Apprenti Géomètre : un nouveau logiciel

par N. Rouche
avec la collaboration de Ph. Skilbecq

> Je souhaiterais que la tête commandât la main.
> Le Corbusier

Au cours des années 2003 et 2004, le CREM[1] a développé un nouveau logiciel appelé Apprenti Géomètre[2]. Celui-ci, malgré son nom, est un logiciel d'aide à l'apprentissage des mathématiques en général, et pas seulement de la géométrie. Il est destiné aux élèves de l'enseignement primaire et de la première moitié du secondaire. Son principe est qu'il permet d'amener à l'écran des figures diverses et de soumettre celles-ci à quelques opérations bien choisies. Il est un outil d'exploration et d'expérimentation. Il ne propose aucune séquence d'apprentissage pré-programmée.

À l'entrée dans Apprenti Géomètre, on peut choisir d'activer l'un ou l'autre de deux champs d'expérimentation : soit le *kit standard* qui amène à l'écran des figures de formes et de dimensions invariables, soit le *kit libre* qui mobilise essentiellement des figures déformables. Le premier est destiné à un premier apprentissage, le second vise des notions plus avancées. L'utilisation technique d'AG[3], et particulèrement du kit standard, est très simple. Elle ne devrait rebuter personne, même pas les enseignants ou les élèves qui éprouvent des réticences face à l'informatique. Le kit libre est également simple à manier. En outre, le passage du kit standard au kit libre ne provoque pas de dépaysement. En effet, la plupart des commandes sont les mêmes dans l'un et l'autre. De même qu'une géométrie avancée est un développement d'une géométrie élémentaire, le kit libre ne fait que développer les possibilités du kit standard.

AG a été conçu comme un champ d'expérimentation nouveau et original à la disposition des enseignants et des élèves. Il n'est pas du tout destiné à se substituer aux autres matériels d'aide à l'apprentissage des mathématiques. Il en est un complément, dont nous tentons ci-dessous de cerner l'originalité et l'utilité. Ajoutons que plusieurs des auteurs d'AG sont familiers du logiciel Cabri Géomètre, qu'ils apprécient beaucoup. Nous ne pensons pas qu'AG fasse d'aucune façon double emploi avec Cabri.

---

[1]Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, 5 rue Émile Vandervelde, B-1400 Nivelles, Belgique, <crem@sec.cfwb.be>.

[2]Apprenti Géomètre a été développé à la demande de Monsieur J.-M. Nollet, Ministre de l'Enfance de la Communauté française de Belgique. Le cahier des charges a été rédigé par une équipe comprenant Michel Ballieu, Marie-France Guissard, Guy Noël, Nicolas Rouche et Marie-Francoise Van Troeye. L'exécution technique a été confiée à la firme Abaque. Une brochure d'accompagnement (voir CREM [2003]) comprenant un mode d'emploi, des analyses théoriques et divers exemples d'utilisation en classe a été rédigée par Patricia Laurent, Christine Lemaître, Guy Noël, Nicolas Rouche, Philippe Skilbecq et Marie-Françoise Van Troeye, directrice du projet. Alain Desmarets et Bernard Honclaire ont été consultants pour le projet. Apprenti Géomètre ainsi que la brochure d'accompagnement sont disponibles en téléchargement libre à l'adresse internet <www.enseignement.be/geometre>.

[3]Ci-après, nous abrégeons Apprenti Géomètre en AG.

1 Le kit standard

Voyons maintenant en quoi consiste le *kit standard.* Il propose des *figures*, des *opérations* et des *mouvements.*

1.1 Des figures et des opérations

Les figures que l'on peut amener à l'écran sont groupées en trois ≪ familles ≫ : celle du carré, celle du triangle équilatéral et celle du pentagone régulier. Nous avons mis ≪ familles ≫ entre guillemets, car comme on va le voir, ce mot est pris ici dans un sens peu usuel. À titre d'exemple, détaillons la famille du carré. Ses membres sont les polygones que montre la figure 1, à savoir :

un carré ;

un triangle rectangle isocèle, celui dont on obtient deux exemplaires en coupant le carré en deux le long d'une diagonale ;

un parallélogramme, celui que l'on obtient en accolant deux demi-carrés (deux triangles rectangles équilatéraux) ; un tel parallélogramme existe en deux variétés, images l'une de l'autre dans un miroir (voir figure 2) ; une seule de ces deux figures apparaît au départ à l'écran ;

un octogone régulier avec un côté de même longueur que le carré ;

un triangle isocèle, celui que l'on obtient en coupant l'octogone en huit triangles superposables.

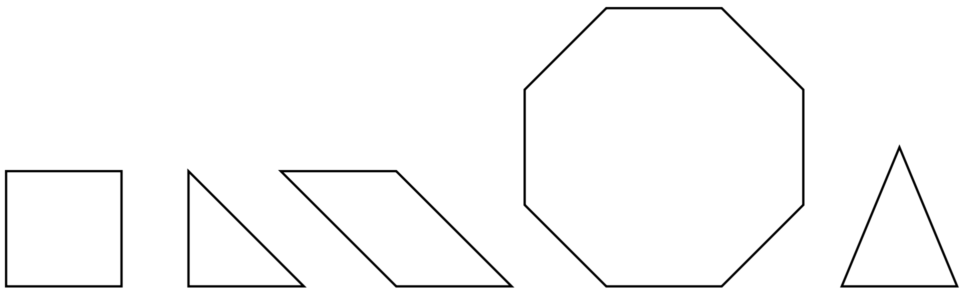

Fig. 1

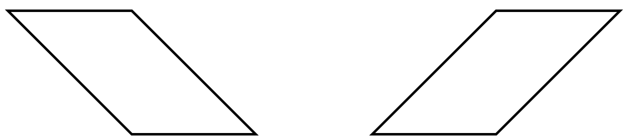

Fig. 2

Ces quelques figures sont parentes, en ce sens qu'elles ont entre elles des rapports simples de longueurs, d'angles et d'aires. Comme nous l'avons vu, on passe de certaines d'entre elles à d'autres par des opérations simples de découpage, assemblage et fusion.

