Permet de déplacer automatiquement les objets.
	Animation simultanée de plusieurs objets.	Permet de déplacer automatiquement et simultanément plusieurs objets.

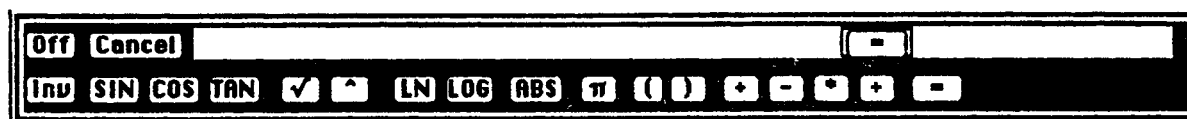
Aspect du dessin - repères

	Cacher ou montrer des objets	Permet de cacher (ou de montrer) les objets d'une figure.
	Couleur d'un objet	Permet de choisir la couleur d'un objet.
	Remplissage	Permet de remplir les polygones, les cercles et les textes.
	Epaisseur des traits	Permet de régler l'épaisseur des traits.
	Pointillés	Permet de régler l'aspect pointillé d'un trait.
	Forme des points, marques d'angles etc..	Permet de modifier l'aspects de certains objets : forme des points, marque d'angles, marque de longueurs, type de repère, textes.
	Montrer cacher les axes par défaut.	Affiche le repère par défaut.
	Cacher les axes par défaut.	Cache le repère par défaut.
	Définition de nouveaux axes	Permet de définir un système d'axes.
	Définition d'une grille.	Affiche une grille sur un repère. La grille est objet sur lequel on peut positionner des points.

Palette de modification des aspects



Calculatrice



Palette des attributs (Menu Options)

La barre d'outils des attributs se déploie sur la gauche de l'écran et peut se développer en plusieurs palettes qui permettent de sélectionner les attributs des objets de la figure. Ces outils permettent de contrôler l'aspect des objets que vous allez créer.

