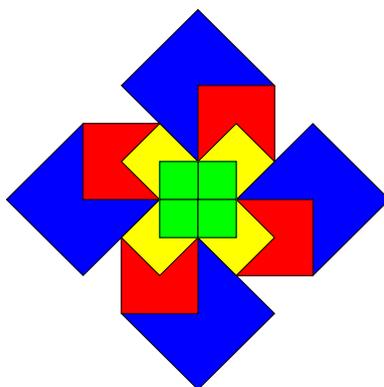


Guide utilisateur du logiciel

Apprenti Géomètre

version 2.6.2



3 août 2021

Les modifications apportées à *Apprenti Géomètre*

Version 2.6.2

Deux modifications importantes ont été apportées aux opérations concernant les couleurs.

- Les opérations qui se trouvaient dans le menu **Outils** ont été déplacées vers le menu **Préférences** sous la mention *Couleurs par défaut*. Elles ne permettent plus de modifier les couleurs (de fond ou de bord) d'une forme géométrique déjà construite, mais de déterminer les couleurs (également de fond ou de bord) des formes construites dans la suite. Il s'agit donc d'un nouveau choix des couleurs par défaut. (Lors de l'ouverture du logiciel, la couleur des bords des formes est le noir et les intérieurs (les fonds) ne sont pas colorés).
- Pour modifier les couleurs d'une forme déjà construite, il convient désormais d'utiliser le menu contextuel. On ne peut alors traiter qu'une forme à la fois.

L'opération permettant de modifier les couleurs des familles de formes standard n'a subi aucune modification mais elle a été également déplacée dans le menu **Préférences** car il s'agit aussi d'une opération de détermination de couleurs par défaut.

Quelques aménagements ont été aussi réalisés aux fins d'améliorer les méthodes de modification de certaines situations comportant des arcs de cercle.

Version 2.5.7

Une nouvelle fonctionnalité a été introduite dans cette version 2.5.7 : il s'agit d'une opération dénommée « AutoIntersection » qui permet de construire les points d'intersection d'un polygone croisé. L'exemple le plus simple est celui du pentagone régulier étoilé. Les points d'intersection des diagonales intérieures étant ainsi construits, l'utilisateur peut créer immédiatement le petit pentagone convexe régulier dessiné par les diagonales. La nouvelle fonctionnalité est décrite au chapitre 7, section 9.

Par ailleurs des routines qui gouvernent les modifications des figures ont été en grande partie revues. Il en résulte moins de blocages qu'auparavant.

Version 2.5.5

En plus des corrections ou petites modifications inhérentes à une mise à jour, on a développé dans la version 2.5.5 d'*Apprenti Géomètre* une fonctionnalité déjà présente dans les versions précédentes, mais peu utilisable. Il s'agit de la possibilité donnée à l'utilisateur de charger une

image en fond d'écran. Il n'est désormais plus nécessaire d'adapter la taille de l'image à celle de l'écran, ce qui entraînait souvent une déformation peu souhaitable. Il est maintenant possible de choisir l'emplacement d'une image plus petite que l'écran (neuf places sont prévues) sans en modifier la taille. Cette amélioration nous a été suggérée par la personne responsable de l'utilisation des ordinateurs dans une école qui accueille des enfants handicapés pour lesquels les aspects ergonomiques peuvent être importants.

Version 2.5.2

La version 2.5.2 comporte une nouveauté importante puisqu'il s'agit de la possibilité de choisir pour un polygone l'affichage soit de son aire arithmétique, soit son aire algébrique. La différence entre les deux est inévitable dès lors que tout polygone est muni d'une orientation. Pour des polygones orientés positivement et non croisés, les deux aires sont égales. Dans tous les autres cas, elles peuvent être différentes.

Avec les élèves d'école primaire, seule l'aire arithmétique est utilisée. Il en est généralement de même dans le degré inférieur du secondaire. Néanmoins certains énoncés, certains raisonnements sont plus généraux, plus cohérents si on utilise l'aire algébrique. C'est à l'enseignant de faire son choix.

Le choix par défaut est celui de l'aire arithmétique. Pour accéder à l'aire algébrique, l'utilisateur doit soit cocher la case « Aire algébrique » dans le menu *Préférences*, soit flécher les côtés du polygone via le menu contextuel. Ces informations sont reprises aux sections 10.2.3 et 12.2.8 du présent guide utilisateur.

Quelques dysfonctionnements ont également été corrigés.

Version 2.5.0

Mis à part une nouveauté importante du point de vue technique, la version 2.5.0 ne comporte que peu d'innovations d'ordre fonctionnel. Commençons donc par le changement technique, lequel devrait réjouir presque tous ceux qui disposent d'un ordinateur travaillant en 64 bits : **Apprenti Géomètre** existe désormais en deux versions, une version « 32 bits » et une version « 64 bits ». Pourquoi « presque tous ceux » ? Parce que, malheureusement, le compilateur que nous utilisons, s'il nous fournit des versions 32 bits et 64 bits pour les ordinateurs fonctionnant sous *Windows* ou *Linux*, ne nous fournit que la seule version 32 bits pour les ordinateurs *Macintosh*. Espérons que la version 64 bits soit réalisable bientôt !

En ce qui concerne le logiciel lui-même, beaucoup de changements ont permis d'améliorer son fonctionnement sans nécessiter un nouvel apprentissage pour l'utilisateur. Il en est deux qui nécessitent plus de commentaires.

Le premier concerne l'introduction parmi les formes libres d'un nouveau type d'objet géométrique : les secteurs de disque. Ils sont accessibles à partir de l'un des menus C et AC. Les secteurs de disque se manipulent essentiellement comme les arcs, mais comme leur bord est une courbe fermée, il est possible d'en colorier l'intérieur, ce qui n'est pas possible avec un arc. Les secteurs de disque font partie de la famille du cercle (voir au chapitre 3).

Une autre innovation — plus importante — est la possibilité de rendre désormais la couleur de fond d'une forme géométrique semi-transparente. Si deux formes sont coloriées en mode semi-transparent, leur intersection éventuelle est coloriée en une troisième couleur sans qu'il soit nécessaire de construire géométriquement la dite intersection. Par exemple, si deux bandes

coloriées en semi-transparence se croisent, leur intersection est clairement visible sans qu'il soit nécessaire d'en construire le parallélogramme. De plus les modifications induites par le déplacement d'une bande par rapport à l'autre sont immédiatement visibles.

Vous trouverez au chapitre 10 des figures permettant d'apprécier les différences entre les modes *Opaque*, *Semi-transparent* et *Transparent*.

Version 2.4.1

La plupart des modifications introduites dans cette version 2.4.1 sont des corrections d'erreurs ou de dysfonctionnements du logiciel apparaissant lors de l'exécution de figures relativement compliquées. Toutefois, une modification plus importante devrait être appréciée par les utilisateurs dans des classes de l'enseignement primaire : les formes standard ne sont désormais plus mises sur le même pied que les formes libres pour ce qui concerne l'orientation. Concrètement cela signifie surtout que l'aire d'une telle forme ne change plus de signe quand on la retourne et que la fusion de deux formes standard est plus simple que celle de deux formes libres. Précisons qu'il reste possible de flécher les côtés d'une forme standard de façon à en montrer le sens de parcours.

Version 2.4.0

Outre les corrections de bugs et modifications purement cosmétiques, cette nouvelle version comporte des innovations notables.

- L'innovation la plus importante consiste en l'introduction dans le logiciel du concept de macro. Une macro résulte de l'enregistrement d'une séquence d'instructions, lesquelles peuvent elles-mêmes être des macros. Il en résulte l'adjonction au présent guide d'un chapitre 9, nouveau, que l'utilisateur voudra bien consulter attentivement.
- L'utilisateur a désormais la possibilité de convertir des formes libres en formes standard, créant ainsi de nouvelles familles de formes standard. À cet effet, il utilisera la fonctionnalité **Standardiser** du menu *Fichiers*. Voir page 19.
- Des transformations géométriques supplémentaires ont été introduites dans le menu *Transformations*. Il s'agit
 1. des déplacements généraux, c'est à dire des rotations et translations définies à partir de deux points et de leurs images. Il n'est donc plus nécessaire de connaître ni le centre ni l'angle d'une rotation pour la construire. Cette nouvelle possibilité donnera à l'utilisateur la possibilité de reporter des longueurs, d'un segment ou d'une droite sur un segment ou une droite. Voir page 73.
 2. de deux types de transformations affines : les étirements et les cisaillements. Ces transformations permettent par exemple de construire une ellipse en tant qu'image d'un cercle. Voir page 76.

Version 2.3.9

- L'interface a été revue afin de permettre à l'utilisateur de modifier la taille des polices de caractères utilisées.
- Le dessin et la gestion des cercles, arcs et formes hybrides ont été complètement révisés. On ne peut cependant pas encore fusionner deux formes hybrides.

- La routine de **fusion** des formes libres a été modifiée de sorte que toute modification à une des deux formes fusionnées ou au résultat de la fusion se répercute sur les deux autres formes. La fusion de deux polygones tient compte de l'orientation de ceux-ci.
- La routine de construction d'un point d'intersection de deux formes a été améliorée dans le cas de deux segments superposés.
- La routine d'**ajustement** a été modifiée de façon à faciliter la fusion de deux formes géométriques.
- La **règle de choix** des points fixes lors de la modification d'une figure a été modifiée.
- Il est désormais possible d'augmenter ou diminuer le nombre de décimales affichées pour les **longueurs et aires**.

Les versions 2.3.7 et 2.3.8

La version 2.3.7 résulte de la conjonction de deux processus :

- Le premier processus se réalise en permanence ; il concerne l'amélioration des performances du logiciel. De ce point de vue, nous pouvons citer pour la version 2.3.7
 - la suppression d'erreurs de programmation, qui affectaient principalement les fonctionnalités **Annuler** et **Refaire**, ainsi que la lecture d'un historique (qui utilise les mêmes méthodes que **Refaire**).
 - le remaniement de la routine qui gouverne les modifications de figures, et à ce titre constitue l'élément central du logiciel. La nouvelle routine de modification devrait permettre un dynamisme plus souple et provoquer moins de blocages de figures que la précédente. À vérifier. . .
 - la réécriture des routines de gestion des figures hybrides. Le résultat atteint est bon. Mais des difficultés subsistent. Elles nécessitent une modification de la structure même d'une figure hybride. Ce sera — peut-être — pour la prochaine version.
- Le deuxième processus est l'introduction de nouvelles fonctionnalités. La version 2.3.7 en comporte plusieurs.
 - L'opération **Dupliquer** permet désormais de dupliquer un « point sur » un segment vers un cercle ou un arc de cercle.
 - Un « point sur » un arc de cercle peut être animé, via le menu contextuel.
 - Un « point sur » un polygone peut être astreint à rester sur un côté. Il n'a donc plus accès à l'intégralité du polygone. La commande **Limiter au côté** a été introduite à cet effet dans le menu contextuel.
- Il est désormais possible de cacher une transformation géométrique, sans cacher son support.
- Enfin, à partir du menu **Préférences**, il est désormais possible de changer les unités de longueur et d'aire utilisées pour l'affichage des mesures correspondantes.

La version 2.3.8 diffère de la version 2.3.7 essentiellement par la correction d'une erreur de programmation qui entraînait des déformations intempestives de certaines figures lors d'un mouvement. Quelques autres améliorations portent sur la gestion des points d'intersection et des formes conditionnées.

Avant-propos

La première version du logiciel *Apprenti Géomètre* est apparue en 2003, pour répondre au désir du Ministre de l'Enseignement fondamental Jean-Marc NOLLET de mettre à la disposition des élèves d'école primaire un logiciel leur permettant de réaliser des activités géométriques intuitives, basées notamment sur l'emploi de « mouvements ». Le ministre chargea le CREM de concevoir ce logiciel et en confia la réalisation à une firme privée.

Dès le départ, les responsables du CREM estimèrent que — dans une optique de continuité entre l'enseignement fondamental et l'enseignement secondaire — le logiciel devait être complété de quelques fonctionnalités simples accessibles tant à la fin de l'école primaire qu'au début du secondaire. De là naquit une organisation d'*Apprenti Géomètre 1* en deux « kits » : un « kit standard » comportant des formes indéformables qui peuvent être déplacées, découpées, fusionnées. . . et un « kit libre » comportant des formes géométriques « classiques », triangles quelconques, rectangles, isocèles. . . pouvant être déformées à volonté, ainsi que des points et des segments mais pas d'objets « illimités » tels que des droites ou bandes.

Les expérimentations réalisées à partir de 2003 montrèrent l'intérêt du logiciel tant dans l'enseignement primaire que dans les premières années de l'enseignement secondaire et encouragèrent les responsables du CREM à compléter le « kit libre » par des fonctionnalités plus élaborées fournissant aux élèves du secondaire plus de possibilités dans le cadre d'activités de résolution de problèmes. La deuxième version d'*Apprenti Géomètre* qui en résulta — connue sous le nom d'*Apprenti Géomètre 2* — a été réalisée sans aide officielle et uniquement grâce aux moyens humains et matériels du CREM. Elle a été mise à disposition des élèves et des enseignants à partir de janvier 2008. Elle incorpore des objets « illimités » et augmente considérablement les possibilités d'utiliser des transformations géométriques (translations, symétries, rotations, homothéties et similitudes). Depuis lors, elle a connu de nombreuses corrections et améliorations, qui ont abouti à la version 2.3.5 actuelle.

La version 2 est fidèle à la version 1. On y retrouve donc le « kit standard » et le « kit libre », quoique sous de nouveaux noms, à savoir le « Menu A » et le « Menu B ». Les fonctionnalités nouvelles par rapport à la version 1 figurent pour la plupart dans une extension du « Menu B » dénommée « Menu C ». Cette répartition en trois menus permet de délimiter l'utilisation d'*Apprenti Géomètre* du début de l'école primaire à la fin du secondaire.

La conception de la version 1 d'*Apprenti Géomètre* a été l'œuvre d'une équipe du CREM dirigée par Nicolas ROUCHE et comportant également Michel BALLIEU, Marie-France GUISSARD et Marie-Françoise VAN TROEYE. Les premières expérimentations de cette version ont été réalisées par Marie-Françoise VAN TROEYE et Philippe SKILBECQ.

La version 2 a été conçue et réalisée par une équipe dirigée par Guy NOËL et comprenant également Bernard HONCLAIRE pour la conception et Geoffrey PLIEZ pour la programmation. Elle a été expérimentée par Philippe SKILBECQ et André VANDENBRUAENE lors d'une recherche du CREM, menée de 2005 à 2007, à laquelle participaient de plus Sébastien AGIE, Pierrette DE RIJCK, Michel HERMAN, Philippe MAIRESSE et Gregory PHILIPPART. Cette version 2 a été régulièrement mise à jour, de sorte qu'on en est actuellement à la version 2.5.7.

Une première version du guide utilisateur a été rédigée par Sébastien AGIE, Pauline LAMBRECHT et Guy NOËL. La présente version résulte de remaniements et de compléments apportés à la première version par Guy NOËL avec la collaboration de Pauline LAMBRECHT.

Table des matières

1	Généralités	1
1.1	Un logiciel de géométrie dynamique	1
1.2	Un logiciel évolutif	2
1.3	Un logiciel libre	3
2	Les formes standard	13
2.1	Introduction	13
2.2	Construire une forme standard	13
2.3	Le jeu de base	14
2.3.1	La famille du triangle équilatéral	15
2.3.2	La famille du carré	16
2.3.3	La famille du pentagone régulier	17
2.4	Les formes standard : quelques options	17
2.5	Créer de nouvelles familles de formes standard	19
2.5.1	Standardiser	19
2.5.2	Écriture d'un fichier d'instructions	20
3	Les formes libres	23
3.1	Introduction	23
3.2	Des formes orientées	24
3.3	Formes Libres	24
3.3.1	La famille du point	25
3.3.2	La famille des segments	25
3.3.3	La famille des triangles	26
3.3.4	La famille des quadrilatères	26
3.3.5	La famille des polygones quelconques	27
3.3.6	La famille des polygones réguliers	27
3.3.7	La famille du cercle	27

3.4	Abandonner une construction	28
3.5	Une remarque	28
4	Fichier, Fenêtres et Édition	31
4.1	Introduction	31
4.2	Fichier	31
4.2.1	Fichier/Nouveau	31
4.2.2	Fichier/Ouvrir	31
4.2.3	Fichier/Fermer	32
4.2.4	Fichier/Standardiser	32
4.2.5	Fichier/Sauvegarder	32
4.2.6	Fichier/Sauvegarder sous	32
4.2.7	Fichier/Exporter en Postscript	33
4.2.8	Fichier/Exporter en fichier bitmap	33
4.2.9	Fichier/Imprimer	34
4.2.10	Fichier/Quitter	34
4.3	Fenêtres	34
4.4	Édition	34
4.4.1	Édition/Annuler et Refaire	35
4.4.2	Édition/Sélectionner-Désélectionner et Sélectionner tout	35
4.4.3	Édition/Resélection automatique	38
4.4.4	Édition/Lier et Délier	39
4.4.5	Édition/Copier et Coller	39
4.4.6	Édition/Supprimer	40
5	Mouvements	41
5.1	Introduction	41
5.2	Glisser	41
5.3	Tourner	43
5.4	Retourner	44
5.5	Zoomer	45
6	Modifier	47
6.1	Introduction	47
6.2	Tirer sur un point	47
6.3	Des figures et des sous-figures	49

6.3.1	Formes et figures	49
6.3.2	Des formes et des figures qui sont modifiées par similitude	49
6.3.3	Des formes et des figures qui se modifient par affinité	51
6.3.4	Figures et sous-figures	52
6.3.5	Des formes particulières	53
7	Opérations	55
7.1	Introduction	55
7.2	Opérations/Diviser	55
7.3	Opérations/Découper	57
7.4	Opérations/Fusionner	60
7.5	Opérations/Dupliquer	63
7.6	Opérations/Prolonger	66
7.7	Opérations/Construire le centre	66
7.8	Opérations/Identifier	66
7.9	AutoIntersection	69
8	Transformations	71
8.1	Introduction	71
8.2	Définir une transformation	71
8.2.1	Définir/Translation	71
8.2.2	Définir/Rotation	72
8.2.3	Définir/Demi-tour	72
8.2.4	Définir/Quart de tour à gauche	72
8.2.5	Définir/Quart de tour à droite	72
8.2.6	Définir/Déplacement	73
8.2.7	Définir/Symétrie axiale	73
8.2.8	Définir/Homothétie	74
8.2.9	Définir/Similitude	75
8.2.10	Définir/Étirement	76
8.2.11	Définir/Cisaillement	78
8.3	Appliquer	79
8.4	Transformations et mouvements	81
8.5	Point fixe	85
8.6	Montrer-Cacher des transformations	86

9	Macros	87
9.1	Qu'est-ce qu'une macro ?	87
9.2	Créer une macro	87
9.2.1	Les opérations disponibles	88
9.2.2	La pratique	88
9.3	Exécuter une macro	89
9.4	La sauvegarde des macros	90
9.5	Quelques remarques terminales	90
10	Outils	93
10.1	Introduction	93
10.2	Outils/Nommer	93
10.2.1	Attribuer une étiquette à une forme	93
10.2.2	Placer un titre	94
10.2.3	Afficher une mesure	95
10.3	Outils/Opacité	96
10.4	Outils/Modifier l'épaisseur	97
10.5	Outils/Punaiser-Dépunaiser	97
10.6	Outils/Montrer-Cacher des formes	98
10.7	Outils/Avant-plan et Outils/Arrière-plan	99
10.8	Outils/Grille	99
10.9	Outils/Lire un historique	100
11	Un menu contextuel	103
11.1	Introduction	103
11.2	Les sous-menus possibles	104
12	Préférences, etc.	109
12.1	Introduction	109
12.2	Préférences	109
12.2.1	Fond d'écran	109
12.2.2	Couleurs par défaut	110
12.2.3	Couleur Famille Standard	110
12.2.4	Distance de magnétisme	111
12.2.5	Epaisseur des traits	111
12.2.6	Ajustement automatique	111

12.2.7	Trajectoire	111
12.2.8	Formes pointées	112
12.2.9	Formes fléchées	112
12.2.10	Formes bifaces	112
12.2.11	Aire	113
12.2.12	Unité de longueur et Unité d'aire	113
12.3	Notes	114
12.4	Aide	114
12.4.1	Afficher l'aide	114
12.4.2	Guide Utilisateur	114
12.4.3	Visiter le site AG	115
12.4.4	À propos	115
12.5	Configuration	115

1.1 Un logiciel de géométrie dynamique

Apprenti Géomètre est un logiciel de « géométrie dynamique ». Il constitue un *micro-monde* qui laisse l'entière initiative à l'utilisateur, enseignant ou élève. Il permet notamment à celui-ci de travailler les mathématiques élémentaires, non seulement la géométrie euclidienne mais également des sujets tels que *grandeurs, fractions, mesures ou arithmétique*.