Il est alors intéressant d'explorer le champ des autres figures que l'on peut créer en continuant à appliquer aux membres de la famille les mêmes opérations de *découpage, assemblage* et *fusion.* Les figures 3 et 4 donnent une idée des possibilités. Elles montrent que ces polygones s'ajustent bien les uns aux autres, et cela de multiples façons. Ces ajustements sont ce que H. Freudenthal [1973] a appelé du nom anglais de *fittings* et dont il dit : « The miracles of fitting are a preparation for systematic geometry, but even if this stage is reached, they cannot be dismissed. They remain the rough material of geometric thinking. The pupil should recall them and reconsider the old problems anew at every stage. »[4]

À l'écran, les fittings se réalisent très bien. En effet, non seulement AG dessine des figures très précises, mais encore il les ajuste automatiquement : une fonction de *magnétisme* fait que lorsque deux figures sont amenées à être presque jointives, le logiciel les accole parfaitement.

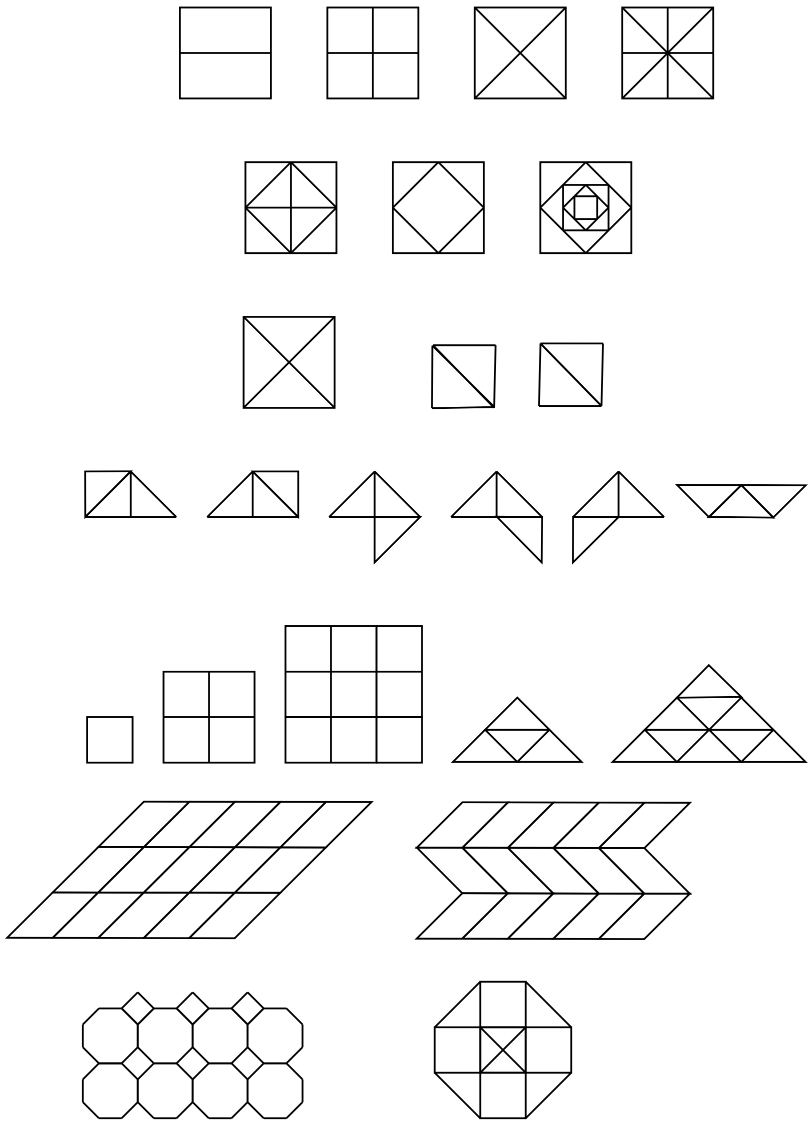

Fig. 3

[4] « Les miracles des *fittings* sont une préparation pour une géométrie systématique, mais même lorsque cette étape est atteinte, ils ne peuvent pas être abandonnés. Ils demeurent le matériau brut de la pensée géométrique. L'élève devrait se les rappeler et reconsidérer à chaque étape les anciens problèmes . »

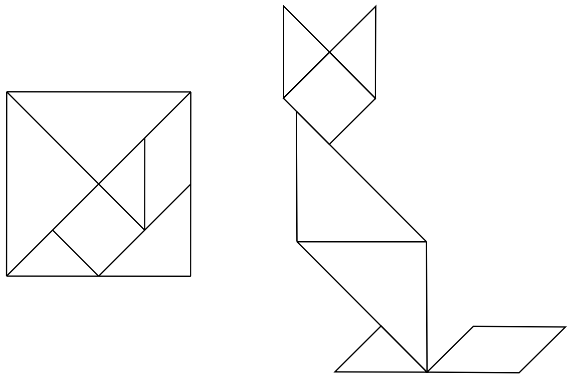

Fig. 4

1.2 Pourquoi des familles ?

La figure 5 montre la famille du triangle équilatéral et la figure 6 celle du pentagone régulier. Dans chacune de ces autres familles également, les polygones ont entre eux des rapports simples de longueurs, d'angles et d'aires qui permettent de réaliser de multiples ajustements. On laisse au lecteur le soin de les imaginer, ou mieux encore de les explorer à l'écran.

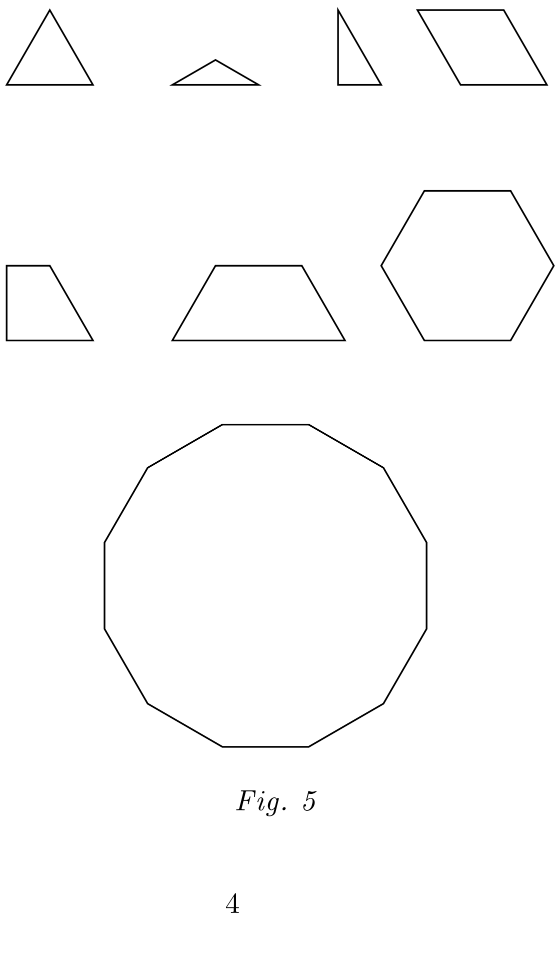

Fig. 5

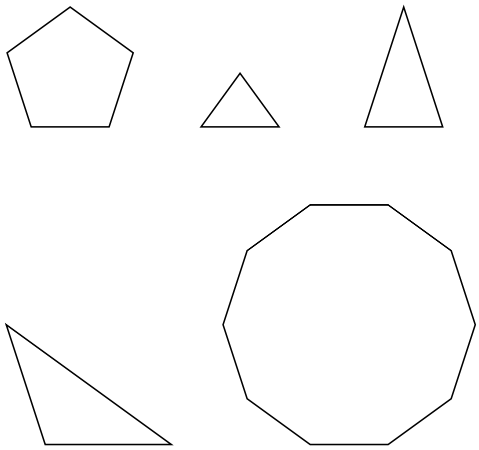

Fig. 6

Pourquoi AG propose-t-il des polygones groupés par familles, et non pas tous ces polygones ensemble, ce qui, à première vue, donnerait bien davantage encore de possibilités ? C'est que, d'une famille à l'autre, il existe beaucoup moins de ces rapports simples de longueurs, d'angles et d'aires dont nous avons montré l'existence entre les figures d'une même famille. Et donc si on met les élèves au travail dans une famille à la fois, la probabilité qu'ils découvrent une combinaison géométriquement significative est plus élevée que s'ils ont accès à tout le stock. Cette restriction n'est pas un appauvrissement, parce que d'une part les combinaisons possibles à l'intérieur de chaque famille sont très nombreuses, et d'autre part il semble difficile de parler d'appauvrissement lorsqu'on donne aux élèves davantage de chances de découvrir des phénomènes intéressants.

1.3 Des mouvements

Sur l'écran d'AG, les polygones apparaissent tous de prime abord dans la même orientation, à savoir avec un côté horizontal. Pour créer des assemblages intéressants, il faut donc les déplacer. On a prévu dans AG trois façons de déplacer une figure.

> 1) On sélectionne le verbe *glisser*[5] dans un menu déroulant. Cela permet de traîner le polygone à la souris jusqu'à un endroit quelconque de l'écran. Pendant tout le transport, le polygone conserve son orientation, avec un côté horizontal.
>
> 2) On sélectionne le verbe *tourner* dans un menu déroulant. On peut ensuite faire tourner le polygone, à la souris, d'un angle que l'on détermine à vue. Le centre de la rotation est automatiquement le centre de la figure – très exactement son centre d'inertie –, ce qui fait que celle-ci tourne en quelque sorte sur place. L'opérateur ne doit donc pas se soucier de désigner le centre.
>
> 3) On sélectionne le verbe *retourner* dans un menu déroulant, puis on clique sur la figure à retourner. Celle-ci subit alors une symétrie orthogonale. L'axe de cette symétrie est invariablement vertical, et passe par le centre de la figure. L'opérateur ne doit pas se soucier de le désigner. La figure se retourne en quelque sorte sur place.

Une combinaison appropriée de ces trois mouvements permet de soumettre la figure à un déplacement ou un retournement quelconque. Chaque mouvement est ainsi nécessairement

[5]Dans la première version du logiciel, le verbe en question était *déplacer*.

composé de mouvements élémentaires, on pourrait dire de *mouvements de base*. C'est sans doute là que se trouve la principale originalité d'AG. Comparons en effet la manipulation de polygones à l'écran, telle que nous venons de la décrire, avec ce qui lui ressemble le plus dans la pratique scolaire, à savoir la manipulation de polygones en carton sur une table. Détaillons la comparaison :

> Les cartons tombent en désordre sur la table lorsqu'on vide la boîte où on les a rangés. Les polygones d'AG apparaissent à l'écran toujours dans la même orientation.
>
> Les polygones en carton énantiomorphes[6] tombent sur la table au hasard sur une face ou sur l'autre. Dans AG, c'est toujours la même variété qui apparaît.
>
> On peut saisir plusieurs cartons à la fois, on peut les manier au petit bonheur, leur faire décrire des mouvements « sauvages », mal identifiés, parfois mal maîtrisés. Dans AG au contraire, chaque mouvement est un mouvement clair, bien identifié, appelé par son nom dans un menu déroulant. Il doit être choisi avant d'être exécuté et ne s'applique qu'à une figure à la fois.
>
> Les polygones en carton sont assemblés de façon approximative, vu les tremblements de la main, et bougent dans les courants d'air. Les polygones d'AG s'ajustent exactement entre eux grâce à la fonction magnétique, et ne peuvent quitter leur position que moyennant la commande d'un nouveau mouvement.