Apprenti Géomètre permet d'amener directement à l'écran les formes géométriques les plus usuelles (triangles, quadrilatères, etc.) qui sont préprogrammées, puis d'agir sur celles-ci à l'aide d'une série d'outils. En outre, les formes ayant des relations particulières entre elles sont assemblées en « familles » ⁽¹⁾.

Par ailleurs, ces formes peuvent subir différentes opérations simples à l'écran telles que **glisser, tourner, retourner, découper, fusionner** ou encore **colorier, dupliquer, sélectionner**.

Des transformations — au sens mathématique du terme : translations, rotations, symétries, homothéties, similitudes, affinités — peuvent également être définies et utilisées.

Les formes, transformations et fonctionnalités sont présentées en cinq *menus* ⁽²⁾, ou configurations prédéfinies. Trois de ces menus sont désignés par les lettres A, B et C. Les deux autres, dénommés AB et AC sont obtenus par juxtaposition des fonctionnalités de deux des menus précédents. D'autres menus pourraient apparaître dans les versions futures. Ils peuvent être modifiés à volonté par l'enseignant qui désire moduler les fonctionnalités accessibles à ses élèves. L'enseignant peut également créer de nouveaux menus-configurations en assemblant les éléments qui lui paraissent utiles et nécessaires dans un contexte déterminé.

Les menus A, B et C peuvent être décrits sommairement comme suit :

- Le menu A reprend les fonctionnalités du « Kit standard » de la version 1 d'*Apprenti Géomètre*. Il est particulièrement destiné aux élèves de 8 à 12 ans ; ceci ne veut pas dire qu'il soit sans aucun intérêt pour des élèves plus âgés, voire même plus jeunes. Dans ce menu, l'élève a accès à des familles de formes géométriques préprogrammées et indéformables qu'il apprend à reconnaître, à assembler en utilisant des mouvements (glisser, tourner, retourner...).
- Les fonctionnalités du « Kit libre » de la version 1 d'*Apprenti Géomètre* se retrouvent dans le menu B. Ce menu est normalement accessible dès la fin de l'école primaire. Par rapport au menu A, l'élève dispose d'outils plus élaborés, notamment la possibilité de créer des formes qui peuvent être modifiées à volonté. Ces formes sont néanmoins préprogrammées

1. Les différents sens de ce mot sont précisés dans la suite.

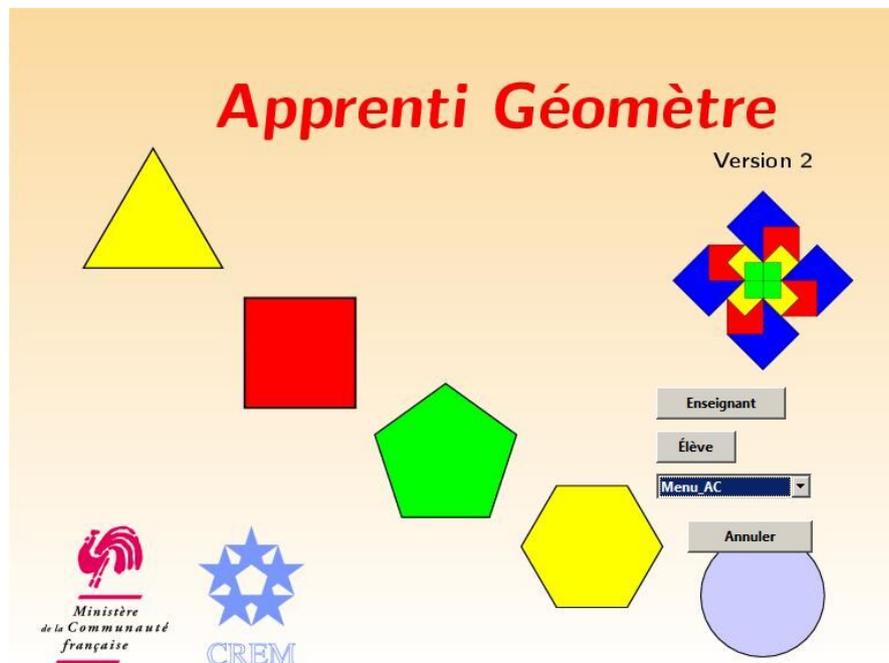
2. Le mot « menu » est aussi utilisé pour désigner les « menus déroulants » qui apparaissent à l'écran comme dans tout logiciel. Le contexte devrait permettre d'éviter toute confusion entre les menus-configurations A, B, C, AB, AC et ces menus déroulants ou les items de menus déroulants.

et regroupées en familles (la famille des triangles, celle des quadrilatères, etc.) de manière à ce que l'environnement soit organisé rationnellement. L'élève peut de plus réaliser des constructions basées sur le parallélisme et la perpendicularité. Il peut aussi placer des points sur des objets et — en plus des mouvements — utiliser des transformations géométriques telles que translation, rotation, symétrie axiale.

- Le menu C, absent de la version 1 du logiciel, propose des objets de taille infinie tels que droites, demi-droites, bandes, secteurs, tous objets utiles, voire indispensables pour l'étude de la géométrie dès le début du secondaire. Il propose aussi des transformations supplémentaires (homothéties, similitudes et affinités).

PRATIQUEMENT

À l'ouverture du logiciel, la fenêtre d'entrée — reproduite ci-dessous — offre à l'utilisateur le choix entre cinq possibilités : les menus A, B, C, AB et AC. L'utilisateur sélectionne, par un clic dans le menu déroulant, le menu qu'il désire utiliser. En sélectionnant un des menus AB ou AC, il dispose selon le cas à la fois des menus A et B ou des menus A et C. Il n'est pas prévu de sélectionner à la fois B et C car le menu B est intégralement inclus au menu C.



Dans cette même fenêtre, l'utilisateur doit s'identifier soit en tant qu'élève soit en tant qu'enseignant. L'élève indique son nom d'utilisateur. Lorsqu'il lance le logiciel après l'installation, l'enseignant n'est pas tenu d'introduire un mot de passe. Mais dès qu'il en a défini un via le menu *Configuration/Personnaliser*, menu auquel un élève n'a pas accès, l'enseignant doit introduire son mot de passe. Il peut alors accéder aux compte-rendus historiques des travaux de tous ses élèves.

1.2 Un logiciel évolutif

Les objets de la géométrie ont, comme tous les objets mathématiques, la particularité d'être des objets abstraits. Autrement dit, ce sont des créations de la pensée humaine et ils n'ont aucune existence matérielle. Ils ont cependant des liens directs avec le monde matériel qui nous entoure, sans quoi ils seraient complètement inutiles. Les objets géométriques servent à *modéliser* des

configurations matérielles. Ils rendent celles-ci accessibles au raisonnement.

Mais, du fait qu'ils n'existent que dans la pensée, il importe que les objets géométriques soient définis avec beaucoup de précision. Il est en effet nécessaire, sous peine d'incompréhension totale, que deux personnes différentes n'utilisent pas le même mot pour désigner des choses différentes. Cet objectif de précision est plus difficile à atteindre qu'on ne pourrait le croire. Le sens des mots a évolué au cours des siècles parce que les mathématiciens ressentaient la nécessité de cette évolution.

Un exemple simple est celui du mot *droite*. Jusque dans le courant du XIX^e siècle, il désignait couramment ce que nous appelons aujourd'hui un *segment*. On pouvait donc *prolonger* une droite. De nos jours, les droites sont des objets illimités, de longueur infinie, et il est donc devenu impossible de les prolonger.

Cette modification du sens des mots intervenue au fil des siècles a son pendant durant l'apprentissage des mathématiques. Il est difficile de faire admettre par un jeune enfant qu'une droite puisse être illimitée. Il considérera comme synonymes les deux mots *segment* et *droite*. Au fil de son apprentissage, la différence lui apparaîtra. Les deux mots désigneront alors des objets différents, quoique apparentés. Nous dirons que son *concept* de droite a évolué.

Un logiciel de géométrie, destiné à l'enseignement se doit de tenir compte de l'évolution des concepts des élèves. Autrement dit, il tiendra compte du niveau d'études des élèves en leur fournissant un environnement informatique adapté.

Ainsi qu'il a été indiqué à la section précédente, *Apprenti Géomètre* facilite la prise en compte d'élèves de niveaux différents par la diversité des menus disponibles. De plus, l'enseignant peut lui-même affiner le caractère évolutif du logiciel en créant de nouveaux menus par un choix dans la liste complète des fonctionnalités disponibles. Il peut aussi modifier le vocabulaire utilisé selon ses préférences.

1.3 Un logiciel libre

Apprenti Géomètre est un logiciel *libre*, distribué sous licence GNU GPL. Il en résulte que les sources du logiciel peuvent être téléchargées et que l'utilisateur est libre de les modifier à sa guise. En particulier chacun est autorisé à modifier ou supprimer des fonctionnalités existantes ou encore d'en ajouter de nouvelles. Les versions ainsi modifiées ne peuvent en aucun cas faire l'objet d'une exploitation commerciale, ni être incorporées à des logiciels commerciaux.

Les conditions d'utilisation, de modification et de reproduction du logiciel sont reprises dans la licence GNU GPL, dont nous reproduisons ci-dessous le texte :

GNU GENERAL PUBLIC LICENSE

Version 3, 29 June 2007

Copyright (C) 2007 Free Software Foundation, Inc. <<http://fsf.org/>> Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

Preamble

The GNU General Public License is a free, copyleft license for software and other kinds of works.

The licenses for most software and other practical works are designed to take away your freedom to share and change the works. By contrast, the GNU General Public License is intended to guarantee your freedom to share and change all versions of a program—to make sure it remains free software for

all its users. We, the Free Software Foundation, use the GNU General Public License for most of our software; it applies also to any other work released this way by its authors. You can apply it to your programs, too.

When we speak of free software, we are referring to freedom, not price. Our General Public Licenses are designed to make sure that you have the freedom to distribute copies of free software (and charge for them if you wish), that you receive source code or can get it if you want it, that you can change the software or use pieces of it in new free programs, and that you know you can do these things.

To protect your rights, we need to prevent others from denying you these rights or asking you to surrender the rights. Therefore, you have certain responsibilities if you distribute copies of the software, or if you modify it : responsibilities to respect the freedom of others.

For example, if you distribute copies of such a program, whether gratis or for a fee, you must pass on to the recipients the same freedoms that you received. You must make sure that they, too, receive or can get the source code. And you must show them these terms so they know their rights.

Developers that use the GNU GPL protect your rights with two steps : (1) assert copyright on the software, and (2) offer you this License giving you legal permission to copy, distribute and/or modify it.

For the developers' and authors' protection, the GPL clearly explains that there is no warranty for this free software. For both users' and authors' sake, the GPL requires that modified versions be marked as changed, so that their problems will not be attributed erroneously to authors of previous versions.

Some devices are designed to deny users access to install or run modified versions of the software inside them, although the manufacturer can do so. This is fundamentally incompatible with the aim of protecting users' freedom to change the software. The systematic pattern of such abuse occurs in the area of products for individuals to use, which is precisely where it is most unacceptable. Therefore, we have designed this version of the GPL to prohibit the practice for those products. If such problems arise substantially in other domains, we stand ready to extend this provision to those domains in future versions of the GPL, as needed to protect the freedom of users.

Finally, every program is threatened constantly by software patents. States should not allow patents to restrict development and use of software on general-purpose computers, but in those that do, we wish to avoid the special danger that patents applied to a free program could make it effectively proprietary. To prevent this, the GPL assures that patents cannot be used to render the program non-free.

The precise terms and conditions for copying, distribution and modification follow.

Terms and conditions

1. Definitions

"This License" refers to version 3 of the GNU General Public License.

"Copyright" also means copyright-like laws that apply to other kinds of works, such as semiconductor masks.

"The Program" refers to any copyrightable work licensed under this License. Each licensee is addressed as "you". "Licensees" and "recipients" may be individuals or organizations.

To "modify" a work means to copy from or adapt all or part of the work in a fashion requiring copyright permission, other than the making of an exact copy. The resulting work is called a "modified version" of the earlier work or a work "based on" the earlier work.

A "covered work" means either the unmodified Program or a work based on the Program.

To "propagate" a work means to do anything with it that, without permission, would make you directly or secondarily liable for infringement under applicable copyright law, except executing it on a computer or modifying a private copy. Propagation includes copying, distribution (with or without modification), making available to the public, and in some countries other activities as well.

To "convey" a work means any kind of propagation that enables other parties to make or receive copies. Mere interaction with a user through a computer network, with no transfer of a copy, is not conveying.

An interactive user interface displays "Appropriate Legal Notices" to the extent that it includes a convenient and prominently visible feature that (1) displays an appropriate copyright notice, and (2) tells the user that there is no warranty for the work (except to the extent that warranties are provided), that licensees may convey the work under this License, and how to view a copy of this License. If the interface presents a list of user commands or options, such as a menu, a prominent item in the list meets this criterion.

2. Source Code

The "source code" for a work means the preferred form of the work for making modifications to it. "Object code" means any non-source form of a work.

A "Standard Interface" means an interface that either is an official standard defined by a recognized standards body, or, in the case of interfaces specified for a particular programming language, one that is widely used among developers working in that language.

The "System Libraries" of an executable work include anything, other than the work as a whole, that (a) is included in the normal form of packaging a Major Component, but which is not part of that Major Component, and (b) serves only to enable use of the work with that Major Component, or to implement a Standard Interface for which an implementation is available to the public in source code form. A "Major Component", in this context, means a major essential component (kernel, window system, and so on) of the specific operating system (if any) on which the executable work runs, or a compiler used to produce the work, or an object code interpreter used to run it.

The "Corresponding Source" for a work in object code form means all the source code needed to generate, install, and (for an executable work) run the object code and to modify the work, including scripts to control those activities. However, it does not include the work's System Libraries, or general-purpose tools or generally available free programs which are used unmodified in performing those activities but which are not part of the work. For example, Corresponding Source includes interface definition files associated with source files for the work, and the source code for shared libraries and dynamically linked subprograms that the work is specifically designed to require, such as by intimate data communication or control flow between those subprograms and other parts of the work.

The Corresponding Source need not include anything that users can regenerate automatically from other parts of the Corresponding Source.

The Corresponding Source for a work in source code form is that same work.

3. Basic Permissions

All rights granted under this License are granted for the term of copyright on the Program, and are irrevocable provided the stated conditions are met. This License explicitly affirms your unlimited permission to run the unmodified Program. The output from running a covered work is covered by this License only if the output, given its content, constitutes a covered work. This License acknowledges your rights of fair use or other equivalent, as provided by copyright law. You may make, run and propagate covered works that you do not convey, without conditions so long as your license otherwise remains in force. You may convey covered works to others for the sole purpose of having them make modifications exclusively for you, or provide you with facilities for running those works, provided that you comply with the terms of this License in conveying all material for which you do not control copyright. Those thus making or running the covered works for you must do so exclusively on your behalf, under your direction and control, on terms that prohibit them from making any copies of your copyrighted material outside their relationship with you.

Conveying under any other circumstances is permitted solely under the conditions stated below. Sublicensing is not allowed; section 10 makes it unnecessary.

4. Protecting Users' Legal Rights From Anti-Circumvention Law

No covered work shall be deemed part of an effective technological measure under any applicable law fulfilling obligations under article 11 of the WIPO copyright treaty adopted on 20 December 1996, or similar laws prohibiting or restricting circumvention of such measures.

When you convey a covered work, you waive any legal power to forbid circumvention of technological measures to the extent such circumvention is effected by exercising rights under this License with respect to the covered work, and you disclaim any intention to limit operation or modification of the work as a means of enforcing, against the work's users, your or third parties' legal rights to forbid circumvention of technological measures.

5. Conveying Verbatim Copies

You may convey verbatim copies of the Program's source code as you receive it, in any medium, provided that you conspicuously and appropriately publish on each copy an appropriate copyright notice; keep intact all notices stating that this License and any non-permissive terms added in accord with section 7 apply to the code; keep intact all notices of the absence of any warranty; and give all recipients a copy of this License along with the Program.

You may charge any price or no price for each copy that you convey, and you may offer support or warranty protection for a fee.

6. Conveying Modified Source Versions

You may convey a work based on the Program, or the modifications to produce it from the Program, in the form of source code under the terms of section 4, provided that you also meet all of these conditions :

- a) The work must carry prominent notices stating that you modified it, and giving a relevant date.
- b) The work must carry prominent notices stating that it is released under this License and any conditions added under section 7. This requirement modifies the requirement in section 4 to "keep intact all notices".
- c) You must license the entire work, as a whole, under this License to anyone who comes into possession of a copy. This License will therefore apply, along with any applicable section 7 additional terms, to the whole of the work, and all its parts, regardless of how they are packaged. This License gives no permission to license the work in any other way, but it does not invalidate such permission if you have separately received it.
- d) If the work has interactive user interfaces, each must display Appropriate Legal Notices; however, if the Program has interactive interfaces that do not display Appropriate Legal Notices, your work need not make them do so.

A compilation of a covered work with other separate and independent works, which are not by their nature extensions of the covered work, and which are not combined with it such as to form a larger program, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the compilation and its resulting copyright are not used to limit the access or legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. Inclusion of a covered work in an aggregate does not cause this License to apply to the other parts of the aggregate.

7. Conveying Non-Source Forms

You may convey a covered work in object code form under the terms of sections 4 and 5, provided that you also convey the machine-readable Corresponding Source under the terms of this License, in one of these ways :

- a) Convey the object code in, or embodied in, a physical product (including a physical distribution medium), accompanied by the Corresponding Source fixed on a durable physical medium customarily used for software interchange.
- b) Convey the object code in, or embodied in, a physical product (including a physical distribution medium), accompanied by a written offer, valid for at least three years and valid for as

long as you offer spare parts or customer support for that product model, to give anyone who possesses the object code either (1) a copy of the Corresponding Source for all the software in the product that is covered by this License, on a durable physical medium customarily used for software interchange, for a price no more than your reasonable cost of physically performing this conveying of source, or (2) access to copy the Corresponding Source from a network server at no charge.

c) Convey individual copies of the object code with a copy of the written offer to provide the Corresponding Source. This alternative is allowed only occasionally and noncommercially, and only if you received the object code with such an offer, in accord with subsection 6b.

d) Convey the object code by offering access from a designated place (gratis or for a charge), and offer equivalent access to the Corresponding Source in the same way through the same place at no further charge. You need not require recipients to copy the Corresponding Source along with the object code. If the place to copy the object code is a network server, the Corresponding Source may be on a different server (operated by you or a third party) that supports equivalent copying facilities, provided you maintain clear directions next to the object code saying where to find the Corresponding Source. Regardless of what server hosts the Corresponding Source, you remain obligated to ensure that it is available for as long as needed to satisfy these requirements.

e) Convey the object code using peer-to-peer transmission, provided you inform other peers where the object code and Corresponding Source of the work are being offered to the general public at no charge under subsection 6d.

A separable portion of the object code, whose source code is excluded from the Corresponding Source as a System Library, need not be included in conveying the object code work.

A "User Product" is either (1) a "consumer product", which means any tangible personal property which is normally used for personal, family, or household purposes, or (2) anything designed or sold for incorporation into a dwelling. In determining whether a product is a consumer product, doubtful cases shall be resolved in favor of coverage. For a particular product received by a particular user, "normally used" refers to a typical or common use of that class of product, regardless of the status of the particular user or of the way in which the particular user actually uses, or expects or is expected to use, the product. A product is a consumer product regardless of whether the product has substantial commercial, industrial or non-consumer uses, unless such uses represent the only significant mode of use of the product.

"Installation Information" for a User Product means any methods, procedures, authorization keys, or other information required to install and execute modified versions of a covered work in that User Product from a modified version of its Corresponding Source. The information must suffice to ensure that the continued functioning of the modified object code is in no case prevented or interfered with solely because modification has been made.

If you convey an object code work under this section in, or with, or specifically for use in, a User Product, and the conveying occurs as part of a transaction in which the right of possession and use of the User Product is transferred to the recipient in perpetuity or for a fixed term (regardless of how the transaction is characterized), the Corresponding Source conveyed under this section must be accompanied by the Installation Information. But this requirement does not apply if neither you nor any third party retains the ability to install modified object code on the User Product (for example, the work has been installed in ROM).

The requirement to provide Installation Information does not include a requirement to continue to provide support service, warranty, or updates for a work that has been modified or installed by the recipient, or for the User Product in which it has been modified or installed. Access to a network may be denied when the modification itself materially and adversely affects the operation of the network or violates the rules and protocols for communication across the network.

Corresponding Source conveyed, and Installation Information provided, in accord with this section must be in a format that is publicly documented (and with an implementation available

to the public in source code form), and must require no special password or key for unpacking, reading or copying.

8. Additional Terms

"Additional permissions" are terms that supplement the terms of this License by making exceptions from one or more of its conditions. Additional permissions that are applicable to the entire Program shall be treated as though they were included in this License, to the extent that they are valid under applicable law. If additional permissions apply only to part of the Program, that part may be used separately under those permissions, but the entire Program remains governed by this License without regard to the additional permissions.

When you convey a copy of a covered work, you may at your option remove any additional permissions from that copy, or from any part of it. (Additional permissions may be written to require their own removal in certain cases when you modify the work.) You may place additional permissions on material, added by you to a covered work, for which you have or can give appropriate copyright permission.

Notwithstanding any other provision of this License, for material you add to a covered work, you may (if authorized by the copyright holders of that material) supplement the terms of this License with terms :

- a) Disclaiming warranty or limiting liability differently from the terms of sections 15 and 16 of this License ; or
- b) Requiring preservation of specified reasonable legal notices or author attributions in that material or in the Appropriate Legal Notices displayed by works containing it ; or
- c) Prohibiting misrepresentation of the origin of that material, or requiring that modified versions of such material be marked in reasonable ways as different from the original version ; or
- d) Limiting the use for publicity purposes of names of licensors or authors of the material ; or
- e) Declining to grant rights under trademark law for use of some trade names, trademarks, or service marks ; or
- f) Requiring indemnification of licensors and authors of that material by anyone who conveys the material (or modified versions of it) with contractual assumptions of liability to the recipient, for any liability that these contractual assumptions directly impose on those licensors and authors.

All other non-permissive additional terms are considered "further restrictions" within the meaning of section 10. If the Program as you received it, or any part of it, contains a notice stating that it is governed by this License along with a term that is a further restriction, you may remove that term. If a license document contains a further restriction but permits relicensing or conveying under this License, you may add to a covered work material governed by the terms of that license document, provided that the further restriction does not survive such relicensing or conveying.

If you add terms to a covered work in accord with this section, you must place, in the relevant source files, a statement of the additional terms that apply to those files, or a notice indicating where to find the applicable terms.

Additional terms, permissive or non-permissive, may be stated in the form of a separately written license, or stated as exceptions ; the above requirements apply either way.

9. Termination

You may not propagate or modify a covered work except as expressly provided under this License. Any attempt otherwise to propagate or modify it is void, and will automatically terminate your rights under this License (including any patent licenses granted under the third paragraph of section 11).

However, if you cease all violation of this License, then your license from a particular copyright holder is reinstated (a) provisionally, unless and until the copyright holder explicitly and finally

terminates your license, and (b) permanently, if the copyright holder fails to notify you of the violation by some reasonable means prior to 60 days after the cessation.

Moreover, your license from a particular copyright holder is reinstated permanently if the copyright holder notifies you of the violation by some reasonable means, this is the first time you have received notice of violation of this License (for any work) from that copyright holder, and you cure the violation prior to 30 days after your receipt of the notice.

Termination of your rights under this section does not terminate the licenses of parties who have received copies or rights from you under this License. If your rights have been terminated and not permanently reinstated, you do not qualify to receive new licenses for the same material under section 10.

10. Acceptance Not Required for Having Copies

You are not required to accept this License in order to receive or run a copy of the Program. Ancillary propagation of a covered work occurring solely as a consequence of using peer-to-peer transmission to receive a copy likewise does not require acceptance. However, nothing other than this License grants you permission to propagate or modify any covered work. These actions infringe copyright if you do not accept this License. Therefore, by modifying or propagating a covered work, you indicate your acceptance of this License to do so.

11. Automatic Licensing of Downstream Recipients

Each time you convey a covered work, the recipient automatically receives a license from the original licensors, to run, modify and propagate that work, subject to this License. You are not responsible for enforcing compliance by third parties with this License.

An "entity transaction" is a transaction transferring control of an organization, or substantially all assets of one, or subdividing an organization, or merging organizations. If propagation of a covered work results from an entity transaction, each party to that transaction who receives a copy of the work also receives whatever licenses to the work the party's predecessor in interest had or could give under the previous paragraph, plus a right to possession of the Corresponding Source of the work from the predecessor in interest, if the predecessor has it or can get it with reasonable efforts.

You may not impose any further restrictions on the exercise of the rights granted or affirmed under this License. For example, you may not impose a license fee, royalty, or other charge for exercise of rights granted under this License, and you may not initiate litigation (including a cross-claim or counterclaim in a lawsuit) alleging that any patent claim is infringed by making, using, selling, offering for sale, or importing the Program or any portion of it.

12. Patents

A "contributor" is a copyright holder who authorizes use under this License of the Program or a work on which the Program is based. The work thus licensed is called the contributor's "contributor version".

A contributor's "essential patent claims" are all patent claims owned or controlled by the contributor, whether already acquired or hereafter acquired, that would be infringed by some manner, permitted by this License, of making, using, or selling its contributor version, but do not include claims that would be infringed only as a consequence of further modification of the contributor version. For purposes of this definition, "control" includes the right to grant patent sublicenses in a manner consistent with the requirements of this License.

Each contributor grants you a non-exclusive, worldwide, royalty-free patent license under the contributor's essential patent claims, to make, use, sell, offer for sale, import and otherwise run, modify and propagate the contents of its contributor version.

In the following three paragraphs, a "patent license" is any express agreement or commitment, however denominated, not to enforce a patent (such as an express permission to practice a patent or covenant not to sue for patent infringement). To "grant" such a patent license to a party means to make such an agreement or commitment not to enforce a patent against the party.

If you convey a covered work, knowingly relying on a patent license, and the Corresponding Source of the work is not available for anyone to copy, free of charge and under the terms of this License, through a publicly available network server or other readily accessible means, then you must either (1) cause the Corresponding Source to be so available, or (2) arrange to deprive yourself of the benefit of the patent license for this particular work, or (3) arrange, in a manner consistent with the requirements of this License, to extend the patent license to downstream recipients. "Knowingly relying" means you have actual knowledge that, but for the patent license, your conveying the covered work in a country, or your recipient's use of the covered work in a country, would infringe one or more identifiable patents in that country that you have reason to believe are valid.

If, pursuant to or in connection with a single transaction or arrangement, you convey, or propagate by procuring conveyance of, a covered work, and grant a patent license to some of the parties receiving the covered work authorizing them to use, propagate, modify or convey a specific copy of the covered work, then the patent license you grant is automatically extended to all recipients of the covered work and works based on it.

A patent license is "discriminatory" if it does not include within the scope of its coverage, prohibits the exercise of, or is conditioned on the non-exercise of one or more of the rights that are specifically granted under this License. You may not convey a covered work if you are a party to an arrangement with a third party that is in the business of distributing software, under which you make payment to the third party based on the extent of your activity of conveying the work, and under which the third party grants, to any of the parties who would receive the covered work from you, a discriminatory patent license (a) in connection with copies of the covered work conveyed by you (or copies made from those copies), or (b) primarily for and in connection with specific products or compilations that contain the covered work, unless you entered into that arrangement, or that patent license was granted, prior to 28 March 2007. Nothing in this License shall be construed as excluding or limiting any implied license or other defenses to infringement that may otherwise be available to you under applicable patent law.

13. No Surrender of Others' Freedom

If conditions are imposed on you (whether by court order, agreement or otherwise) that contradict the conditions of this License, they do not excuse you from the conditions of this License. If you cannot convey a covered work so as to satisfy simultaneously your obligations under this License and any other pertinent obligations, then as a consequence you may not convey it at all. For example, if you agree to terms that obligate you to collect a royalty for further conveying from those to whom you convey the Program, the only way you could satisfy both those terms and this License would be to refrain entirely from conveying the Program.

14. Use with the GNU Affero General Public License

Notwithstanding any other provision of this License, you have permission to link or combine any covered work with a work licensed under version 3 of the GNU Affero General Public License into a single combined work, and to convey the resulting work. The terms of this License will continue to apply to the part which is the covered work, but the special requirements of the GNU Affero General Public License, section 13, concerning interaction through a network will apply to the combination as such.

15. Revised Versions of this License

The Free Software Foundation may publish revised and/or new versions of the GNU General Public License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns.

Each version is given a distinguishing version number. If the Program specifies that a certain numbered version of the GNU General Public License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that numbered version or of any later version published by the Free Software Foundation. If the Program does not specify a

version number of the GNU General Public License, you may choose any version ever published by the Free Software Foundation.

If the Program specifies that a proxy can decide which future versions of the GNU General Public License can be used, that proxy's public statement of acceptance of a version permanently authorizes you to choose that version for the Program.

Later license versions may give you additional or different permissions. However, no additional obligations are imposed on any author or copyright holder as a result of your choosing to follow a later version.

16. Disclaimer of Warranty

THERE IS NO WARRANTY FOR THE PROGRAM, TO THE EXTENT PERMITTED BY APPLICABLE LAW. EXCEPT WHEN OTHERWISE STATED IN WRITING THE COPYRIGHT HOLDERS AND/OR OTHER PARTIES PROVIDE THE PROGRAM "AS IS" WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. THE ENTIRE RISK AS TO THE QUALITY AND PERFORMANCE OF THE PROGRAM IS WITH YOU. SHOULD THE PROGRAM PROVE DEFECTIVE, YOU ASSUME THE COST OF ALL NECESSARY SERVICING, REPAIR OR CORRECTION.

17. Limitation of Liability.

IN NO EVENT UNLESS REQUIRED BY APPLICABLE LAW OR AGREED TO IN WRITING WILL ANY COPYRIGHT HOLDER, OR ANY OTHER PARTY WHO MODIFIES AND/OR CONVEYS THE PROGRAM AS PERMITTED ABOVE, BE LIABLE TO YOU FOR DAMAGES, INCLUDING ANY GENERAL, SPECIAL, INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THE PROGRAM (INCLUDING BUT NOT LIMITED TO LOSS OF DATA OR DATA BEING RENDERED INACCURATE OR LOSSES SUSTAINED BY YOU OR THIRD PARTIES OR A FAILURE OF THE PROGRAM TO OPERATE WITH ANY OTHER PROGRAMS), EVEN IF SUCH HOLDER OR OTHER PARTY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

18. Interpretation of Sections 15 and 16

If the disclaimer of warranty and limitation of liability provided above cannot be given local legal effect according to their terms, reviewing courts shall apply local law that most closely approximates an absolute waiver of all civil liability in connection with the Program, unless a warranty or assumption of liability accompanies a copy of the Program in return for a fee.

Chapitre 2

Les formes standard

2.1 Introduction

Les formes *standard* sont des formes géométriques indéformables, ce qui les distingue des formes *libres* qui seront décrites au chapitre 3. Les fonctionnalités — largement communes aux formes standard et aux formes libres — qui permettent de manipuler ces formes seront décrites aux chapitres suivants. Les formes standard sont accessibles à partir de l'un des menus A, AB ou AC. Après que l'utilisateur ait sélectionné un de ces menus, une fenêtre s'ouvre, comportant en haut une barre de *menus* où figurent notamment des *outils* et des *opérations*.

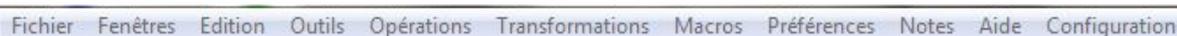


Fig. 1

Sur la gauche de l'écran apparaît une *boîte à outils* avec un *pavé de mouvements* et un *pavé de formes standard*. Le reste de l'écran constitue la *fenêtre de dessin* où une *figure* sera construite. Les touches , et permettent de modifier la taille des caractères des textes affichés sur les différents boutons (mais pas ceux de la barre des menus). Depuis la version 2.5.0, la taille des *étiquettes* apposées par l'utilisateur sur une figure sont également modifiées. Ceci permet de faciliter l'utilisation du logiciel par des personnes malvoyantes.

Par défaut, les formes standard sont celles du *jeu de base*. D'autres jeux de formes standard peuvent être choisis via le menu *Préférences* (voir le paragraphe 2.4).

2.2 Construire une forme standard

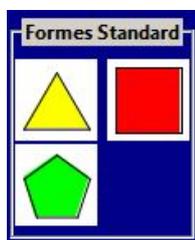


Fig. 2

Un jeu de formes standard est constitué d'une ou plusieurs *familles* de formes. Chaque famille est accessible via une icône affichée dans le pavé de formes standard de la boîte à outils. Un clic sur une de ces icônes fait apparaître une fenêtre comportant autant de boutons-poussoirs qu'il y a de formes dans la famille sélectionnée. Ces boutons permettent de choisir la forme qui sera dessinée.

Le dessin d'une forme standard est complètement déterminé par la fixation d'un point, appelé le « point de référence » de la forme. Il s'agit généralement (mais pas toujours) du sommet « inférieur-gauche ».



Lors de la construction d'une forme géométrique, il peut arriver que l'utilisateur réalise involontairement un « double clic ». En d'autres termes, il clique deux fois dans un intervalle de temps très court et en deux points très proches l'un de l'autre, ce qui peut fausser sa construction. L'ordinateur est programmé de manière à considérer comme double clic deux clics distants de moins d'un dixième de seconde et en des positions distantes de moins de 5 pixels. Dans ce cas, il affiche un message adéquat et annule le deuxième clic.

PRATIQUEMENT

- Sélectionner une des familles du jeu de formes utilisé en cliquant sur l'icône symbole de cette famille.
- Le clic fait apparaître une fenêtre de boutons poussoirs, un pour chaque forme de la famille. Quand le curseur de la souris survole un bouton de cette fenêtre, l'icône symbole de la famille est remplacée par l'icône représentant la forme correspondant au bouton survolé.
- Sélectionner une des formes de la famille en cliquant sur le bouton-poussoir correspondant. Le curseur de la souris prend la forme d'une croix.
- Cliquer dans la fenêtre de dessin : la forme sélectionnée est dessinée, son point de référence est placé à l'emplacement du clic.
- Tout clic supplémentaire dans la fenêtre de dessin fait apparaître un exemplaire supplémentaire de la forme sélectionnée.



Si l'utilisateur entreprend de construire une forme standard alors que d'autres formes (standard ou non) sont déjà dessinées à l'écran, chaque fois que le curseur de la souris s'approche d'un point existant à une distance inférieure à la distance de magnétisme, la couleur de celui-ci vire au magenta et le message affiché devient « ce point ? ».



Si le clic est effectué à ce moment, le point de référence de la nouvelle forme est identifié au point déjà existant et les deux formes ont un sommet commun.

Fig. 3

2.3 Le jeu de base

Le jeu de base comprend trois familles de formes, chacune désignée par le nom d'un polygone régulier et symbolisée par l'icône correspondante. Deux principes ont gouverné la construction de ces familles :

- chaque famille comporte un nombre limité de formes simples et indéformables ;
- les formes d'une même famille ont entre elles des rapports simples de longueurs, d'angles et d'aires, de sorte qu'en les découpant, assemblant et fusionnant, il est possible de réaliser de nombreuses autres formes ou combinaisons géométriques intéressantes.

2.3.1 La famille du triangle équilatéral

La famille du triangle équilatéral comporte douze éléments :

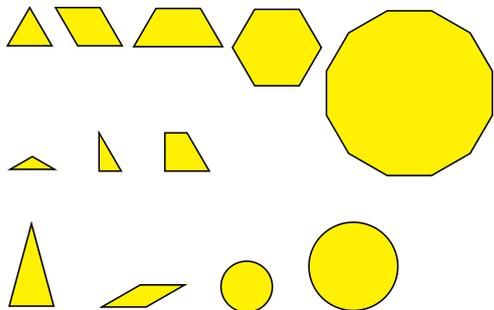


Fig. 4

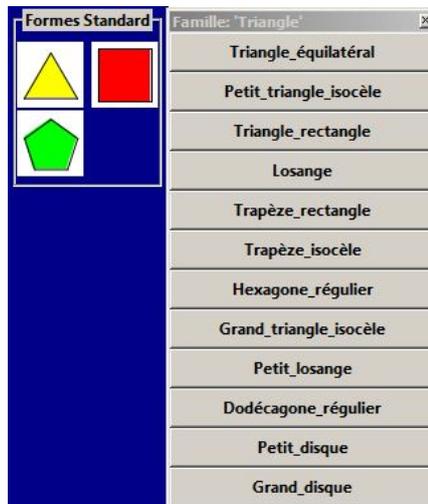


Fig. 5



Fig. 6

un triangle équilatéral, symbole de la famille ;



Fig. 12

un trapèze rectangle assemblage de trois triangles rectangles ;



Fig. 7

un losange formé de deux de ces triangles ;



Fig. 13

un dodécagone régulier ayant même côté que le triangle équilatéral ;

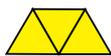


Fig. 8

un trapèze isocèle formé à partir de trois de ces triangles ;



Fig. 14

un grand triangle isocèle qui permet de paver le dodécagone ;



Fig. 9

un hexagone régulier formé à partir de six de ces triangles ;



Fig. 15

un petit losange déterminé par trois sommets consécutifs du dodécagone ;



Fig. 10

un triangle isocèle tiers du triangle équilatéral ;



Fig. 16

un petit disque dans lequel on peut inscrire un triangle équilatéral ;



Fig. 11

un triangle rectangle moitié du triangle équilatéral ;

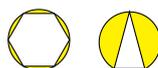


Fig. 17

un grand disque dans lequel on peut inscrire l'hexagone et le grand triangle isocèle.

2.3.2 La famille du carré

La famille du carré comporte neuf éléments :

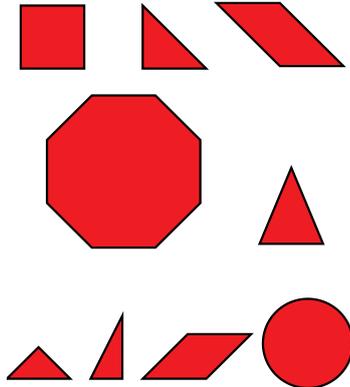


Fig. 18

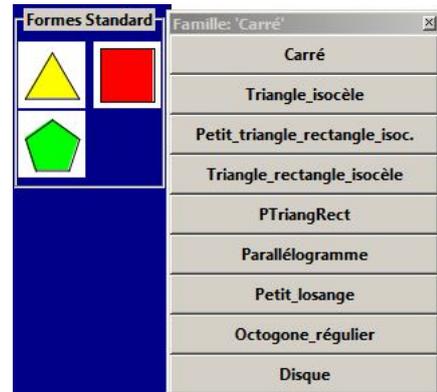


Fig. 19



Fig. 20

un carré, symbole de la famille ;



Fig. 24

un triangle isocèle huitième de l'octogone ;



Fig. 21

un triangle rectangle isocèle moitié du carré ;



Fig. 25

un petit triangle rectangle isocèle quart du carré ;



Fig. 22

un parallélogramme double du triangle ci-dessus ;



Fig. 26

un petit triangle rectangle également quart du carré ;



Fig. 23

un octogone régulier ayant même côté que le carré de référence ;



Fig. 27

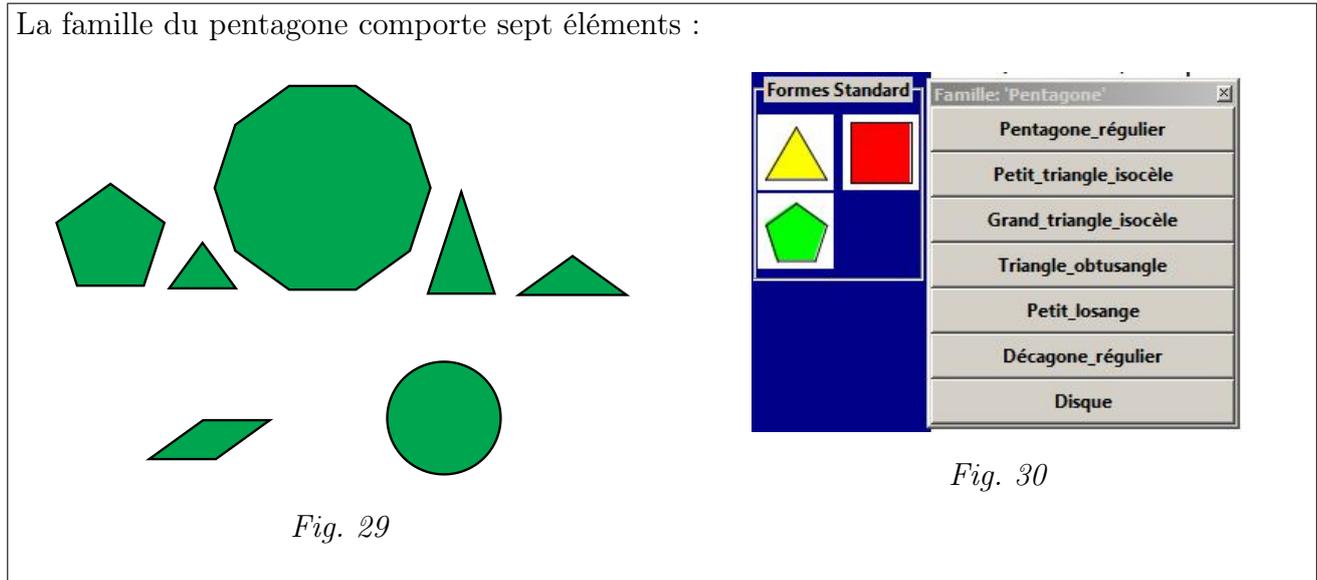
un losange déterminé par trois sommets consécutifs de l'octogone ;



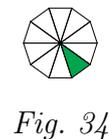
Fig. 28

et, enfin, un disque dans lequel on peut inscrire le carré de référence.