Ainsi, le kit standard est un champ d'expérimentation particulièrement ordonné et intelligible. Il comporte des contraintes qui n'existent pas dans l'univers réel, où la plupart des mouvements sont absolument libres. C'est un univers artificiel, accordé à la géométrie métrique. En effet, les trois mouvements de *glisser*, *tourner* et *retourner* préfigurent – jusqu'à un certain point –, les trois isométries planes de base[7] que sont la *translation*, la *rotation* et la *symétrie orthogonale*.

Les trois mouvements ne s'identifient pas aux trois isométries. Nous l'avons dit, le glissement se règle à vue, et l'opérateur ne doit nullement le définir par un vecteur désignant le point d'arrivée d'un point donné de la figure. La rotation s'effectue à vue, l'opérateur n'ayant pas à en désigner le centre et réglant son angle à l'estime. Le retournement est automatique et l'opérateur ne doit pas spécifier la position d'un axe de symétrie. Les transformations en un sens plus technique appartiennent à un stade plus avancé de la géométrie et sont, dans AG, disponibles dans le kit libre - on peut toutefois, à volonté, les activer aussi dans le kit standard -. C'est une analyse des trois mouvements qui conduit à définir les trois isométries, respectivement par un vecteur de translation, un centre et un angle de rotation ou un axe de symétrie. Les trois mouvements sont théorisés pour les besoins de la géométrie.

Il est sans doute utile d'accéder ainsi aux isométries à travers les mouvements qui les préfigurent, et en particulier d'expérimenter les enchaînements (les compositions) de ces mouvements. Notons en outre que ces enchaînements ne sont pas étudiés ici pour eux-mêmes et dans l'abstrait : ils servent à réaliser des assemblages de polygones.

Cette attention portée aux mouvements de base dans l'apprentissage de la géométrie répond bien au courant de pensée théorique et pédagogique qui, au XIX^e^ siècle et au début du XX^e^, a cherché à réhabiliter les mouvements dans la géométrie. Ce courant est représenté

[6] Rappelons qu'on appelle *énantiomorphes* deux figures planes ayant exactement la même forme et les mêmes dimensions, et que pourtant on ne peut pas superposer en les faisant glisser dans le plan sur lequel elles sont posées. Pour les superposer, il faut nécessairement retourner l'une d'entre elles.

[7] Rappelons le théorème fondamental de géométrie plane qui dit que toute isométrie directe est une translation ou une rotation, et que toute isométrie inverse est la composée d'une symétrie orthogonale et d'une translation. Ce théorème exprime une propriété de l'espace physique usuel.

principalement par Kirchhoff, Méray, Bourlet et Borel. Pour une synthèse à ce sujet, voir R. Bkouche [1991]. Sur les mouvements encore et sur la reconnaissance des figures et des symétries, on consultera utilement E. Mach [1922] ainsi que L. Lismont et N. Rouche [2001].

Notre présentation des mouvements dans le kit standard ne vise nullement à proposer ceux-ci comme supérieurs aux manipulations de polygones en carton. Au contraire, la manipulation des objets dans l'univers réel est indispensable. Elle relie les mouvements à des perceptions visuelles et tactiles, elle développe la motricité fine et elle apprend à abstraire d'un univers, complexe par nature, les éléments qui permettent de le reconstruire analytiquement dans le cadre de la géométrie. Notre espoir est que le kit standard soit un champ d'expérience original qui facilite, par des transferts appropriés, la compréhension du monde réel. L'expérience dira si cet espoir est fondé.

1.4 D'autres figures

Les figures disponibles dans le kit standard sont pour l'essentiel celles des trois familles dont nous avons parlé. On y a toutefois ajouté d'une part un cercle et de l'autre deux représentations en perspective d'un cube. Celles-ci sont les seules figures qui évoquent la géométrie de l'espace. L'écran étant plat par nature, il est en effet plus raisonnable de s'en servir pour étudier les figures planes. Les représentations de cube sont donc une exception, une petite commodité ajoutée. Ils permettent tout de même de créer de nombreux objets dont la figure 7 donne un échantillon.

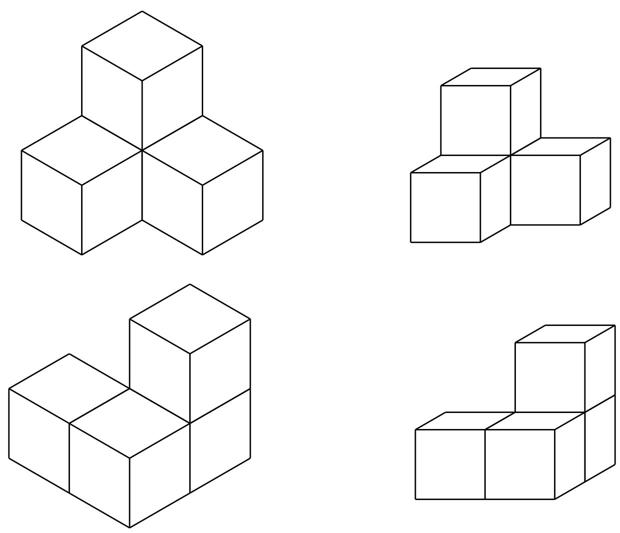

Fig. 7

1.5 Vers les fractions et les mesures

Il existe dans le kit standard une opération que nous n'avons pas encore mentionnée et qui est pourtant essentielle : en sélectionnant le verbe *diviser* dans un menu déroulant, on peut diviser un segment en 2, 3 ou 5 parties égales. En répétant cette opération, on peut obtenir des divisions en un nombre de parties multiple de 2, 3 ou 5. Les divisions sont marquées par des points. En combinant cette opération de *diviser* avec celle de *découper*, on peut créer des fractions d'une figure quelconque, tout en choisissant la forme des morceaux. La figure 8 montre ainsi une façon de couper un carré en parties possédant respectivement 1/3, 1/4, 1/6 et 1/8 de son aire totale. Ces possibilités peuvent être exploitées pour l'étude des fractions et l'introduction de la notion de mesure.