2.3.3 La famille du pentagone régulier



un pentagone régulier, symbole de la famille ;



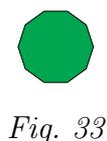
un grand triangle isocèle, dixième du décagone ;



un triangle isocèle, cinquième du pentagone ;



un triangle obtusangle apparaissant dans le pavage du pentagone ;



un décagone régulier ayant même côté que le pentagone régulier ;



un petit losange déterminé par trois sommets consécutifs du décagone ;



et, enfin, un disque dans lequel on peut inscrire un pentagone.

2.4 Les formes standard : quelques options

Via le menu *Préférences/Formes standard*, il est possible de modifier certaines caractéristiques des formes standard.

Remplacer le jeu de base par un autre jeu de formes standard

En plus du jeu de base, le programme d'installation d'*Apprenti Géomètre* enregistre sur le disque dur plusieurs fichiers (d'extension *.std*) comportant des formes manipulables de la même manière que celles du jeu de base.

- **Jeu réduit** ne contient qu'un sous-ensemble des pièces du jeu de base : neuf formes de la famille du triangle équilatéral, six formes de la famille du carré et six formes de la famille du pentagone régulier. Ce jeu peut être utilisé pour des activités élémentaires.
- **Polyminos** propose quatre familles de formes. La première est limitée à un carré et un rectangle 1×2 (un « domino »). La deuxième contient les deux triminos, la troisième contient les cinq quadriminos et enfin, la quatrième contient les douze pentaminos, donnant ainsi accès à une série de puzzles bien connus.

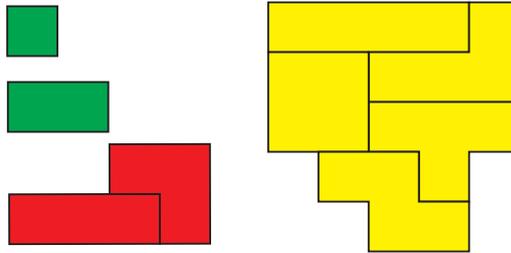


Fig. 38

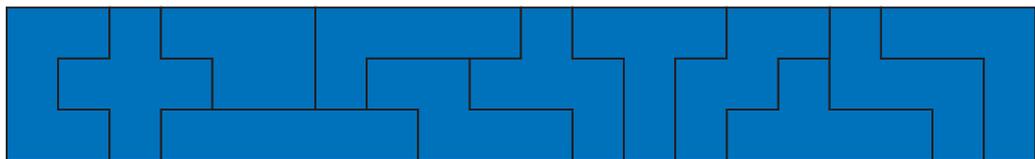


Fig. 39

- **Tangram** est un autre jeu tout aussi célèbre.

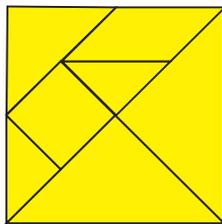


Fig. 40

La famille du Tangram ne contient que cinq pièces :

- un petit triangle,
- un triangle moyen,
- un grand triangle,
- un carré,
- un parallélogramme.

Le jeu du Tangram utilise sept pièces : le petit triangle et le grand triangle doivent être reproduits en deux exemplaires.

- **Etoiles** contient quatre étoiles pouvant être utiles lors d'activités libres, par exemple dans un but de décoration. Ces pièces n'étant pas convexes, leur découpage, ainsi que d'autres opérations, peuvent donner lieu à des surprises !

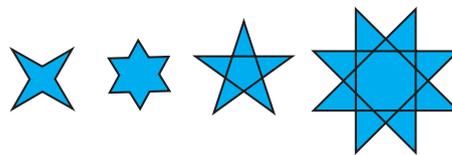


Fig. 41

- **Cubes** contient deux représentations d'un cube en perspective, ainsi que celle d'un cube « transparent ». Les deux premières sont baptisées *Modèle 1* et *Modèle 2*.

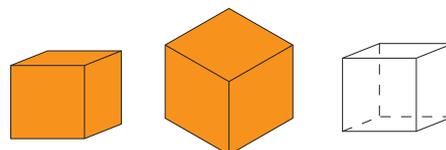


Fig. 42

Des figures spatiales peuvent ainsi être esquissées. Notons cependant qu'il n'est possible ni de **découper**, ni de **retourner**, ni de **fusionner**, ces cubes. (Voir ces fonctionnalités dans la suite.)

- **Réglettes** est destiné aux classes qui utilisent un matériel de ce type pour l'apprentissage du calcul.

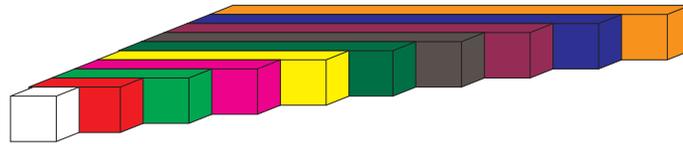


Fig. 43

D'autres jeux de formes pourraient être créés en vue de répondre à des besoins particuliers... nous vous laissons le soin de les découvrir.

Modifier la taille des formes

Trois tailles, allant de la taille par défaut à son triple, peuvent être sélectionnées via le menu **Préférences/Formes standard**.

2.5 Créer de nouvelles familles de formes standard

La création de nouvelles familles de formes standard est possible de deux manières : soit via la fonctionnalité **Standardiser** du menu *Fichiers*, soit via l'écriture d'un fichier d'instructions adéquat. Explicitons ces deux méthodes.

2.5.1 Standardiser

Imaginons la situation suivante. À partir d'un des menus B, C, AB ou AC, un enseignant a construit un carré : c'est une forme libre (voir le chapitre 3) qu'il peut agrandir à volonté. En joignant les milieux de deux côtés, il découpe (voir **Découper**) deux « coins » de ce carré en vue de réaliser une activité de puzzle : réassembler les trois pièces en un triangle rectangle isocèle.

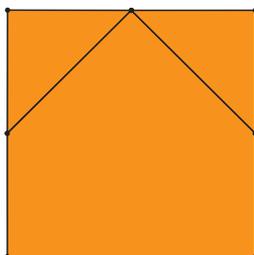


Fig. 44

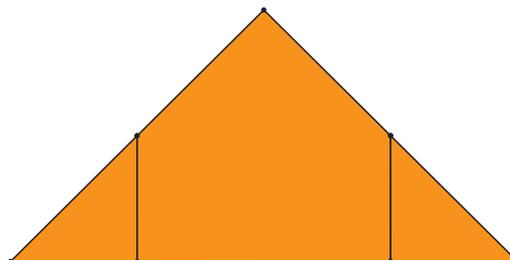


Fig. 45

Il y a intérêt à ce que les pièces d'un tel puzzle soient indéformables — donc des pièces standard — afin que l'élève ne risque pas de les déformer, fût-ce involontairement. C'est ici que la fonctionnalité **Standardiser** va intervenir : on commence par **sélectionner** simultanément les trois formes. On actionne ensuite l'item de menu *Fichiers.Standardiser*, ce qui fait apparaître une fenêtre :

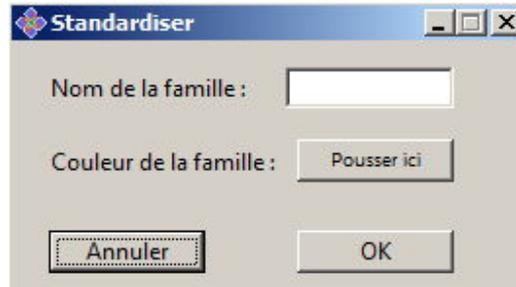


Fig. 46

Cette figure montre clairement que les formes sélectionnées vont constituer une famille. L'utilisateur indique le nom et la couleur qu'il donne à cette famille. En fait les formes qui sont déjà colorées conserveront leur couleur, celles qui ne le sont pas encore reçoivent la couleur de la famille.

Il est bon d'insister sur l'utilité d'attribuer un rôle fonctionnel au choix des couleurs. Si un fichier de formes standard comporte plusieurs familles, on attribuera généralement une couleur différente à chaque famille et cette couleur à toutes les formes de la famille. C'est par exemple le cas des formes du jeu de base. Il peut arriver aussi que la couleur serve à distinguer les formes d'une famille donnée. C'est le cas de la famille des réglettes. Dans tous les cas, le choix des couleurs doit constituer un élément de structuration.

Après la fermeture de la fenêtre précédente, le logiciel en ouvre une autre :

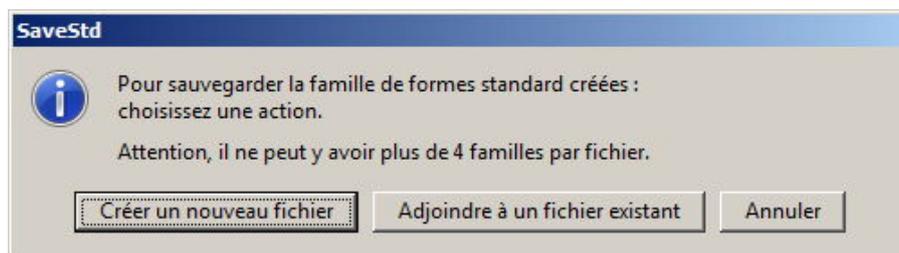


Fig. 47

Il s'agit cette fois de sauvegarder la famille de formes standard qui vient d'être constituée, soit dans un nouveau fichier (d'extension `.std`) soit dans un fichier déjà existant où il reste encore de la place, un fichier pouvant contenir jusqu'à quatre familles. Dans les deux cas, une troisième fenêtre s'ouvrira ensuite afin de choisir le nom du fichier de sauvegarde. Après quoi la nouvelle famille de formes standard sera disponible selon la procédure indiquée à la section 2.4. Si l'utilisateur a attribué une étiquette à une forme ayant ainsi été « standardisée », c'est ce nom qui apparaîtra sur le bouton de la fenêtre de construction de la famille de formes standards.

Remarque : Après que des formes libres aient été utilisées pour définir des formes standard, via l'opération qui vient d'être décrite, ces formes libres restent affichées à l'écran. De plus elle continuent d'être des formes libres. Pour avoir accès aux formes standard destinées à les remplacer, il convient de charger le nouveau fichier de formes standard, via le menu *Préférences*.

2.5.2 Écriture d'un fichier d'instructions

La fonctionnalité `Standardiser` qui vient d'être décrite est sans aucun doute beaucoup plus performante que l'écriture d'un fichier d'instructions. Toutefois les règles qui régissent une telle écriture permettent de mieux comprendre la façon dont le logiciel dessine les formes standard. C'est pourquoi nous maintenons cette section dans le guide utilisateur.

Un fichier d'instructions de définition d'une famille de formes standard doit avoir l'extension `.std`. Nous en décrivons ci-dessous la structure et la syntaxe. Tout fichier conforme aux règles qui suivent est reconnu par *Apprenti Géomètre* et manipulé de la même manière que les autres. En particulier, les icônes à insérer dans la boîte à outils seront créées automatiquement.

Le fichier ci-dessous est fictif, mais parfaitement correct. Il va nous servir d'illustration.

<code><FormesStandard></code>	<code><Arete Angle="0" Longueur="1"/></code>
<code><Famille Nom="Triangle"></code>	<code><Arete Angle="90" Longueur="1"/></code>
<code><Couleur Rouge="255" Vert="255" Bleu="0"/></code>	<code><Arete Angle="90" Longueur="1"/></code>
<code><Forme Nom="Triangle équilatéral"></code>	<code></Forme></code>
<code><Arete Angle="0" Longueur="1"/></code>	<code><Forme Nom="Octogone régulier"></code>
<code><Arete Angle="120" Longueur="1"/></code>	<code><Arete Angle="0" Longueur="1"/></code>
<code></Forme></code>	<code><Arete Angle="45" Longueur="1"/></code>
<code><Forme Nom="Losange"></code>	<code><Arete Angle="45" Longueur="1"/></code>
<code><Arete Angle="0" Longueur="1"/></code>	<code><Arete Angle="45" Longueur="1"/></code>
<code><Arete Angle="120" Longueur="1"/></code>	<code><Arete Angle="45" Longueur="1"/></code>
<code><Arete Angle="60" Longueur="1"/></code>	<code><Arete Angle="45" Longueur="1"/></code>
<code></Forme></code>	<code><Arete Angle="45" Longueur="1"/></code>
<code></Famille></code>	<code></Forme></code>
<code><Famille Nom="Carré"></code>	<code></Famille></code>
<code><Couleur Rouge="255" Vert="0" Bleu="0"/></code>	<code></FormesStandard></code>
<code><Forme Nom="Carré"></code>	

Un fichier de ce type peut être écrit avec n'importe quel traitement de texte, le plus rudimentaire étant le meilleur car il ne risque pas d'introduire des caractères de contrôle intempestifs dans le texte.

Le fichier est écrit en langage `xml`, un langage de la famille des langages « à balises ». Toute information doit être comprise entre une balise d'ouverture et une balise de fermeture.

Pour les fichiers de formes standard, la balise d'ouverture du fichier est `<FormesStandard>` et la balise de fermeture est `</FormesStandard>`. Le texte du fichier est placé entre les deux balises.

Dans le cas de notre exemple, le fichier définit deux familles de formes. La description de chacune d'entre elles commence par la balise d'ouverture `<Famille>` et se termine par la balise de fermeture `</Famille>`. La balise d'ouverture comporte aussi le nom de la famille : "Triangle" pour la première, "Carré" pour la seconde. Ces noms apparaîtront en tête des fenêtres de boutons-poussoirs.

La balise d'ouverture de la famille est suivie immédiatement de l'information de couleur de la famille : `<Couleur Rouge="255" Vert="255" Bleu="0"/>`. Ici les deux balises d'ouverture et de fermeture sont sur la même ligne : `<Couleur` et `/>`. La couleur est définie dans le système RGB, par un mélange de rouge, de vert et de bleu. Quand le mélange est constitué de rouge et de vert en proportions égales, le résultat est du jaune. Les nombres à indiquer peuvent varier entre 0 et 255.

Après l'information de couleur viennent les informations de tracé des formes, toujours des polygones : les formes telles que « disque » ou « cube » ne peuvent être définies de cette manière. Chaque description de forme débute par la balise d'ouverture `<Forme>`, laquelle contient aussi le nom de la forme tel qu'il apparaîtra sur le bouton-poussoir correspondant, et se termine par la balise de fermeture `</Forme>`. Entre les deux balises, on trouve autant de lignes que le polygone a de côtés MOINS 1. Chacune de ces lignes commence par une balise d'ouverture `<Arete` et se termine par une balise de fermeture `/>`.

Apprenti Géomètre procède de la façon suivante :

- Le premier sommet (point de référence) est positionné à l'emplacement du clic.
- Pour positionner les sommets suivants, *Apprenti Géomètre* utilise le principe de la géométrie-tortue, tel qu'il figure dans le langage de programmation Logo. Au départ la tortue est positionnée au premier sommet, donc à l'emplacement du clic, et elle est orientée à l'horizontale vers la droite, autrement dit son cap vaut 0.
- Ensuite *Apprenti Géomètre* extrait successivement de chaque ligne un angle et une longueur. L'angle est interprété comme un changement de cap de la tortue, la longueur comme celle d'un déplacement. La tortue pivote sur elle-même (de l'angle donné) avant d'effectuer le déplacement. Ces informations permettent de dessiner autant de côtés du polygone que la description comporte de lignes et donc d'atteindre le dernier sommet. Par exemple, pour dessiner les deux premiers côtés du triangle équilatéral de la première famille ci-dessus, *Apprenti Géomètre* va d'abord considérer l'angle 0 (le cap de la tortue ne change pas) et la longueur 1 : la petite bête avance de 1 vers la droite. Ensuite les indications deviennent 120 pour l'angle (la tortue tourne de 120° dans le sens positif) et 1 pour le déplacement : le deuxième côté aura même longueur que le premier. À l'issue de ces deux opérations, la tortue est au troisième sommet du triangle. Plus aucune information n'est nécessaire pour rejoindre le point de départ et le dessin du triangle se termine.

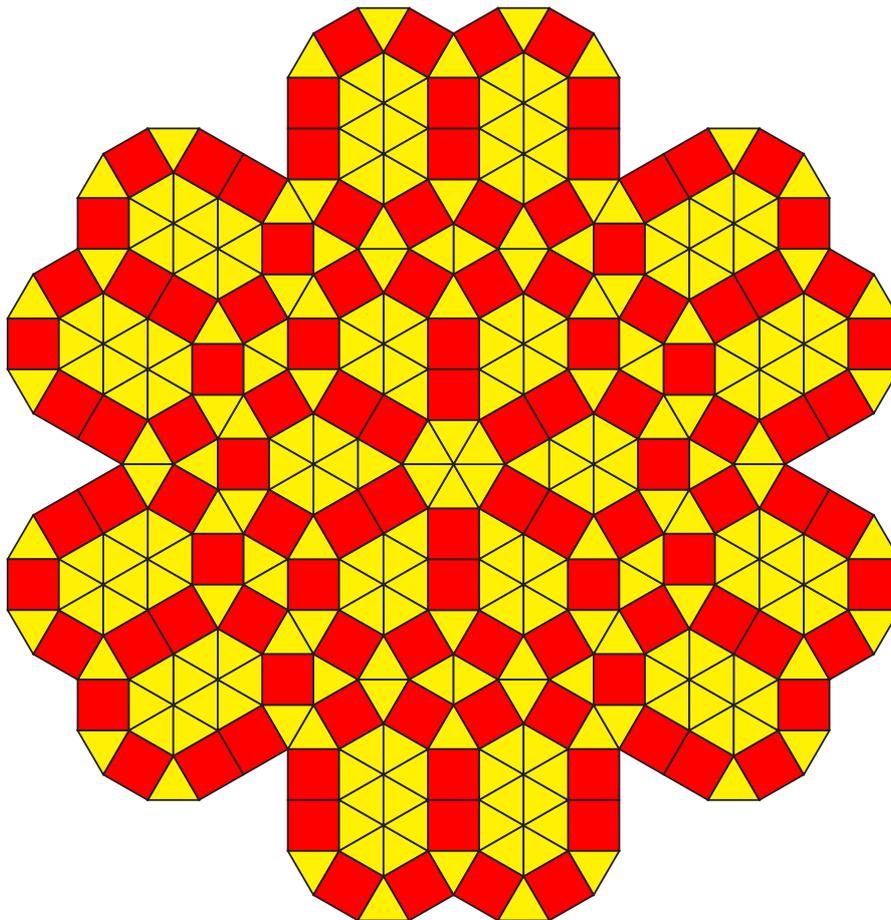


Fig. 48 : Une rosace « astrica » (ASsemblage de TRIangles et de CARRés)

3.1 Introduction

Comme le menu A, les menus B et C proposent des *objets* et des *fonctionnalités*.

Les objets des menus B et C sont des formes dites « libres ». Elles sont rassemblées en familles définies par leur nombre de côtés, la régularité... À la différence des formes standard, (mis à part le point) elles n'apparaissent plus d'un simple clic à l'écran. L'utilisateur les construit lui-même en fixant plusieurs sommets, un à la fois.

Les menus B et C sont très proches. En ce qui concerne les formes géométriques accessibles, le menu C se distingue du menu B par le fait qu'il propose des objets « illimités » : droites, demi-droites, secteurs et bandes. Depuis la version 2.5.0, il propose également un autre type d'objet absent du menu B : des secteurs de disque.

Les formes libres sont construites par le positionnement de leurs sommets à l'aide de clics de la souris. Par un clic de souris, nous pouvons construire trois espèces de points (du point de vue informatique, les points n'existent pas tant qu'ils n'ont pas été construits) :

- Les points libres : un point de ce type possède deux degrés de liberté. Les seules contraintes auxquelles il doit obéir sont celles qui résultent de son appartenance éventuelle en tant que sommet à une forme géométrique particulière (triangle rectangle par exemple). Un point libre est obtenu par un clic en un emplacement libre de l'écran.
- Les points liés au bord d'une forme géométrique : un point de ce type n'a qu'un degré de liberté. Il ne peut se déplacer que sur le bord de la forme sur laquelle il a été placé. (Voir aussi [Limiter](#).) C'est pourquoi nous utiliserons souvent l'expression « point sur ». Un « point sur » est obtenu par un clic sur le bord d'une forme préexistante.



Il peut se faire qu'un point soit placé sur un segment commun à deux formes. Dans ce cas le logiciel considère que le point en question est un point « sur » celle des deux formes qui est à l'avant-plan par rapport à l'autre. Par défaut, c'est celle qui a été construite en dernier lieu.

L'utilisateur peut modifier la position d'une forme par rapport à l'autre, via les procédures [Avant-plan](#) et [Arrière-plan](#). Sur la figure ci-dessus, le triangle bcd a été construit après le triangle abd . Le point p a été placé ensuite. Il est donc « sur » le triangle bcd et mobile sur le bord de ce triangle.

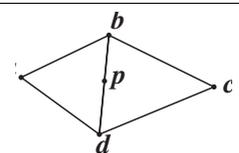


Fig. 1

- Un point d'intersection est comme son nom l'indique placé à l'intersection de deux objets. Il n'a aucun degré de liberté : il ne pourra changer de place que si l'une des deux formes qui le déterminent est modifiée.

Aux chapitres 7 et 8, nous rencontrerons une quatrième espèce de points : des points construits à partir d'une forme géométrique préexistante. Par exemple, le centre d'un polygone dépend entièrement de ce polygone, sa construction nécessite l'emploi d'une *Opération*.

3.2 Des formes orientées

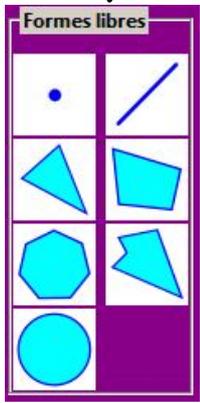
Les points mis à part, toutes les formes libres sont des formes *orientées*. Leur orientation est déterminée par l'ordre de construction des sommets. Les segments $[a, b]$ et $[b, a]$ ne peuvent être considérés comme identiques, pas plus que les triangles abc et cba . Par contre cab et bca ont les mêmes propriétés que abc et ne doivent donc pas en être distingués.

On voit apparaître là une différence entre la géométrie euclidienne usuelle et la géométrie dynamique. Dans la suite, nous aurons l'occasion de revenir sur cette question, notamment lorsqu'au chapitre 10, nous parlerons des *mesures*.

3.3 Formes Libres

À l'ouverture d'*Apprenti Géomètre* avec un des menus B ou C, les familles de formes libres apparaissent dans un des pavés de la boîte à outils. Ce pavé, constitué des *Formes Libres*, comprend sept icônes activables par un clic de souris. À l'activation d'une d'elles, l'icône est encadrée en rouge et une fenêtre composée de 2 à 10 boutons poussoirs apparaît alors à l'écran pour choisir la forme à construire (sauf si on a choisi l'icône représentant un point : seul le cadre rouge est dessiné).

PRATIQUEMENT



- La construction d'une forme est initialisée par un premier clic sur le bouton poussoir portant le nom de la forme souhaitée.
- Chaque clic de la souris dans la fenêtre de travail fixe alors un sommet de la forme souhaitée, le logiciel veillant au respect des contraintes géométriques.
- Il est ainsi possible de fixer à l'écran aussi bien des points libres, que des points liés à un objet ou encore des points à l'intersection de deux objets.
 - Pour lier un point à un objet déjà dessiné, approcher le point mobile (situé à l'extrémité du curseur de la souris) de l'objet jusqu'à ce que, grâce au magnétisme, la couleur de celui-ci passe au magenta. Le clic de la souris place alors le point sur l'objet. Le point est devenu un « point sur ».
 - Pour placer un point à l'intersection de deux formes, procéder de même en approchant le point mobile de l'intersection visée. Le clic fixe le point à cette intersection pour autant que les bords des formes aient tous deux viré au magenta.



Comme lors de la construction d'une forme standard, il peut arriver que l'utilisateur réalise involontairement un « **double clic** ». Relisez le paragraphe consacré à cette question à la page 14.

Pour pouvoir placer un point à l'intersection de deux formes, il faut que ce point d'intersection puisse être identifié de façon univoque. Ce n'est pas toujours le cas. En particulier, on peut souhaiter placer un point sur un segment qui apparaisse commun à deux formes, comme dans la situation de la figure 3.

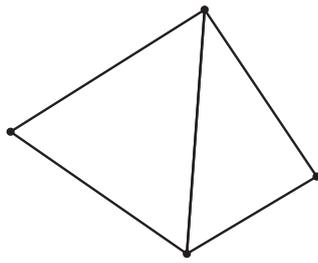


Fig. 3

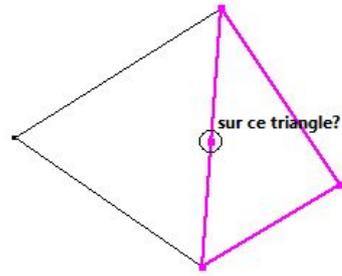


Fig. 4

À l'emplacement du côté commun aux deux triangles se trouvent en réalité deux segments superposés. L'intersection de ces deux segments n'étant pas réduite à un point, le logiciel ne peut placer un nouveau point que sur l'un d'entre eux. Il choisit le triangle situé à l'avant-plan, le colore en magenta et propose ce choix à l'utilisateur (figure 4). Si c'est l'autre triangle que l'on veut choisir, il convient de le mettre au préalable à l'avant-plan.

3.3.1 La famille du point

Cette famille ne contient que le point. Un seul clic suffit à construire un point, de l'une des trois espèces mentionnées plus haut.

3.3.2 La famille des segments

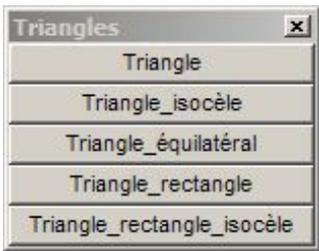
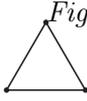
Le menu B ne permet de dessiner que des segments, éventuellement parallèles ou perpendiculaires à un autre objet.

Le menu C permet, en plus, de dessiner des droites, éventuellement parallèles ou perpendiculaires à un autre objet, des demi-droites, des secteurs et des bandes.

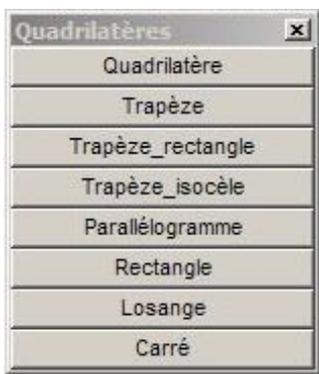
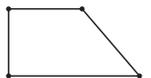
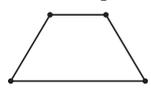
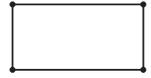
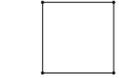
Si un segment ou une droite est parallèle ou perpendiculaire à *un autre objet*, celui-ci peut être un segment, une droite, une demi-droite, un côté de polygone, un bord de bande ou un bord de secteur.

- Pour tracer un *segment*, fixer les extrémités en deux clics de souris. L'ordre dans lequel les extrémités d'un segment ont été fixés détermine l'orientation de ce segment.
- Pour tracer un *segment parallèle* à un autre objet, sélectionner cet objet et après avoir relâché le bouton de la souris, déplacer celle-ci jusqu'à l'emplacement choisi pour l'origine du nouveau segment, cliquer et tirer à la souris jusqu'à l'extrémité souhaitée.
- Pour tracer un *segment perpendiculaire* à un autre objet, la procédure est identique.
- Pour tracer une *droite*, fixer deux points en deux clics de souris.
- Pour tracer une *droite parallèle* à un autre objet, sélectionner cet objet et après avoir relâché le bouton de la souris, déplacer celle-ci jusqu'à l'emplacement choisi pour y fixer un point de la droite parallèle.
- Pour tracer une *droite perpendiculaire* à une autre objet, la procédure est identique.
- Pour tracer une *demi-droite*, en deux clics de souris, fixer son origine puis un autre point.
- Pour tracer une *bande*, trois clics sont nécessaires : les deux premiers déterminent un des deux bords de la bande, le troisième détermine l'autre bord.
- Pour tracer un *secteur*, à nouveau trois clics sont nécessaires. Dans l'ordre : le sommet du secteur, un point du premier côté, un point du second.

3.3.3 La famille des triangles

	 Fig. 6	Pour tracer un <i>triangle quelconque</i> : en trois clics, fixer les sommets.
	 Fig. 7	Pour tracer un <i>triangle isocèle</i> , les deux premiers clics fixent « la » base du triangle et le troisième clic fixe le troisième sommet.
 Fig. 5	Pour tracer un <i>triangle équilatéral</i> , deux clics suffisent à fixer deux sommets, le logiciel fixe le troisième en orientant le triangle dans le sens trigonométrique positif.	
 Fig. 8	Pour tracer un <i>triangle rectangle</i> , trois clics fixent successivement un sommet d'angle aigu, le sommet de l'angle droit, le sommet du deuxième angle aigu.	
 Fig. 9	Pour tracer un <i>triangle rectangle isocèle</i> , deux clics de souris suffisent à fixer les sommets des angles aigus, le logiciel fixant le troisième sommet, également en respectant le sens trigonométrique.	

3.3.4 La famille des quadrilatères

	 Fig. 11	Pour tracer un <i>quadrilatère quelconque</i> : en quatre clics, fixer les sommets.
	 Fig. 12	Pour tracer un <i>trapèze</i> , les deux premiers clics fixent une des bases, les deux suivants l'autre base.
	 Fig. 13	Pour tracer un <i>trapèze rectangle</i> , trois clics suffisent. Le premier fixe un sommet d'angle droit et les deux suivants les sommets des angles non droits.
 Fig. 14	Pour tracer un <i>trapèze isocèle</i> , trois clics suffisent également. Les deux premiers fixent une base, le troisième un sommet de l'autre base.	
 Fig. 15	Pour tracer un <i>parallélogramme</i> , trois clics déterminent deux côtés adjacents, ce qui permet au logiciel de terminer la construction.	
 Fig. 16	Pour tracer un <i>rectangle</i> , ou un <i>losange</i> la procédure est la même que pour un parallélogramme. Le logiciel veille au respect des contraintes d'angle ou de longueur.	
 Fig. 17	Pour tracer un <i>carré</i> , deux clics déterminent un côté, le logiciel termine le travail en respectant le sens trigonométrique de parcours.	

3.3.5 La famille des polygones quelconques

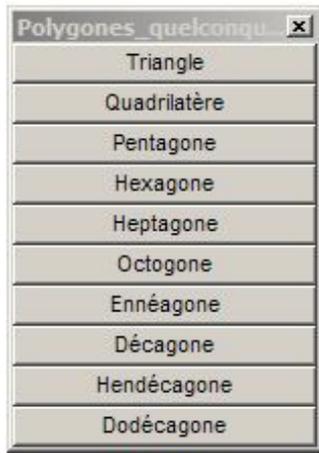


Fig. 19

Pour tracer un *polygone quelconque* de trois à douze côtés, on fixe les sommets un à la fois en autant de clics qu'il y a de sommets à fixer. Ces polygones peuvent ne pas être convexes.

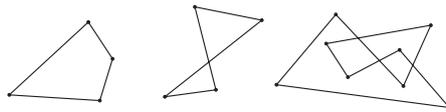


Fig. 20

3.3.6 La famille des polygones réguliers

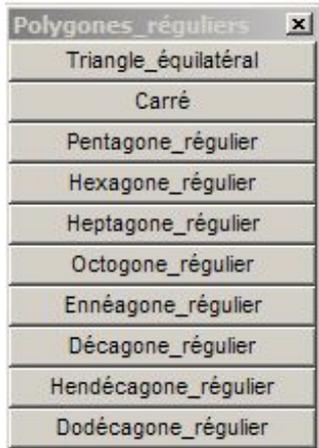


Fig. 21

Pour tracer un *polygone régulier* de trois à douze côtés, deux clics fixent le premier côté. Le logiciel termine le tracé en respectant le sens trigonométrique de parcours.

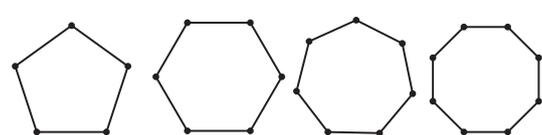


Fig. 22

3.3.7 La famille du cercle

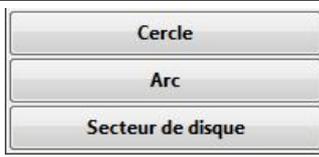


Fig. 23

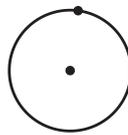


Fig. 24

Pour tracer un *cercle*, deux clics suffisent : le premier fixe le centre, le second fixe un point du cercle.



Fig. 25

Pour tracer un *arc de cercle*, trois clics sont nécessaires. Le premier fixe le centre du cercle, le second l'origine de l'arc, le troisième l'extrémité. Ces arcs de cercle sont orientés.



Fig. 26

Depuis la version 2.5.0, le menu C permet également de dessiner un *secteur de disque*. La construction est semblable à celle d'un arc de cercle.

Lors de la construction, tout cercle est orienté dans le sens trigonométrique. À chaque *retournement* qui lui est appliqué, l'orientation est inversée.

L'orientation d'un arc de cercle et celle d'un secteur de disque sont toujours de l'origine de l'arc vers son extrémité.

3.4 Abandonner une construction

L'utilisateur peut toujours abandonner la construction d'une forme libre avant que celle-ci soit achevée. Il actionnera dans ce but le bouton **Annuler**. Pour plus d'informations à propos de cette fonctionnalité, voir la section [Édition/Annuler](#).

3.5 Une remarque

Un logiciel tel que *Apprenti Géomètre* met en œuvre des contraintes de deux types : géométriques d'une part, informatiques d'autre part. Lorsqu'on réalise une figure, il n'y a pas intérêt à superposer des contraintes alors que certaines seraient automatiquement réalisées. Prenons un exemple en réalisant la figure du théorème de Varignon : *Le quadrilatère $mnpq$ obtenu en joignant les milieux des côtés d'un quadrilatère $abcd$ est un parallélogramme.*

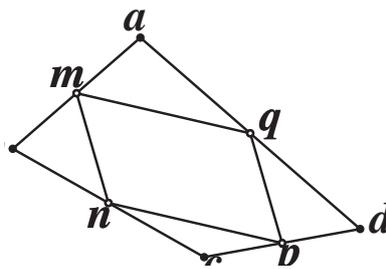


Fig. 27

Pour réaliser cette figure, l'utilisateur va dessiner d'abord le quadrilatère $abcd$ en utilisant le bouton **Quadrilatères/Quadrilatère** du pavé des *Formes Libres*.

Ensuite, l'opération **Diviser** du chapitre 7 lui permet de construire les milieux m , n , p , q des côtés de $abcd$.

Il lui reste à joindre les points m , n , p , q . S'il ignore que ces points sont sommets d'un parallélogramme, l'utilisateur va normalement réutiliser le bouton **Quadrilatères/Quadrilatère**. Il constatera alors que ce quadrilatère est un parallélogramme : c'est la géométrie qui l'impose.

Mais si l'utilisateur sait que $mnpq$ est un parallélogramme, il pourrait être tenté d'utiliser le bouton **Quadrilatères/Parallélogramme**. Bien sûr, il obtiendrait la même figure, du moins en apparence. En effet, pour construire ce parallélogramme, il suffit d'indiquer au logiciel trois sommets, par exemple m , n , p . *Apprenti Géomètre* complète alors le parallélogramme en calculant la position du quatrième sommet et en le créant, sans tenir compte de l'existence du point q . Ainsi, d'une part on a créé une contrainte informatique dont on aurait pu se passer, mais surtout, en q se trouveront en réalité deux points : l'un est le milieu du côté $[d, a]$ du quadrilatère $abcd$, l'autre est le quatrième sommet du parallélogramme construit par le logiciel à partir des trois points m , n et p . Ainsi les quatre sommets du parallélogramme n'ont pas le même statut. Si la figure se limite au quadrilatère et au parallélogramme, il n'en résulte aucune conséquence fâcheuse. Mais cela pourrait entraîner une confusion et des inconvénients difficiles à comprendre

si la complexité de la figure augmente et qu'on réutilise le point q , sans être conscient de son dédoublement.

Ces inconvénients sont évités en ne superposant pas une contrainte informatique à la contrainte géométrique existante.

Chapitre 4 Fichier, Fenêtres et Édition

4.1 Introduction

Les trois premiers menus déroulants sont à peu près indépendants du choix effectué par l'utilisateur entre Menu A, B ou C. De plus, ils présentent des procédures courantes dans les programmes informatiques, ce qui nous permettra de ne pas nous y attarder trop.

4.2 Fichier



Fig. 1

4.2.1 Fichier/Nouveau

À l'ouverture du logiciel, une feuille de travail est ouverte automatiquement. L'option **Nouveau** permet de créer des feuilles de travail supplémentaires. Plusieurs feuilles de travail peuvent ainsi être ouvertes successivement. . . pour autant que l'ordinateur possède suffisamment de mémoire libre. Grâce au menu **Fenêtres**, on peut passer de l'une à l'autre (nous y reviendrons plus loin). La barre de titre de chaque fenêtre fournit les informations suivantes : le nom de l'utilisateur, le nom du fichier de sauvegarde (s'il en existe déjà un), l'identification de l'opération active, et enfin le mot « Figure » suivi du numéro de la fenêtre. Dans ce contexte, le mot « Figure » désigne l'ensemble des formes géométriques qui ont été dessinées dans la fenêtre. De plus, si la figure a été modifiée depuis la dernière sauvegarde, une étoile apparaît à la fin de cette ligne.

4.2.2 Fichier/Ouvrir

Ouvrir ouvre un fichier d'extension `.fag` déjà enregistré sur un disque dur ou sur un support amovible (clé USB, cédérom, disquette. . .) et l'affiche dans une nouvelle feuille de travail (sauf si la feuille en cours est toujours vierge).

Si le logiciel a été correctement installé, il est aussi possible d'ouvrir un fichier en le tirant dans une fenêtre d'**Apprenti Géomètre** déjà ouverte. Et si **Apprenti Géomètre** n'a pas été lancé, un double clic sur un fichier d'extension `.fag` doit normalement provoquer les ouvertures successives d'**Apprenti Géomètre** et du fichier lui-même.

4.2.3 Fichier/Fermer

Fermer clôt la feuille de travail en cours. Si celle-ci n'a pas été modifiée depuis la dernière sauvegarde, elle se ferme sans devoir être enregistrée. Par contre, si un changement est intervenu, une confirmation est demandée à l'utilisateur qui peut encore sauvegarder son travail.

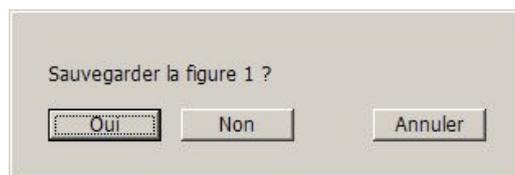


Fig. 2

4.2.4 Fichier/Standardiser

L'opération **Standardiser** permet de créer de nouvelles familles de formes standard. Elle a été décrite à la section 2.5.1.

4.2.5 Fichier/Sauvegarder

Sauvegarder enregistre le contenu de la feuille de travail dans un fichier d'extension `.fag`. Lors du premier enregistrement d'un fichier, cliquer sur l'option **Sauvegarder** revient à cliquer sur l'option **Sauvegarder sous**. Lorsqu'un fichier est enregistré, son nom apparaît dans la barre de titre de la fenêtre à la suite du nom de l'utilisateur. Ensuite, tout clic sur **Sauvegarder** enregistre la figure dans le même dossier et sous le même nom.

Les fichiers de sauvegarde, d'extension `.fag` sont écrits en langage `xml`, comme les fichiers d'extension `.std` dont il a été question au chapitre 2. Ils peuvent être lus avec n'importe quel éditeur de texte, mais, sous **Windows**, nous recommandons le logiciel gratuit `xmlnotepad` qui respecte la structure du texte en mettant les balises en évidence.

Remarque

En plus des informations relatives aux différents objets géométriques, le fichier de sauvegarde contient également les informations relatives à la configuration de l'application ainsi que la langue de travail et certaines des préférences de l'utilisateur concernant les formes géométriques (formes pointées, fléchées ou encore bifaces).

L'environnement de travail est ainsi restauré lors de la réouverture du fichier.

4.2.6 Fichier/Sauvegarder sous

Sauvegarder sous enregistre le fichier à un endroit à spécifier à partir d'une fenêtre de dialogue. Le nom du fichier apparaît ensuite dans la barre de titre de la fenêtre à côté des mentions relatives à l'utilisateur. On utilise aussi cette option si on souhaite enregistrer un fichier sous un nom différent de son nom actuel ou dans un dossier différent.

Il est déconseillé d'insérer des caractères accentués dans un titre de fichier : des problèmes pourraient apparaître par exemple si un fichier réalisé sous **Windows** était relu par un **Macintosh**.

4.2.7 Fichier/Exporter en Postscript

Exporter en Postscript n'est accessible qu'aux enseignants. Cette option permet d'exporter tout ou partie de la figure dessinée dans la feuille de travail dans un fichier de format `.eps`. Par défaut, l'intégralité de la figure est exportée. On peut n'exporter que certaines des formes géométriques en les sélectionnant avant de lancer l'opération d'exportation. Pour la procédure de sélection, voir la section [Édition/Sélectionner](#).

Les fichiers d'extension `.eps` sont rédigés en langage `postscript`. Ils peuvent être édités grâce à un éditeur de texte classique et visualisés grâce au logiciel `GsView` par exemple. Ils peuvent également être modifiés grâce à un logiciel du type `Illustrator`.

4.2.8 Fichier/Exporter en fichier bitmap

Exporter en fichier bitmap permet de recopier une partie de l'écran dans un fichier image. La procédure consiste à dessiner à la souris un rectangle sur l'écran (cliquer à l'emplacement du coin supérieur gauche, puis tirer le curseur jusqu'à l'emplacement souhaité pour le coin inférieur droit). L'image à sauvegarder est évidemment constituée de l'intérieur du rectangle qui a été dessiné. Quand on relâche le bouton de la souris, un peu de temps s'écoule, puis apparaît une boîte de dialogue où l'on peut indiquer le nom du fichier à créer.