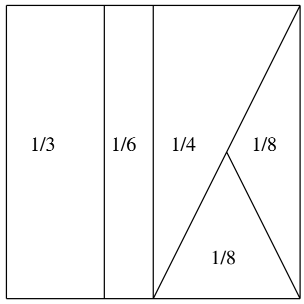

Fig. 8

2 Le kit libre

Comparé au *kit standard*, le *kit libre* permet une plus grande diversité d'expériences. Il amène à l'écran des figures variées, déformables continûment. Il permet de réaliser des isométries de figures. Il conduit à réaliser ce que nous avons appelé des fichiers dynamiques. Enfin, il met à la disposition de l'utilisateur des trames de points inspirées du géoplan. Voyons cela en détail.

2.1 Des figures continûment déformables

Pour plus de clarté, repartons du kit standard. Celui-ci amène à l'écran des figures prédéterminées. Par exemple, si l'utilisateur sélectionne *triangle équilatéral*, alors par un clic en un point quelconque de l'écran, il fait apparaître un triangle équilatéral dont il ne choisit ni la grandeur, ni l'orientation. Par contre, l'utilisateur qui a sélectionné *triangle équilatéral* dans le kit libre doit d'abord cliquer en un point A de son choix, puis en un deuxième point B, et le logiciel fait apparaître alors un triangle équilatéral dont AB est un des côtés. L'utilisateur n'a pas le choix du côté de AB où se construit le triangle, puisque ce dernier se dessine dans le sens trigonométrique. La figure 9 montre trois exemples.

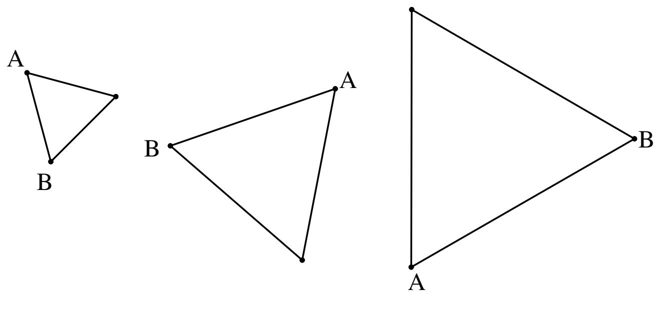

Fig. 9

Le kit libre permet d'amener à l'écran une plus grande variété de figures que le kit standard. Voyons par exemple comment se construit un parallélogramme. L'utilisateur clique en deux points A et B, qui vont donner un premier côté de la figure, puis en un troisième point C, de sorte que BC soit un deuxième côté du parallélogramme. Celui-ci, étant déterminé par la donnée de deux côtés adjacents, apparaît alors. La figure 10 montre trois exemples.

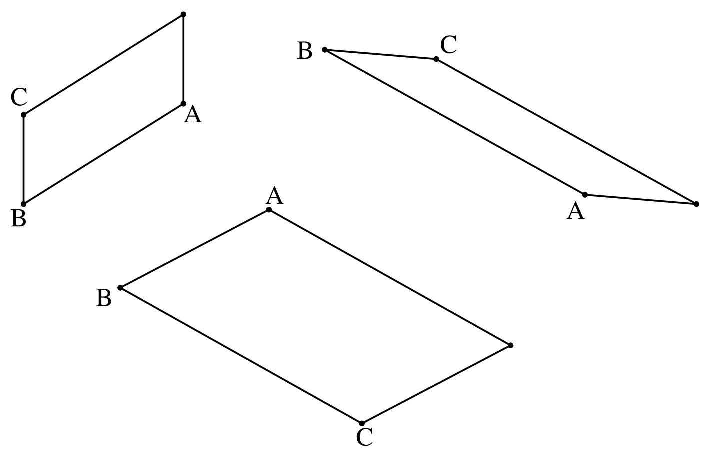

Fig. 10

En résumé, chaque figure est déterminée par sa définition et par des éléments (sommets, côtés, ...) qui suffisent à sa construction. Ce mode de construction induit des questions pédagogiquement intéressantes : par exemple, pourquoi un parallélogramme est-il déterminé par deux côtés adjacents ?

Une fois qu'une figure est tracée, on peut la modifier ≪ à la souris ≫ sans qu'elle cesse de répondre à sa définition. Par exemple, à partir du parallélogramme ABC de la figure 11, on peut, en tirant sur le point C, engendrer les autres parallélogrammes que montre la figure 11. On peut aussi déformer la figure en tirant sur A, B ou C, mais non sur le quatrième point. Ce type de déformation continue induit aussi des questions intéressantes : par exemple, comment se fait-il qu'en déformant un parallélogramme, on puisse obtenir un rectangle, un carré, un losange ?