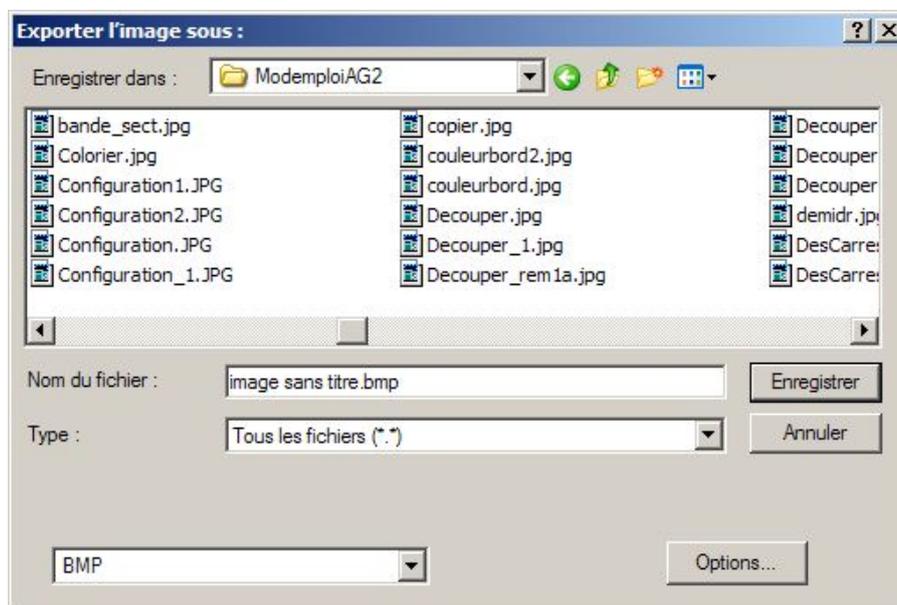


Fig. 3

La petite fenêtre dans la partie inférieure gauche de cette boîte de dialogue cache un menu déroulant dans laquelle l'utilisateur peut choisir le type d'image de son choix (`.jpg`, `.bmp`...), à condition de travailler sous **Windows** ou sur un **Macintosh** et que le programme `QuickTime` soit présent sur son ordinateur. Dans le cas contraire, le seul format disponible sous **Windows** est le format `.jpg`, tandis que sur un **Macintosh** c'est le format `.pict`. Sous **Linux**, seul le format `.bmp` est disponible. Ces contraintes résultent du langage de programmation utilisé.

4.2.9 Fichier/Imprimer

Imprimer imprime la figure présente à l'écran. À l'impression, la fenêtre de travail représente environ la moitié d'une page format A4 en orientation *portrait*. Par défaut, toutes les formes présentes à l'écran sont imprimées. On peut n'imprimer que certaines des formes géométriques en les sélectionnant avant de lancer l'impression. Pour la procédure de sélection, voir la section [Édition/Sélectionner](#).

4.2.10 Fichier/Quitter

Quitter ferme l'application. Le logiciel propose au préalable d'enregistrer la ou les figures réalisées qui auraient été modifiées depuis la dernière sauvegarde.

Comme tout programme informatique, et malgré les efforts de ses concepteurs, *Apprenti Géomètre* peut contenir des « bugs ». Lorsqu'un d'entre eux se manifeste, le logiciel doit afficher la boîte de dialogue suivante, pour autant que l'ordinateur soit connecté sur Internet :



Si l'utilisateur accepte de signaler l'erreur, l'ordinateur envoie au serveur du CREM un message indiquant la nature de l'erreur, ainsi qu'une copie de la figure courante, ceci afin d'aider les programmeurs à détecter et corriger le problème apparu. Si l'ordinateur n'est pas connecté sur Internet, seul le message d'excuses apparaît. Dans tous les cas, l'ordinateur laisse ouverte la feuille de travail sur laquelle l'erreur s'est produite, généralement dans l'état précédant celle-ci. L'utilisateur peut essayer de poursuivre son travail, en évitant de répéter les opérations ayant provoqué l'erreur. Il lui est dès lors conseillé de sauvegarder son travail régulièrement. Les éventuelles autres feuilles de travail restent accessibles et pleinement fonctionnelles.

4.3 Fenêtres

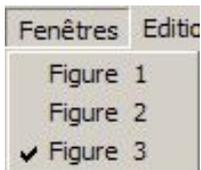


Fig. 4

Ce menu, permet d'accéder facilement aux feuilles de travail existantes. Chaque nouvelle feuille de travail se superpose aux précédentes et le compteur de fenêtres est incrémenté.

Lorsqu'on déroule le menu, la figure active est cochée. On en affiche une autre en cochant l'item de menu correspondant.

4.4 Édition

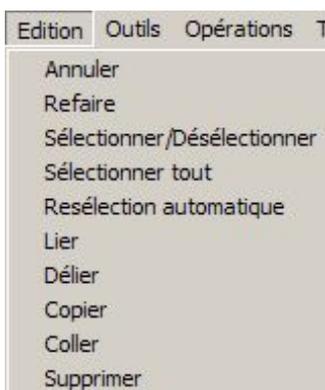


Fig. 5

Certaines des opérations présentes dans ce menu se retrouvent dans presque tous les logiciels. Elle ne nécessiteront donc guère d'explications. D'autres sont spécifiques à *Apprenti Géomètre*.

4.4.1 Édition/Annuler et Refaire

Annuler

Cette opération annule la dernière action effectuée. On peut la répéter plusieurs fois en suivant et ainsi annuler éventuellement toutes les actions effectuées depuis la création du fichier.



La fonctionnalité **Annuler**, peut être activée soit par un clic sur le bouton poussoir **Annuler** de la boîte à outils, soit via **Édition/Annuler**.

Si le bouton **Annuler** est actionné alors qu'une opération de construction est en cours, c'est cette construction qui est annulée et non la dernière opération à avoir été effectuée complètement.

Refaire

Cette opération consiste à annuler une annulation. En d'autres termes, elle reproduit l'opération que l'on vient d'annuler. Si on a annulé plusieurs opérations, **Refaire** permet de les refaire en commençant par la dernière à avoir été annulée.

4.4.2 Édition/Sélectionner-Désélectionner et Sélectionner tout

Qu'il s'agisse de *mouvements*, de *modifications*, de *suppressions* ou de *constructions* de points particuliers, la plupart des opérations nécessitent la *sélection* d'au moins une forme géométrique. Beaucoup peuvent s'appliquer à plusieurs formes simultanément. Certaines s'appliquent nécessairement à plusieurs formes simultanément. Ainsi les mouvements s'appliquent automatiquement à toutes les formes ayant des points communs avec la ou les formes sélectionnées.

Sélectionner apparaît *in fine* comme une tâche qui peut être délicate, nécessitant parfois de l'attention. Nous distinguerons dans cette section plusieurs procédures pouvant être utilisées en vue d'opérer des sélections.

Sélectionner *une seule* forme géométrique



Pour sélectionner une seule forme géométrique, il est inutile d'actionner l'opération Sélectionner.

PRATIQUEMENT

Si l'utilisateur veut n'appliquer une opération qu'à une seule forme géométrique, le plus simple est

1. d'activer d'abord l'opération en cliquant sur le bouton correspondant de la boîte à outils ou d'un des menus déroulants ;
2. de placer le curseur de la souris au-dessus de la forme à sélectionner ; la couleur du bord passera au magenta ; si la forme était opaque, elle doit devenir transparente ;
3. après qu'il ait vérifié que la forme magenta est bien celle qu'il désirait, l'utilisateur peut alors opérer la sélection d'un simple clic.

Exemple : Supposons que l'on veuille faire [glisser](#) le parallélogramme de la figure 6. Après avoir choisi l'opération **Glisser** dans le pavé des *Mouvements*, le curseur de la souris affiche l'invitation **Choisis une forme**. En déplaçant la souris, on amène le curseur au-dessus du

parallélogramme. Le bord de celui-ci est alors repeint en magenta, et le message affiché devient **Tire pour faire glisser** (figure 7). Il reste à enfoncer le bouton de la souris pour faire effectivement glisser le parallélogramme.

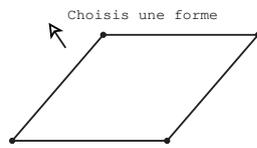


Fig. 6

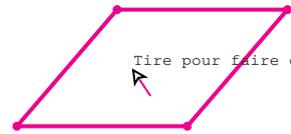


Fig. 7

La forme de la figure 6 n'était pas opaque de sorte que seul le bord de cette forme a changé de couleur. Au passage, notons qu'un segment ou une droite ne sont jamais opaques et que « placer la souris au-dessus » d'une de ces formes signifie dans ce cas « pointer » la forme en question.

Il n'est pas toujours facile de placer la souris au-dessus d'une forme pour faire virer le bord de celle-ci au magenta. Car plusieurs formes peuvent être superposées. Voyons les figures suivantes qui montrent la sélection d'une forme en vue de la faire **glisser**.

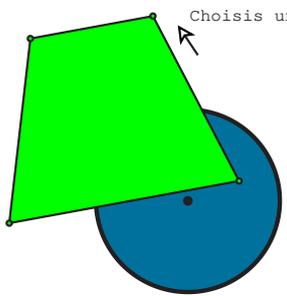


Fig. 8

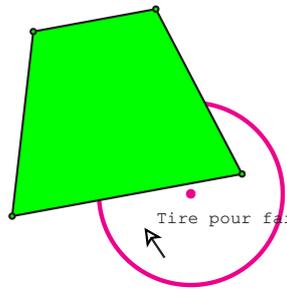


Fig. 9

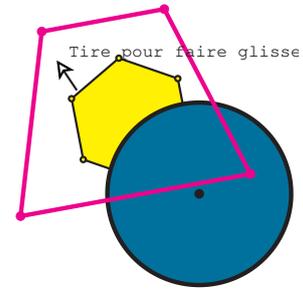


Fig. 10

La figure 8 nous montre un trapèze vert qui recouvre partiellement un disque bleu. À la figure 9, le curseur de la souris est au-dessus du disque mais pas du trapèze. Le disque est devenu transparent, son bord a viré au magenta. En cliquant dans cette position de la souris, nous sélectionnons le disque. La figure 10 nous révèle un hexagone jaune qui était invisible car recouvert complètement par le trapèze et le disque. Si nous cliquons avec la souris dans la position de cette figure, nous sélectionnons le trapèze. Comment sélectionner l'hexagone ?

Plaçons le curseur de la souris au-dessus de la zone commune aux trois formes (Fig. 11). Elles deviennent toutes transparentes. Mais nous voyons aussi que le texte « Tire pour faire glisser » qui accompagne le curseur de la souris est cette fois complété par la mention « (3,1) ». Cela signifie que le curseur est placé au-dessus de trois formes différentes et que si on clique à ce moment, c'est la forme située au-dessus des deux autres (le trapèze comme le montre la couleur de son bord) qui sera sélectionnée.

SANS DÉPLACER LA SOURIS, enfonçons au clavier la barre d'espace : la mention « (3,1) » est remplacée par « (3,2) » et c'est à présent le bord du disque qui est magenta. Une pression supplémentaire sur la barre d'espace fait apparaître la mention « (3,3) » et le bord de l'hexagone vire au magenta.

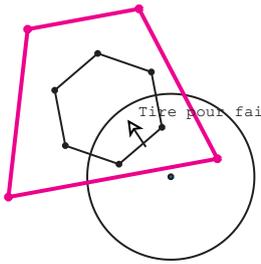


Fig. 11

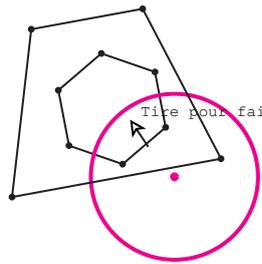


Fig. 12

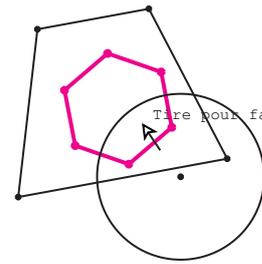


Fig. 13

En cliquant maintenant SANS DÉPLACER LA SOURIS, nous sélectionnons l'hexagone. Si l'opération nous demande de déplacer la souris, il faut le faire en tenant le bouton enfoncé, une fois la sélection effectuée.

En conclusion :



Quand la souris survole plusieurs formes superposées, toutes deviennent transparentes et le texte d'accompagnement mentionne le nombre de formes survolées et le numéro de celle qui sera sélectionnée en cas de clic. De plus, le bord de celle-ci vire au magenta. Des pressions répétées sur la barre d'espace permettent d'effectuer le choix désiré.

Remarques

1. Si la souris utilisée comporte une roulette, la pression sur la barre d'espace peut être remplacée par une rotation d'un cran de la roulette.
2. L'utilisateur ayant l'habitude d'utiliser d'autres logiciels de géométrie dynamique aura — dans un premier temps — tendance à transposer à *Apprenti Géomètre* les pratiques utilisées avec ces logiciels. En particulier, il pourrait avoir tendance à sélectionner une forme en pointant vers le bord de celle-ci. Avec *Apprenti Géomètre*, c'est au contraire l'intérieur de la forme qu'il convient de survoler avec la souris. Le seul cas où il se justifie de pointer vers le bord, ou vers un morceau du bord d'une forme géométrique est celui où l'on veut sélectionner un côté d'un polygone, d'une bande ou d'un secteur ou... le but de la sélection étant par exemple de colorier le côté visé. Dans ce cas, **Couleur bord** sélectionne tous les côtés du polygone (ou...) ou un seul côté selon que le curseur de la souris pointe vers l'intérieur du polygone ou vers un de ses côtés (voir le chapitre 10).
3. Si nous insistons sur l'importance de ne pas déplacer la souris lors de la procédure de sélection, c'est que tout déplacement de cette souris annule l'effet des pressions sur la barre d'espace.
4. Il y a évidemment intérêt à ce que le nombre de formes survolées par la souris soit le plus petit possible. Ci-dessus, nous aurions pu sélectionner l'hexagone en plaçant la souris au-dessus de celui-ci mais en dehors du disque. La mention affichée aurait alors été « (2,1) » et une seule pression sur la barre d'espace aurait suffi.
5. On peut se demander pour quelle raison une forme en cache une autre, partiellement ou totalement. C'est simplement l'ordre du dessin qui importe : une forme *A* cache une forme *B* si *A* est dessinée *après* *B*. Et l'ordre du dessin est au départ l'ordre de construction, de sorte que la forme située au-dessus des autres est celle qui a été construite en dernier lieu. Les opérations **Avant-plan** et **Arrière-plan** permettent de modifier l'ordre initial.

Sélectionner plusieurs formes géométriques

Pour sélectionner simultanément plusieurs formes géométriques, nous utiliserons cette fois l'opération **Sélectionner/Désélectionner**.

Une fois cette fonctionnalité activée, tout clic sur un objet sélectionne cet objet s'il ne l'était pas, le désélectionne s'il l'était. Les objets sélectionnés se repèrent par le fait que leur bord est plus épais.

Lorsque des formes sont superposées, le choix de la forme à sélectionner s'effectue de la façon exposée plus haut. Les figures suivantes montrent les étapes de la sélection simultanée du trapèze vert et du disque bleu :

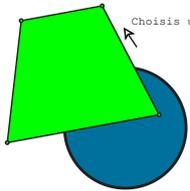


Fig. 14

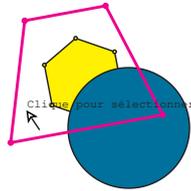


Fig. 15

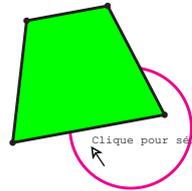


Fig. 16

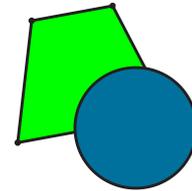


Fig. 17

Après avoir sélectionné plusieurs formes, l'utilisateur peut activer une opération *acceptant la sélection multiple*, c'est le cas de la plupart des opérations. S'il choisit d'activer une opération ne nécessitant pas de déplacer les formes sélectionnées, l'opération sera appliquée immédiatement.

Par contre si l'opération choisie nécessite de déplacer les formes, il doit à nouveau cliquer dans une des formes sélectionnées, tenir le bouton enfoncé et déplacer la souris. S'il clique en dehors de toute forme sélectionnée, toutes les formes qui avaient été sélectionnées sont automatiquement désélectionnées.

À l'issue d'une opération portant sur une ou plusieurs formes sélectionnées, toutes celles-ci sont normalement désélectionnées. Il est cependant possible de prévoir une [resélection automatique](#).

Sélectionner tout

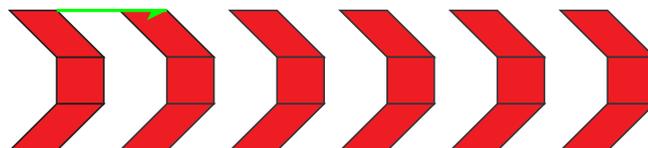
Sélectionner tout sélectionne tous les objets présents sur la feuille de travail, y compris les objets cachés.

4.4.3 Édition/Resélection automatique

Les menus B et C comportent un bouton **Resélection automatique** qui ne correspond à aucune opération mais à un paramètre pouvant prendre une des valeurs logiques **Vrai** ou **Faux**. Par défaut, la valeur est **Faux**. Une pression sur le bouton la fait passer à **Vrai** et une coche apparaît sur le bouton. Une nouvelle pression remet la valeur à **Faux**.

Lorsque la resélection automatique est activée (valeur **Vrai**), les formes qui avaient été sélectionnées avant d'effectuer une opération restent sélectionnées après la fin de l'opération, sauf si celle-ci est une suppression ou un changement de couleur. Elles sont ainsi disponibles pour une autre opération. Un simple clic en dehors de toute forme annule toute sélection.

Il existe une variante. Si le bouton **Resélection automatique** a été activé et que l'on applique une [transformation géométrique](#) (translation, rotation...) à une sélection d'objets, ce sont les objets images par la transformation qui sont sélectionnés après la transformation et non les objets sources. Ceci permet de réaliser assez simplement par exemple des frises, des rosaces...



4.4.4 Édition/Lier et Délier

Lier

La sélection simultanée de plusieurs formes permet par exemple de leur appliquer en une fois le même mouvement. Toutefois cette sélection simultanée, même en cas de resélection automatique, n'a qu'un caractère temporaire. L'opération **Lier** permet de créer un lien permanent entre des formes différentes, n'ayant pas nécessairement de points communs.



Des formes qui ont été liées sont toujours sélectionnées simultanément quand on applique à une d'entre elles un mouvement (**Glisser**, **Tourner**, **Retourner**) ou un redimensionnement (**Zoomer**). Elles sont également sélectionnées simultanément quand on duplique ou copie une d'entre elles ou encore quand on applique une transformation géométrique à une d'entre elles.

Aucune autre opération ne tient compte des liaisons éventuelles entre formes.

Des formes liées entre elles constituent une seule entité pour les opérations indiquées dans l'encadré ci-dessus. Ceci permet de déplacer à l'écran des figures complexes comportant des « morceaux » non attachés entre eux en effectuant exactement le même mouvement, donc sans disloquer la figure.

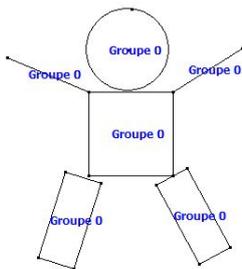


Fig. 18

PRATIQUEMENT

Pour lier des formes, après avoir choisi la fonctionnalité **Lier**, on clique successivement sur chacune des formes que l'on veut lier. On crée ainsi un groupe de formes liées, groupe dont le numéro apparaît sur chaque forme. Pour créer un deuxième groupe de formes non liées au précédent, il est nécessaire d'actionner à nouveau le bouton **Lier**.

Quand on quitte l'opération **Lier** pour en activer une autre, ou quand il n'existe plus aucune forme qui ne soit déjà liée, les numéros des groupes cessent d'être affichés.

Lier accepte la sélection multiple, on peut donc aussi créer un groupe de formes liées dans l'autre ordre : sélectionner d'abord les formes puis actionner l'opération **Lier**.

Il est aussi possible d'adjoindre une forme à un groupe de formes déjà liées ou de regrouper deux groupes de formes liées en un seul groupe. On ne peut regrouper que deux groupes à la fois, mais rien n'empêche de répéter le procédé. Les formes restent liées entre elles tant que l'utilisateur ne les délie pas.

Délier

L'opération **Délier** délie des formes liées au préalable. Lorsque **Délier** est activé, les numéros de tous les groupes de formes liées sont affichés. Il suffit de cliquer sur une des formes pour que toutes les formes du même groupe soient déliées, et le groupe n'existe plus.

4.4.5 Édition/Copier et Coller

Copier

L'opération **Copier** fait une copie d'un élément dans le but de le reproduire ailleurs (voir **Coller**).