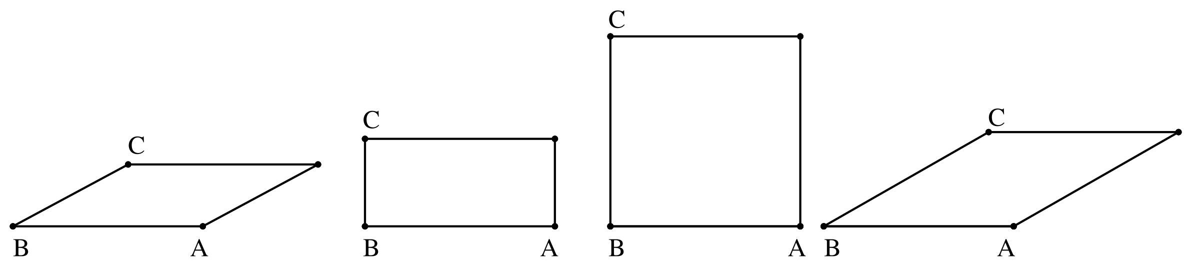

Fig. 11

Les figures disponibles dans le kit libre sont toutes les variétés classiques de triangles et de quadrilatères, les polygones réguliers depuis 5 jusqu'à 12 côtés, les polygones quelconques depuis 5 jusqu'à 10 côtés, et le cercle.

2.2 Des transformations de figures

Dans le kit libre, on peut comme dans le kit standard, glisser, tourner ou retourner les figures. Ces opérations se pratiquent au jugé, sans qu'il faille se soucier de préciser, selon le cas, une direction, un sens, une distance, un centre, un angle ou un axe. Mais le kit libre permet en outre d'appliquer à n'importe quelle figure une translation, ou une rotation ou une symétrie miroir. Voyons cela en détail.

Pour translater une figure, on doit spécifier par un segment AB la direction, le sens et la distance de la translation. La figure 12 en montre deux exemples.

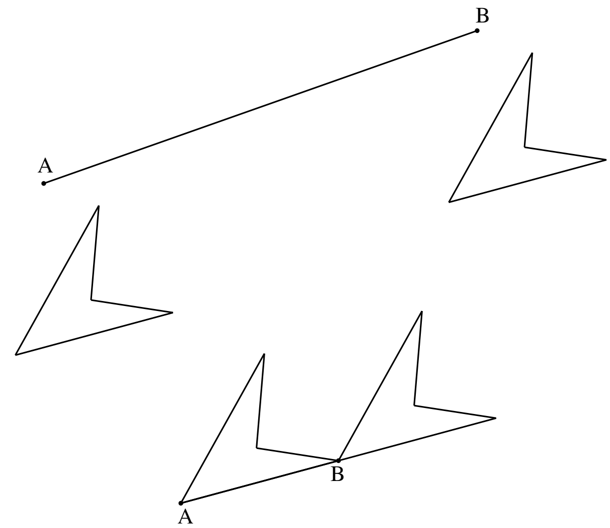

Fig. 12

Pour soumettre une figure à une rotation, on doit spécifier un centre de rotation O et un angle ABC. La figure 13 en montre deux exemples.

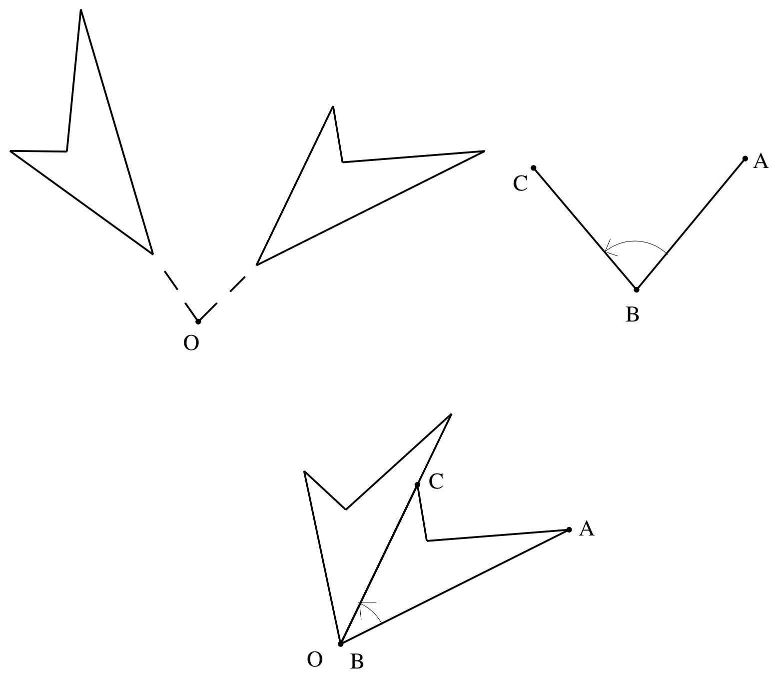

Fig. 13

Enfin, pour soumettre une figure à une symétrie miroir, on doit spécifier, par deux points A et B, l'axe de la symétrie. La figure 14 en montre deux exemples.

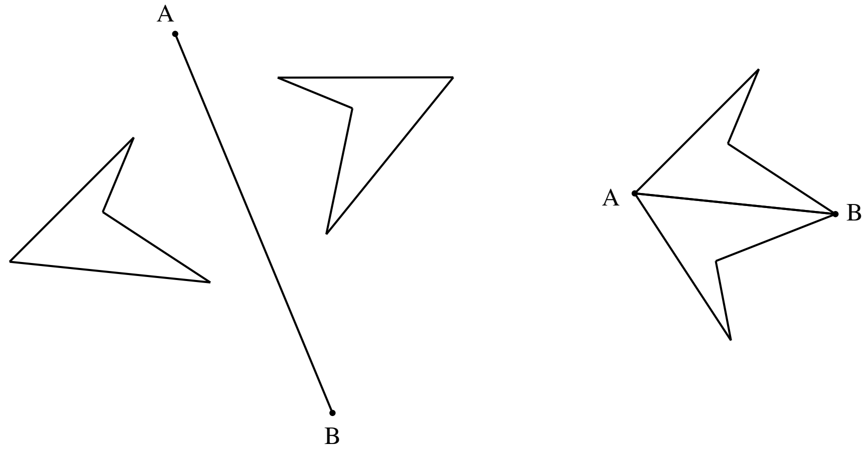

Fig. 14

Une fois qu'une isométrie a été réalisée, on peut modifier continûment, à la souris, le segment qui détermine la translation, ou le centre, ou l'angle de la rotation, ou l'axe de la symétrie. L'isométrie se modifie en conséquence. La figure 15 montre le passage, pour une figure de départ donnée (celle qui est grisée), d'un axe de symétrie AB à un autre $A'B'$ (le passage de l'une à l'autre se faisant continûment).

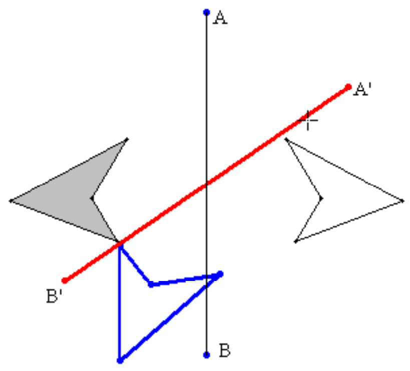

Fig. 15

La figure 16 montre par contre ce qui advient lorsqu'on ne touche pas à l'axe, mais que l'on déforme la figure en tirant le point A vers le point A'(la déformation étant elle aussi continue).

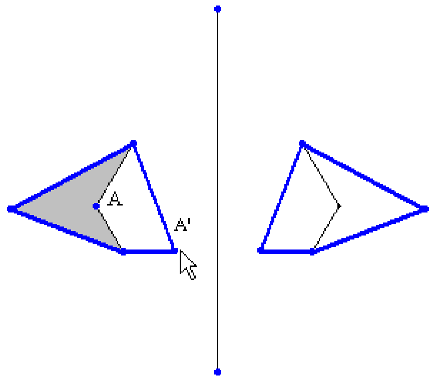

Fig. 16

2.3 Des fichiers dynamiques

Donnons un exemple de ce que l'on peut obtenir en combinant des déformations de figures et des modifications continues d'isométries. Partons d'un quadrilatère quelconque (figure 17). Par une rotation d'un demi-tour (une symétrie centrale) accolons-lui un autre quadrilatère identique. Nous obtenons ainsi un hexagone dont les côtés opposés sont parallèles et de même longueur (figure 18). Par des translations appropriées, assemblons plusieurs hexagones de ce type. Nous obtenons un pavage du plan par ces hexagones, et donc aussi par le quadrilatère de départ (figure 19).

Ceci fait, si nous déformons à la souris le quadrilatère de départ, tous les autres suivent, et le pavage entier se transforme. Les figures 20, 21 et 22 montrent trois pavages obtenus ainsi par déformation continue du pavage de la figure 19.

Nous avons appelé *fichiers dynamiques* les figures ainsi construites en enchaînant (en liant) des créations de figures et des transformations, de sorte que le résultat puisse à la fin se transformer comme un tout.

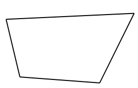

Fig. 17

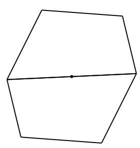

Fig. 18

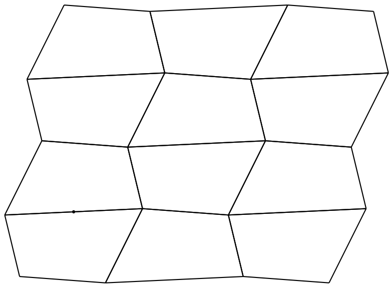

Fig. 19

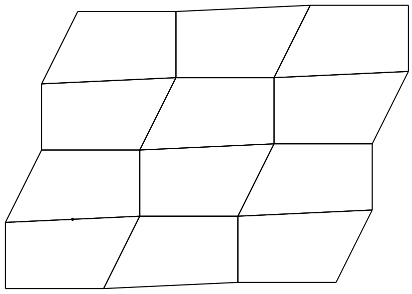

Fig. 20

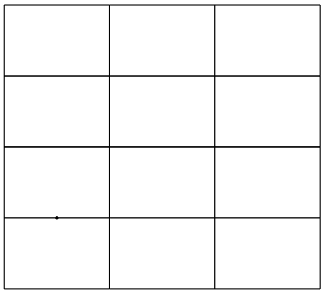

Fig. 21

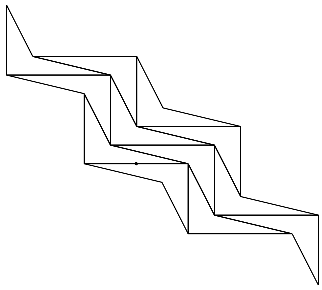

Fig. 22

2.4 Les autres possibilités du kit libre

Ajoutons enfin que les figures du kit libre peuvent, comme celles du kit standard, être découpées, assemblées et fusionnées. Le kit libre permet aussi de dessiner des perpendiculaires et des parallèles. Il permet enfin d'installer à l'écran deux trames de points, l'une à maille carrée et l'autre à maille triangulaire équilatérale. Quand ceci est fait, les sommets des polygones, grâce à la propriété magnétique, s'installent automatiquement sur des points de la trame. Ces trames réalisent à l'écran ce que l'on peut faire avec un géoplan.

3 Deux ou trois idées

Quelques mots enfin sur les principes qui ont inspiré la conception d'AG.

Le kit standard, avec ses figures invariables, aisément reconnaissables, ainsi que ses opérations et ses mouvements simples, est adapté à l'intelligence des situations (voir par exemple H. Wallon [1970]), qui correspond à ce que J. Piaget appelait le stade des opérations concrètes. En ce sens, il convient bien aux petits enfants. Néanmoins, il peut aussi être exploité beaucoup plus loin dans la géométrie euclidienne, la construction des fractions et l'élaboration de la notion de mesure.