Pour copier une forme, après avoir cliqué sur le bouton **Copier** du menu **Édition**, on sélectionne

la forme en question. La forme est alors temporairement placée dans un tampon.

Copier accepte la sélection multiple, ce qui permet de copier plusieurs formes en même temps. Dans ce cas, on **sélectionne** les formes à copier avant d'actionner **Copier**. En particulier, si une forme sélectionnée appartient à un groupe de formes liées, c'est l'intégralité de ce groupe qui sera copié.

Par contre, si le barycentre d'une forme a été construit, ou un point de division d'un de ses côtés, la sélection de la forme en vue d'être copiée n'implique pas automatiquement que le barycentre et les points de division soient également copiés. De même pour les points « sur ». Ces points doivent être sélectionnés séparément avant l'exécution de **Copier**.

Coller

L'opération **Copier** ne vient jamais seule. Après avoir copié un ou plusieurs objets, nous trouvons dans le menu **Édition** la possibilité de les **Coller** sur la feuille de travail autant de fois que souhaité.

Pour ce faire, on clique sur la feuille de travail aux différents endroits où l'on veut placer des copies du ou des objets mémorisés dans le tampon. Les objets collés ne conservent aucun lien avec leur original, ce qui différencie considérablement cette opération de **Dupliquer**. Notons que si des objets ayant des points communs ont été sélectionnés simultanément en vue d'être copiés, après collage, leurs copies auront également des points communs. De même si le centre d'une forme est copié en même temps que sa forme mère, après collage, la copie du centre de la forme sera le centre de la copie de la forme, idem pour les points de division.

Il y a plus : on peut aussi copier des objets dans une feuille de travail et les coller dans une autre, choisie par l'intermédiaire du menu **Fenêtres**. C'est la seule interaction possible entre feuilles de travail différentes.

4.4.6 Édition/Supprimer

Supprimer est une opération classique qui consiste évidemment à supprimer un objet de l'écran. Par raison de sécurité, **Supprimer** N'ACCEPTÉ PAS la sélection multiple : les objets doivent en principe être supprimés un à la fois.

L'opération est cependant un peu plus subtile. Elle applique le principe suivant : chaque fois qu'une forme est supprimée, toutes les formes construites à partir de celle-là le sont aussi, sans intervention de l'utilisateur.

Par exemple, si deux formes B et C ont été construites par **découpage** d'une forme libre A , la suppression de A entraîne celle de B et C . Pour que l'utilisateur soit conscient de ce qui va être réellement supprimé, lorsque l'opération **Supprimer** a été activée et qu'on en est à la phase de sélection, chaque fois que la souris survole une forme A , non seulement le bord de celle-ci vire au magenta, mais aussi les bords de toutes les formes qui seraient supprimées en même temps que A en cas de clic.

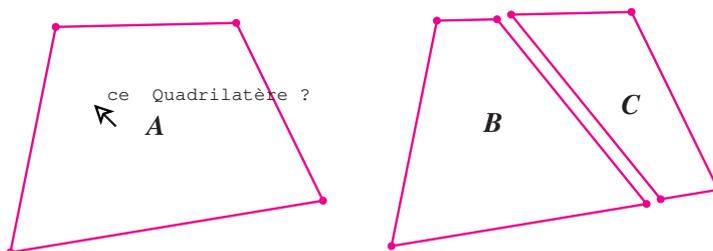


Fig. 19

5.1 Introduction

Mouvements	Les <i>mouvements</i> permettent de déplacer sur l'écran une forme géométrique ou un assemblage de formes géométriques sans modification de cette ou de ces formes. Les mouvements ne créent pas de nouvelles formes, ce ne sont donc pas des transformations géométriques, mais des manipulations qui relèvent plutôt de la physique. Bien entendu, certaines transformations géométriques sont des modélisations mathématiques de mouvements. Au sens strict, les mouvements sont au nombre de trois :
Glisser	
Tourner	
Retourner	
Zoomer	

Fig. 1 Glisser, Tourner et Retourner.

Les formes auxquelles les mouvements sont appliqués n'étant pas modifiées, ces mouvements réalisent physiquement des isométries. Du point de vue de l'orientation, **Glisser** et **Tourner** réalisent physiquement des *déplacements*, alors que **Retourner** réalise... un retournement.

À ces trois mouvements, nous adjoignons une opération de *redimensionnement* dénommée **Zoomer**, car son fonctionnement est très semblable à celui des mouvements. **Zoomer** transforme toute forme ou assemblage de formes en une figure homothétique. Les angles et les rapports de longueurs sont conservés.

Dans ce qui précède, nous avons parlé d'*assemblages de formes géométriques*. Dans ce chapitre, cette expression désigne des formes qui sont associées de façon telle qu'elles doivent subir le même mouvement en même temps, ou encore que le mouvement de l'une entraîne nécessairement un mouvement — éventuellement différent — de l'autre. Le cas le plus fréquent est celui de formes ayant (au moins) un sommet commun, ou de formes ayant été *liées*. Mais d'autres situations sont possibles, en particulier si une des formes subissant un mouvement est associée à une autre par une *transformation géométrique*. Nous reviendrons sur ces situations au chapitre 8. Par ailleurs, les trois mouvements **Glisser**, **Tourner** et **Retourner**, ainsi que l'opération **Zoomer** acceptent la sélection multiple.

Pour appliquer un mouvement à une forme, le plus courant est de sélectionner le mouvement avant la forme à laquelle on veut l'appliquer. Il y a d'autres possibilités, l'utilisateur est invité à ce sujet à relire la section [Sélectionner](#) du chapitre 4.

Lorsqu'un mouvement a été activé, comme la plupart des fonctionnalités, il reste actif tant qu'on n'effectue pas un autre choix ou un clic droit.

5.2 Glisser

L'opération **Glisser** permet de « traîner » une forme particulière, ou plusieurs en cas de sélection multiple, « à la souris » d'une place de l'écran à une autre, sans que son orientation change. À tout instant, tous les côtés de la forme sont parallèles à leurs positions initiales.

PRATIQUEMENT

Après avoir activé **Glisser**, cliquer sur la forme souhaitée afin de la sélectionner et déplacer la souris en maintenant le bouton de gauche enfoncé : la forme suit le mouvement de la souris. Lorsque la forme se trouve à la place souhaitée, relâcher le bouton de la souris.

Durant le mouvement, la fonction de magnétisme vérifie si un sommet d'une des formes glissées est suffisamment près d'un sommet ou d'un côté d'une forme fixe. « SUFFISAMMENT PRÈS » signifie « à une distance inférieure à la distance de magnétisme ». Celle-ci est un paramètre que l'utilisateur peut modifier via le menu **Préférences/Distance de magnétisme**.

Si c'est le cas, si le sommet p_1 de la forme mobile est attiré par le sommet q_1 de la forme fixe, les deux points p_1 et q_1 sont repeints en magenta (Figure 2). Si à ce moment l'utilisateur relâche le bouton de la souris, la forme mobile subit un déplacement supplémentaire afin que les deux points p_1 et q_1 soient superposés (Figure 3). (Ils ne sont cependant pas identifiés.)

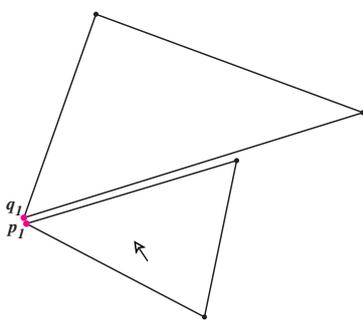


Fig. 2

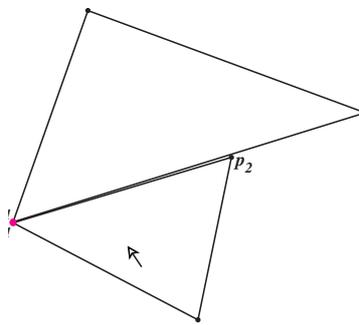


Fig. 3

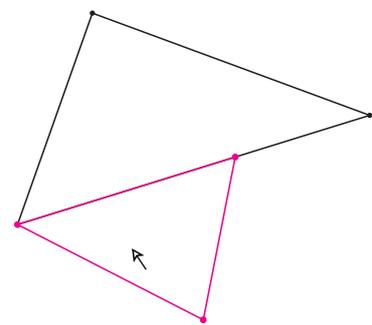


Fig. 4

Mais la fonction de magnétisme n'a pas terminé son travail, elle va procéder maintenant à un *ajustement* des deux formes, mobile et fixe. Dans ce but, elle vérifie si un deuxième sommet p_2 , voisin de p_1 est également assez près d'un côté de la forme fixe issu de q_1 . Si oui, deux possibilités apparaissent :

- Ou bien le point p_2 est très proche d'un sommet q_2 de la forme fixe, au point qu'il devient difficile de distinguer p_2 de q_2 . Dans ce cas le logiciel applique à la forme mobile la similitude qui applique p_1 sur q_1 et p_2 sur q_2 . De cette façon, un côté de la forme mobile est exactement superposé à un côté de la forme fixe. Les deux formes sont ainsi en position correcte en vue d'une éventuelle **fusion**.
- ou bien le point p_2 est trop éloigné de tout sommet de la forme fixe. Dans ce cas, la forme mobile pivote autour de p_1 de façon que le côté $[p_1, p_2]$ soit partiellement superposé au côté de la forme fixe qui a été détecté (Figure 4).

Cette opération d'ajustement peut éventuellement être **déconnectée**, via le menu *Préférences*.

Il se peut aussi qu'un sommet de la forme mobile soit attiré par un côté de la forme fixe plutôt que par un sommet de celle-ci. C'est alors le bord de la forme fixe qui est repeint en magenta. Les figures suivantes montrent les deux possibilités et ce qui en résulte après que l'utilisateur ait relâché le bouton de la souris.

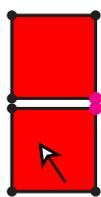


Fig. 5

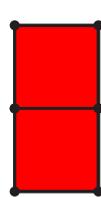


Fig. 6

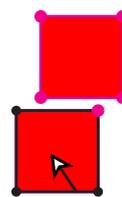


Fig. 7

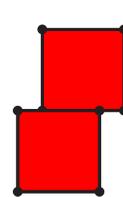


Fig. 8

Enfin, il est aussi possible qu'un sommet de la forme mobile soit attiré simultanément par deux côtés de formes fixes différentes. Dans ce cas, le déplacement supplémentaire dû au magnétisme amènera le sommet à l'intersection de ces deux côtés.

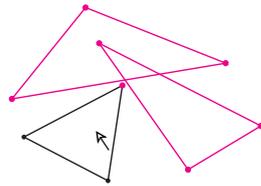


Fig. 9

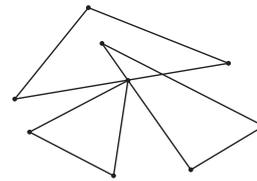


Fig. 10



Dans certains cas où des points sont très proches les uns des autres, cette fonction magnétisme peut devenir délicate à maîtriser. Il est à conseiller dans ce cas de zoomer l'écran complet (voir ci-dessous) afin de faciliter l'opération. Dans tous les cas, il est bon d'examiner quels sont les points et objets en magenta afin de s'assurer que le magnétisme aura la conséquence souhaitée avant de relâcher la souris.

Avec *Apprenti Géomètre*, on peut aussi faire glisser l'intégralité du plan lui-même. Ce glissement global est obtenu en cliquant en dehors de toute forme géométrique et en tirant ensuite le plan à la souris :

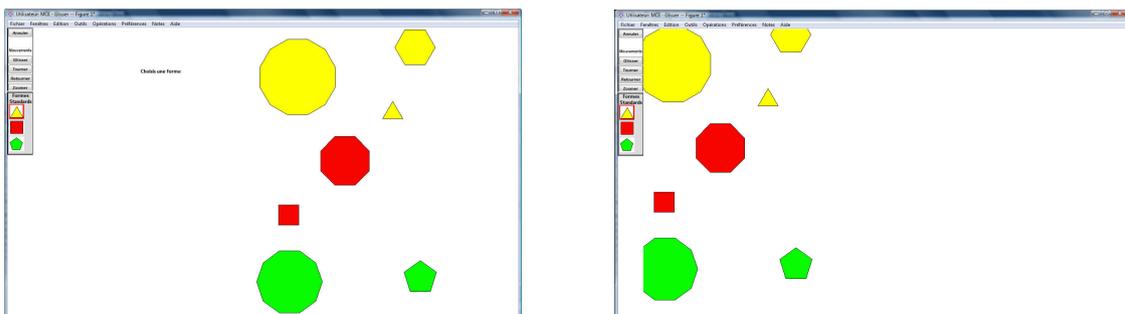


Fig. 11

On peut ainsi déplacer l'ensemble des figures en cas de besoin.

5.3 Tourner

Le deuxième mouvement de base consiste à faire tourner une forme ou l'intégralité du plan.

PRATIQUEMENT

Activer **Tourner**, puis amener le curseur sur la forme choisie ; un clic fait apparaître son centre. Le mouvement est obtenu en tirant la forme à la souris. Lorsque la forme occupe la position souhaitée, relâcher le bouton de la souris.

Si on clique à l'intérieur de la forme (sauf en un sommet), le mouvement se réalise autour du centre de la forme. Celui-ci, s'il s'agit d'un polygone, est le centre de gravité des sommets.

Si le curseur de la souris est suffisamment proche d'un sommet, celui-ci vire au magenta, signe qu'il peut être choisi comme centre de rotation. Dans ce cas, pour maîtriser le mouvement, il est conseillé, après avoir cliqué pour effectuer ce choix, d'écartier le curseur de la souris du sommet choisi, sans lâcher le bouton.

Dans tous les cas, l'angle de rotation n'est déterminé par le logiciel qu'au moment où l'utilisateur relâche le bouton de la souris... et le logiciel est le seul à connaître cet angle.

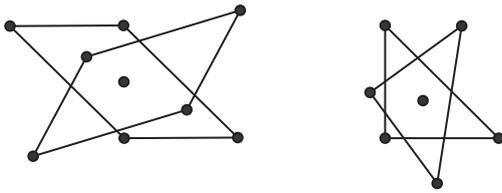


Fig. 12

La partie de gauche de la figure ci-contre montre, deux positions successives d'un parallélogramme tournant autour de son centre. La partie de droite fait de même pour un triangle.

Mentionnons aussi que si une droite B a été construite comme étant la droite passant par un point p et parallèle (ou perpendiculaire) à une droite A , et si on fait tourner A , la droite B restera parallèle (ou perpendiculaire) à A et continuera de passer par p . Ceci est également vrai si A et/ou B sont des segments, ou encore si A est un côté de polygone, de bande ou de secteur.

Si on clique en dehors de toute forme, on fait tourner le plan autour du centre de l'écran.

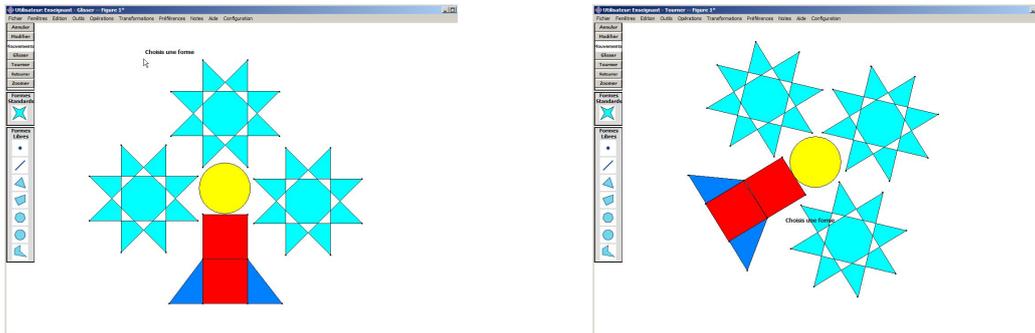


Fig. 13

Les figures ci-dessus montrent un plan avant et après qu'on l'ait fait tourner.

5.4 Retourner

Le troisième mouvement de base est **Retourner**. Une confusion peut exister entre « tourner » et « retourner ». Celle-ci provient du langage courant. Faire tourner une forme géométrique ne nécessite pas de faire sortir celle-ci de son plan. Par contre un retournement d'une forme géométrique s'effectue en sortant du plan, exactement comme on retourne une feuille de papier déposée sur une table, afin de prendre connaissance de ce qui est écrit au verso de la feuille.



À la différence des autres mouvements, le retournement d'une forme inverse son orientation.

Apprenti Géomètre permet de retourner une forme (ou plusieurs en cas de sélection multiple) par rapport à un axe vertical, un axe horizontal, ou un axe oblique (à 45 degrés) passant par le centre de la forme ou par un de ses sommets.

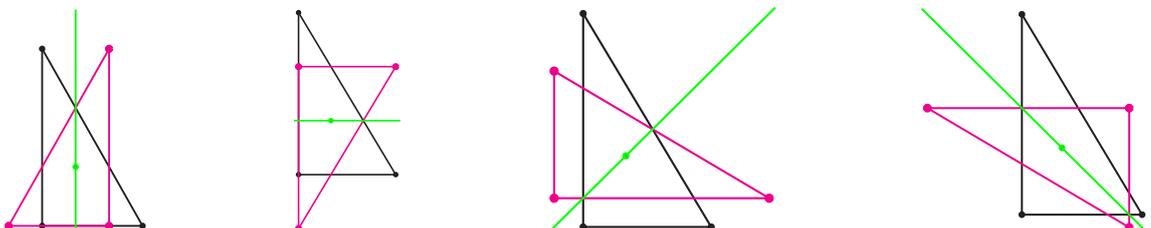


Fig. 14

PRATIQUEMENT

En survolant la forme avec le curseur de la souris, quatre segments verts — représentant les quatre axes possibles — apparaissent tour à tour, tantôt au centre tantôt aux sommets. Le retournement est déclenché par un clic lorsqu'un de ces axes verts est visible.

On peut visionner directement la trajectoire de ce retournement, car l'option [Trajectoire](#) est activée par défaut (voir au chapitre 12 pour cette option).



Il importe de noter que **les directions des axes de symétrie mentionnées ci-dessus sont relatives à la position initiale de la feuille de travail**. Si, comme on l'a expliqué au point précédent, on fait tourner l'intégralité du plan autour du centre de l'écran, les axes subissent la même rotation.

5.5 Zoomer

Zoomer permet d'agrandir ou rétrécir une forme libre ou un assemblage de formes libres. **Zoomer** ne s'applique pas aux formes standard, celles-ci étant indéformables.

PRATIQUEMENT

Pour réaliser l'opération d'*agrandissement*, on clique à l'intérieur de la forme sélectionnée et on fait glisser le curseur de la souris vers le bord de la forme en maintenant le bouton enfoncé.

Pour le *rétrécissement*, le glissement du curseur se fait vers le centre de la forme.

Dans les deux cas, le centre de la forme sélectionnée reste fixe ; c'est le centre de l'homothétie utilisée pour réaliser l'opération.

Voici un exemple d'agrandissement et de rétrécissement d'une forme :

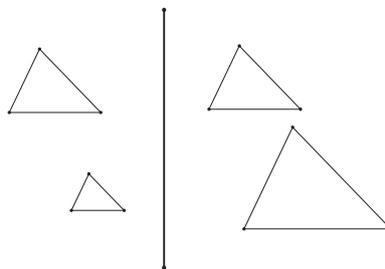


Fig. 15

Il est possible de zoomer l'entièreté de la feuille de travail et d'agrandir ainsi (ou de rétrécir) l'ensemble des formes se trouvant à l'écran. Pour cela, il convient de cliquer à un endroit de la feuille de travail en dehors de toute forme. On obtient un *agrandissement* ou un *rétrécissement* selon que l'on éloigne le curseur de la souris du centre de l'écran, ou qu'on l'en rapproche. À noter que, dans ce cas, les formes standard subissent la même modification car c'est en fait uniquement l'unité de longueur utilisée pour le tracé des formes qui est modifiée.

Zoomer accepte la sélection multiple.

6.1 Introduction

L'opération **Modifier** n'est accessible qu'aux menus B, C, AC et BC . Les formes standard — seules formes disponibles au menu A — sont en effet indéformables, donc non modifiables.

Cette opération **Modifier** est celle qui donne pleinement à *Apprenti Géomètre* son caractère de logiciel de géométrie *dynamique*. C'est donc une des fonctionnalités les plus importantes du logiciel. C'est aussi une des plus délicates du fait de la diversité de comportement des formes géométriques particulières. La modification d'une forme géométrique donnée doit respecter la nature de celle-ci : un triangle rectangle doit rester rectangle et un triangle isocèle doit rester isocèle. Ces deux espèces de triangles obéissent donc à des règles de modification différentes. Ajoutons qu'une figure pourrait être constituée d'un triangle rectangle ayant deux points communs avec un triangle isocèle... et ceci est encore une situation simple !

Le fonctionnement interne du logiciel est donc assez complexe et il ne sera pas possible d'en donner ici une explication complète. Nous nous contenterons d'exposer les grands principes, dont il est bon que l'utilisateur soit conscient.