Le kit libre par contre, avec ses figures continûment déformables, quoique répondant toujours à une définition, conduit naturellement à une mathématique raisonnée, démonstrative. Les objets qui se présentent sous une infinité d'avatars (de cas de figure) sont identifiables davantage par les propriétés qui les caractérisent que par la perception de leur forme et de leur grandeur (puisque celles-ci sont éminemment variables).

D'autre part, la constance des formes (et même des dimensions) dans le kit standard montre clairement que la géométrie qui s'y pratique est euclidienne. Le kit libre est au contraire un champ d'expérimentation des géométries affine et même projective. En ce sens, la philosophie d'AG est opposée à celle de J. Piaget et B. Inhelder [1947], pour qui l'apprentissage de la géométrie devait aller de la topologie à la projective, puis à l'affine et à la métrique. Mais cette conception de Piaget, qui mériterait pourtant d'être réexaminée en détail, semble aujourd'hui bien dépassée.

Remarquons qu'AG n'offre à l'utilisateur aucune mesure, non plus qu'aucun instrument de mesure tout fait. L'idée est que ce logiciel donne accès essentiellement aux grandeurs non encore mesurées, celles-ci étant le terrain qui motive et rend possible la construction de la notion de mesure.

Ajoutons pour terminer qu'AG est susceptible de rendre ses utilisateurs sensibles à la beauté des figures géométriques. Comme l'a si justement souligné Mach, les symétries suscitent un sentiment esthétique, élémentaire certes, mais réel, et qui est intimement associé à la compréhension des phénomènes géométriques.

3.1 La documentation

Au cours de l'année de la mise au point d'Apprenti Géomètre, l'équipe de recherche s'est aussi attachée à produire une brochure d'accompagnement qui devrait permettre de cerner correctement AG dans ses différentes dimensions. Cette brochure, comprenant trois parties, s'organise comme suit.

- La première a principalement pour but d'exposer le contexte conceptuel. Elle comprend quatre chapitres. Le chapitre 1 contient le mode d'emploi dans lequel l'utilisateur pourra aller puiser l'information nécessaire à la prise en main du logiciel. Le chapitre 2 définit le contexte informatique. Le chapitre 3 expose le champ épistémologique des grandeurs, fractions et mesures. Le chapitre 4 justifie l'existence des familles de figures dans le kit standard.
- La deuxième, comprenant trois chapitres, cerne le cadre pédagogique et comprend quelques activités à réaliser en classe. Le chapitre 5 décrit le contexte pédagogique dans lequel nous avons pensé les activités d'enseignement-apprentissage. Les chapitres 6, 7 et 8, quant à eux, proposent des activités sur base de situations-problèmes pour les classes du CE2 au Collège.
- La troisième comprend les fiches de travail correspondant aux activités. Ces fiches sont photocopiables ou peuvent être imprimées à partir des fichiers pdf disponibles sur le site.

Aux activités des chapitres 6, 7 et 8 correspondent des fichiers informatiques contenus dans trois dossiers intitulés *Initiation, Perimaire* et *Integration* (voir figure 24). Ces dossiers sont aussi à télécharger sur le site.

3.2 Le téléchargement

Le logiciel AG et ses composants (figure 23), les dossiers contenant les fichiers accompagnant les activités préparées (figure 24), ainsi que la brochure d'accompagnement (figure 25) peuvent être téléchargés gratuitement à partir du site suivant :
`http://www.enseignement.be/geometre`
Il est à noter qu'en ce qui concerne les fichiers composants le logiciel AG (figure 23), seul le fichier *Apprenti Géomètre* peut être ouvert par l'utilisateur, et ce par un double clic de souris. Les autres ne sont pas accessibles, ils permettent le fonctionnement du logiciel.
Les dossiers de la figure 24 contiennent les fichiers à ouvrir à partir d'Apprenti Géomètre et à utiliser au cours des activités décrites dans la brochure aux chapitres 6, 7 et 8.
Les fichiers de la figure 25 sont les documents au format pdf que l'on peut consulter soit au format écran, plus convivial, soit au format papier, prêt à l'impression.
On trouve sur ce même site de nouvelles activités construites au cours de la deuxième année de recherche, ainsi que des informations concernant l'utilisation du logiciel. Ce site permet de télécharger tant la version disponible pour Mac que celle fonctionnant sous Windows. Certains fichiers ont été compressés et demandent donc, pour pouvoir les ouvrir après téléchargement, d'employer des logiciels tels que *StuffitExpander* pour Mac ou *WinZip* pour Windows. De même pour la lecture de la brochure d'accompagnement, il est nécessaire de posséder le logiciel *Acrobat Reader*. Tous ces logiciels peuvent être téléchargés à partir des liens prévus sur le site.

Fig. 23

Fig. 24

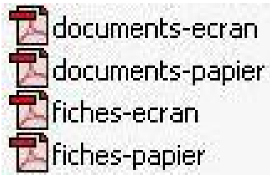

Fig. 25

4 Bibliographie

R.Bkouche [1991], Variations autour de la réforme de 1902/1905, in H. Gispert et al. coord., *La forme mathématique*, Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences et Société Mathématique de France, Paris.

CREM [2003], *Apprenti Géomètre*, Communauté Française de Belgique et Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, Bruxelles et Nivelles.

H. Freudenthal [1973], *Mathematics as an educational task*, Reidel, Dordrecht.

L. Lismont et N. Rouche coord. [2001], *Formes et mouvements, perspectives pour l'enseignement de la géométrie*, CREM, Nivelles.

E. Mach [1922], *L'analyse des sensations, le rapport du physique au psychique*, trad. de l'allemand par F. Eggers et J.-M. Monnoyer, Éditions Jacqueline Chambon, Nîmes, 1996.

J. Piaget et B. Inhelder [1947], *La représentation de l'espace chez l'enfant*, Presses Universitaires de France, Paris.

H. Wallon [1970], *De l'acte à la pensée, essai de psychologie comparée*, Flammarion, Paris.