6.2 Tirer sur un point

Lorsqu'on sélectionne l'opération **Modifier** dans la boîte à outils située sur la gauche de l'écran, le curseur de la souris est remplacé par une petite croix dont le centre est le point « sensible ». Pour modifier une forme géométrique, ou plus généralement un assemblage de formes géométriques, on sélectionne un des points de cette forme ou de l'une de ces formes, et on déplace la souris sans relâcher le bouton. Nous disons qu'on « tire » sur un point. Mais sur quels points peut-on tirer ?

Nous avons rencontré au chapitre 3 plusieurs espèces de points.

- Des **points libres**.

Un point libre est par exemple un sommet de polygone, un des points qui déterminent une droite ou un segment, ou encore le centre d'un cercle, ou l'extrémité d'un arc. Les points libres sont en fait les points qui sont fixés à la souris en un emplacement vacant de l'écran (donc pas sur un trait déjà existant), lors de la construction d'une forme géométrique. En principe, ces points peuvent être tirés n'importe où dans le plan. Il y a néanmoins quelques restrictions liées aux contraintes à respecter par certaines formes géométriques particulières. Nous rencontrerons de telles contraintes dans les sections suivantes de ce chapitre.

- Des **points liés**, ou « points sur ».

Les points liés ne peuvent se déplacer que sur le bord d'une forme géométrique. Ils ne peuvent donc pas être tirés en dehors de cette forme.

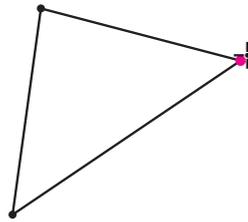


Fig. 1

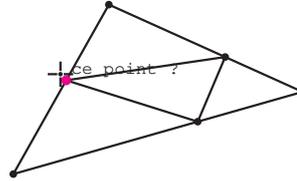


Fig. 2

Lorsque le curseur s'approche d'un point libre ou d'un point lié, ce point devient magenta : on peut le tirer à la souris (Fig. 1 et 2). Le logiciel demande « ce point ? ».

- Des **points d'intersection**.

Un point d'intersection est entièrement déterminé par les deux formes sur lesquelles il est situé. Il ne peut changer de place qu'en modifiant au moins une des deux formes qui le déterminent.

Lorsque le curseur s'approche d'un point d'intersection, ce point NE devient PAS magenta : on ne peut le tirer à la souris (Fig. 3). Le logiciel continue d'afficher imperturbablement « Choisis un point ».

Remarques :

- Comme on vient de l'indiquer, un point d'intersection ne peut être modifié directement, c'est-à-dire en le tirant à la souris. Par contre, il peut être modifié indirectement si en tirant sur un autre point, on enclenche des modifications qui se répercutent sur les deux formes déterminant le point d'intersection.

Par exemple si le point p est à l'intersection des segments $[a, b]$ et $[c, d]$, en tirant sur un des quatre points a, b, c, d , on modifie un des deux segments et le point d'intersection est recalculé et repositionné. Il peut arriver dans ces circonstances que les deux segments $[a, b]$ et $[c, d]$ ne se coupent plus. Dans ce cas, le point p est *invalidé* : il disparaît de l'écran, mais sa définition reste présente dans la mémoire de l'ordinateur. De cette façon, si une nouvelle modification rétablit l'intersection, le point p est revalidé et réapparaît.

- Si un point est invalidé, toute forme dont il est sommet est automatiquement invalidée simultanément et disparaît donc de l'écran. Il en est de même de toute autre forme construite à partir de cette forme invalidée. Lorsque le point est revalidé, les formes en question sont revalidées également et réapparaissent.

On peut utiliser cette propriété pour réaliser des *interrupteurs* qui conditionnent l'affichage de l'une ou l'autre forme géométrique. (Voir l'opération [Conditionner](#)).

- Une forme standard est indéformable. On ne peut donc pas tirer sur un sommet de forme standard : l'approche du curseur n'entraîne pas de modification de la couleur du point (Fig. 4) et le logiciel continue d'annoncer « Choisis un point ».
- Aux chapitres 7 et 8 apparaissent également des **points construits**. C'est le cas par exemple du centre d'un polygone régulier (Fig. 5). Eux non plus ne peuvent être tirés.

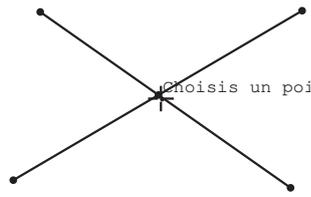


Fig. 3



Fig. 4

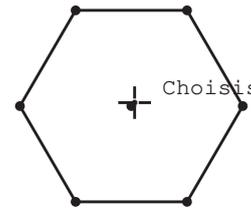


Fig. 5

6.3 Des figures et des sous-figures

Les informations qui suivent ont pour but d'aider l'utilisateur d'*Apprenti Géomètre* à comprendre l'essentiel du fonctionnement de la routine de modification. Nous commencerons par distinguer « forme géométrique » de « figure géométrique ».

6.3.1 Formes et figures

Les *formes géométriques* sont les objets de base du logiciel, ceux que l'utilisateur construit grâce aux opérations accessibles dans les pavés des formes libres et des formes standard. La plupart d'entre eux sont des polygones, mais on y trouve aussi des cercles, des arcs de cercle ainsi que des segments, droites, etc.

Les *figures géométriques* sont des assemblages de formes géométriques *d'un seul tenant*. Une figure peut se réduire à une seule forme. Mais si une figure comporte plusieurs formes, chacune d'entre elles doit avoir au moins un point commun avec une autre et, de proche en proche, toutes les formes de la figure se tiennent entre elles.



Lorsque, dans le cadre de l'opération **Modifier**, on tire sur un point d'une forme, ce sont toutes les formes de la même figure qui sont susceptibles d'être modifiées.

C'est aux figures plus qu'aux formes que s'appliquent les principes dynamiques d'*Apprenti Géomètre*.

Mais comment ces modifications se réalisent-elles ?

6.3.2 Des formes et des figures qui sont modifiées par similitude

Considérons un carré. Si nous le modifions, il doit rester carré. Mais tous les carrés sont semblables entre eux. Si, avant qu'on applique **Modifier**, un carré occupe l'emplacement noté $abcd$ et si après la modification, il occupe l'emplacement $a'b'c'd'$, il existe nécessairement une similitude qui applique $abcd$ sur $a'b'c'd'$ ou plus précisément a sur a' , b sur b' , etc. De plus, cette similitude ne peut retourner le carré : le carré devrait sortir du plan ce qui ne peut pas se faire en tirant sur un sommet. La similitude qui applique l'emplacement $abcd$ sur l'emplacement $a'b'c'd'$ est donc une similitude directe.

Or, on sait qu'étant donné deux couples de points distincts du plan, (p, q) et (p', q') , *il existe exactement une similitude directe qui applique p sur q et p' sur q'* .

L'utilisateur qui tire sur le point situé en a pour l'amener en a' , ne détermine pas complètement une similitude (directe) ⁽¹⁾. Le logiciel doit connaître la destination d'un second point, par

1. Dans la suite, nous ne répéterons plus « directe ».

exemple savoir où le point situé au départ en c va se retrouver ensuite. C'est une information qui ne lui est pas fournie par l'utilisateur. C'est donc le logiciel qui choisit lui-même un second point, ainsi que sa destination.

Dans les cas simples, le choix est lui aussi très simple : *Apprenti Géomètre détermine les sommets qui appartiennent au plus grand nombre de formes. Parmi eux il choisit le sommet construit en dernier lieu. Ce point est laissé fixe.* Nous rencontrerons plus loin des cas moins simples.

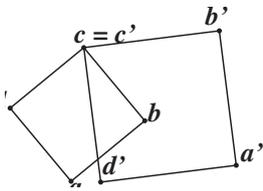


Fig. 6

Les points a, b, c, d ont été construits dans l'ordre d, a, b, c . Ils appartiennent tous au seul carré $abcd$. Quand on tire sur a, b ou d , le logiciel laisse c fixe. Si c'est sur c qu'on tire, b est laissé fixe.

En résumé :

- Lorsque l'utilisateur modifie un carré, il tire sur un sommet, par exemple a .
- *Apprenti Géomètre* choisit un second sommet qui restera fixe. Dans les cas simples, le choix effectué est celui du sommet (autre que celui sur lequel on tire) appartenant au plus grand nombre de formes. En cas d'*ex aequo*, c'est le point construit en dernier lieu qui est choisi parmi les *ex aequo*.
- Disposant maintenant de deux sommets et de leurs destinations, *Apprenti Géomètre* calcule la similitude appliquant les deux sommets sur leurs destinations et applique cette similitude aux autres sommets.

Ce processus est répété tant que l'utilisateur continue de tirer sur le sommet a .

Nous dirons par conséquent qu'*un carré se modifie par similitude*.

Les carrés ne sont pas les seules formes à se modifier par similitude. C'est le cas de tous les polygones réguliers. C'est aussi le cas des triangles rectangles isocèles. Nous pouvons également ranger dans cette catégorie les segments, demi-droites et droites. Mais pas les segments et droites qui ont été construits comme étant parallèles ou perpendiculaires à un autre objet : cette contrainte ne permet plus d'appliquer n'importe quelle similitude.

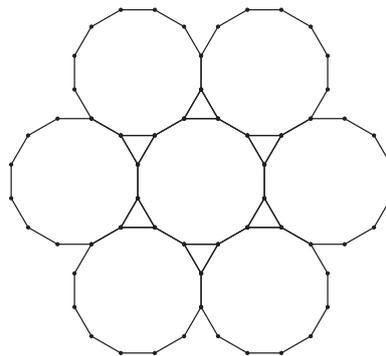


Fig. 7

Considérons à présent une figure ne comportant que des formes se modifiant par similitude, chacune d'entre elles ayant deux points communs avec une autre. C'est le cas par exemple de la figure ci-dessus, constituée de sept dodécagones réguliers et six triangles équilatéraux. Toute modification apportée à l'une des formes de cette figure se propage aux autres. On peut même modifier l'intégralité de cette figure en en déplaçant arbitrairement deux points, même s'ils n'appartiennent pas à une même forme.

En pratique, dès que l'utilisateur tire sur un sommet de cette figure, le logiciel choisit un point fixe (dans les cas simples le point de la figure, différent du point sur lequel on tire et appartenant au plus grand nombre de formes), une similitude est calculée et appliquée à tous les points de la figure. Le point fixe n'appartient pas nécessairement au même polygone que le point sur lequel on tire.

En conclusion : *une figure constituée uniquement de formes se modifiant par similitude et dont toute forme a deux points communs avec une autre se modifie de la même manière.*

Par contre, si deux carrés (par exemple) n'ont qu'un sommet commun, il n'y a aucune raison pour qu'une modification de l'un entraîne une modification de l'autre. Quand on tire sur un sommet différent du sommet commun, le logiciel choisit le sommet commun comme point fixe. De cette façon, la modification ne se transmet pas à l'autre carré. Nous dirons dans ce cas que les deux carrés appartiennent à des sous-figures différentes de la figure donnée.

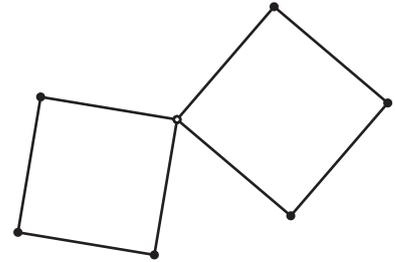


Fig. 8 : Une figure comportant deux sous-figures.

On trouve dans le dernier exemple un des principes qui régissent la modification des formes et figures : on essaie toujours que les modifications apportées se propagent de façon automatique le moins loin possible. Ceci augmente le contrôle de l'utilisateur sur les figures réalisées.

6.3.3 Des formes et des figures qui se modifient par affinité

On vient de rappeler que pour déterminer une forme géométrique se modifiant par similitude, deux points suffisent, et ces deux points peuvent occuper des positions quelconques dans le plan. Certaines formes géométriques sont entièrement déterminées non par deux, mais par trois de leurs points qui peuvent également être placés n'importe où dans le plan.

C'est le cas des triangles quelconques (c'est-à-dire ni isocèles ni rectangles car pour ceux-ci les trois sommets ne peuvent être placés n'importe où dans le plan). C'est aussi le cas des parallélogrammes (ceux qui ne sont ni rectangles, ni losanges), des secteurs et des bandes. Dans chacun de ces cas, il faut aussi tenir compte de l'ordre des points : le triplet de points (p, q, r) ne détermine pas le même parallélogramme que le triplet (p, r, q) .

Les transformations du plan que nous utiliserons pour modifier de telles formes géométriques sont les transformations qui appliquent toute droite sur une droite et conservent le parallélisme. Autrement dit, ce sont les affinités. Les similitudes sont des affinités particulières. Une affinité conservant l'alignement et le parallélisme, nous sommes assurés que tout parallélogramme sera appliqué sur un parallélogramme et toute bande sur une bande. De plus, les abscisses sont conservées, en particulier les milieux. Par contre les angles ne sont pas nécessairement conservés (seules les similitudes les conservent).

Étant donnés deux triplets de points non alignés (donc distincts) (p_1, q_1, r_1) et (p_2, q_2, r_2) , nous savons qu'il existe une et une seule affinité⁽²⁾ appliquant le premier triplet sur le second.

Lorsque l'utilisateur tire sur un point d'une forme qui se modifie par affinité, *Apprenti Géomètre* choisit *deux* points fixes, calcule l'affinité déterminée par les trois points et leurs images et l'applique à tous les sommets de la forme.

2. Ici aussi nous ne considérons que des transformations qui conservent l'orientation.

Si deux formes se modifiant par affinité ont trois sommets communs, toute modification apportée à l'une va se transmettre à l'autre. C'est le cas de la figure constituée des deux parallélogrammes $abcd$ et $abde$ ci-contre :

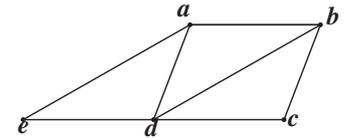


Fig. 9

Nous voyons donc que, de même qu'il existe des figures se modifiant par similitude, il existe aussi des figures se transformant par affinité. Elles peuvent comporter plusieurs formes se transformant elles-mêmes par affinité. Mais cette fois, pour que les modifications se propagent d'une forme à l'autre, les formes en question doivent avoir trois points communs.

Deux formes se modifiant par affinité qui n'ont qu'un ou deux points communs appartiennent à des sous-figures différentes. Les modifications ne se propagent pas de l'une à l'autre car le logiciel choisit les points communs comme points fixes. Ce sera le cas pour les deux parallélogrammes suivants :

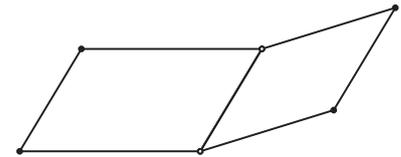


Fig. 10

6.3.4 Figures et sous-figures

Nous avons déjà à plusieurs reprises parlé de *sous-figure*. Nous pouvons définir ce concept comme désignant un assemblage d'un seul tenant de formes géométriques qui ont le même mode de modification et sont modifiées par application d'une seule procédure.

Les sous-figures se transformant par similitude ou par affinité sont les exemples les plus simples. Nous introduirons à la section suivante d'autres types de sous-figures. Limitons-nous ici à remarquer que toute modification d'une figure \mathcal{F} qui comporte plusieurs sous-figures, passe nécessairement par plusieurs phases, une pour chaque sous-figure. Considérons par exemple la figure de Pythagore (Fig. 11) :

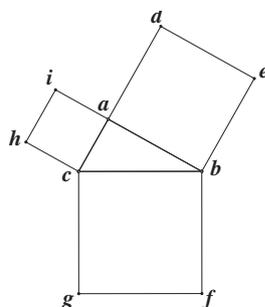


Fig. 11

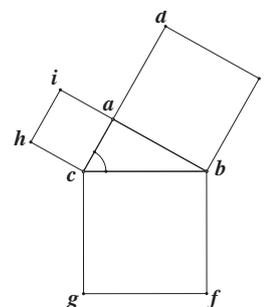


Fig. 12

La figure 11 comporte quatre formes géométriques : le triangle rectangle abc et les carrés $abed$, $bcgf$ et $caih$. Chacune d'entre elles constitue à elle seule une sous-figure. Chaque carré est le seul objet d'une sous-figure qui se modifie par similitude. Le triangle rectangle constitue une sous-figure particulière, qui ne se modifie ni par similitude, ni par affinité.

Le logiciel doit déterminer dans quel ordre il va modifier les sous-figures. Cet ordre dépend initialement de deux paramètres :

- Le point sur lequel on tire.
- Des contraintes de *précédence* qui obligent une sous-figure à être modifiée avant une autre.

Il arrive souvent que les contraintes de précédence ne départagent pas deux sous-figures, soit qu'aucune des deux sous-figures ne précède l'autre, soit — ce qui est pire — que chacune précède l'autre. C'est alors la routine de modification qui effectue le choix, selon d'autres critères, par

exemple le nombre de degrés de liberté de chaque sous-figure. La routine de modification est la routine la plus « délicate » du logiciel. Elle a déjà été l'objet de nombreux ajustements et en subira probablement encore.

Dans le cas de la figure 11, si l'utilisateur tire sur l'un des points d , e , f , g , h ou i , c'est l'un des carrés qui sera modifié en premier lieu. La modification de ce carré induira d'abord celle du triangle abc et celle-ci se propagera ensuite aux deux autres carrés. Si l'utilisateur tire sur un des sommets b ou c , le triangle sera modifié en premier lieu, mais la modification effectuée ne sera guère différente de celle observée précédemment. Par contre si c'est le point a qui est tiré, un des points b , c reste fixe mais la forme du triangle abc peut être modifiée, tout en restant rectangle.

Dans ce cas, il n'existe aucune relation de précédence entre les quatre sous-figures. Par contre si, comme dans la figure 12, on trace un arc de cercle dans l'angle \widehat{acb} , deux points supplémentaires mobiles sont introduits. L'arc appartient à une cinquième sous-figure dont les extrémités sont des « points sur », mais sur quelle forme ? Nous avons abordé cette question à la page 23. Chacun peut être sur un carré ou sur le triangle abc . C'est l'ordre dans lequel le triangle rectangle et les trois carrés ont été construits qui détermine sur quelles formes se trouveront les extrémités de l'arc (sauf si l'utilisateur a modifié ensuite les positions relatives des formes par les procédures [Avant-plan](#) ou [Arrière-plan](#)). Supposons que le triangle rectangle ait été dessiné en premier lieu, les trois carrés ensuite. Ces carrés sont alors à l'avant-plan par rapport au triangle. Il en résulte que les extrémités de l'arc sont positionnées l'une sur le carré $caih$, l'autre sur le carré $cbfg$. De ce fait, les deux carrés doivent être modifiés avant l'arc.

Plus la figure réalisée est complexe et plus la procédure de modification comporte d'étapes dont l'enchaînement peut être délicat. Dans certains cas, il devient simplement impossible de modifier une figure en tirant sur l'un ou l'autre point. Dans ce cas, soit ce point ne s'éclaire pas en magenta, soit un message *Choix non valide* s'affiche. Il reste à essayer une modification en tirant sur un autre point !

6.3.5 Des formes particulières

Les formes particulières telles que *triangles isocèles*, *triangles rectangles*, *rectangles*, *losanges*, *trapèzes*, *arcs*, *segments ou droites construits parallèlement ou perpendiculairement à un objet donné*, ainsi que les sous-figures qu'elles déterminent, ne se modifient ni par similitude, ni par affinité. En fait, la plupart de ces formes se modifient par application d'affinités particulières, c'est-à-dire des affinités choisies de façon à conserver soit un angle droit bien déterminé, soit une égalité de longueurs. Ces contraintes diffèrent d'une forme à l'autre. Il serait trop fastidieux d'énumérer ici les procédures qui sont appliquées dans ces cas.

Il peut aussi arriver que l'utilisateur constate que la façon dont une figure se modifie dépend de l'ordre dans lequel il a construit les différentes formes constituant la figure. Éventuellement cela pourrait l'amener à reprendre la construction autrement.

Voici un exemple :

On construit d'abord un segment $[a, b]$ puis un segment $[a, c]$ perpendiculaire à $[a, b]$ (Fig. 13). Dans le cadre du logiciel, la relation de perpendicularité n'est pas symétrique : la direction de $[a, b]$ détermine celle de $[a, c]$, mais pas le contraire. Nous sommes dans un cas où existe une relation de précédence : lors d'une modification, le logiciel s'occupe d'abord de $[a, b]$ puis de $[a, c]$. Il n'est donc pas possible de modifier la direction du segment $[a, c]$ autrement qu'en modifiant celle de $[a, b]$. Si l'utilisateur veut précisément modifier d'abord la direction de $[a, c]$, par exemple parce que cette figure est une partie d'une autre, imposant une telle contrainte, il devra revoir

sa construction.

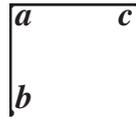


Fig. 13

Notons aussi que la gestion d'une figure comportant plusieurs dizaines de sous-figures peut prendre un temps considérable du fait des précédences entre sous-figures à déterminer avant d'entamer une modification. Ce fait peut être spécialement gênant pour des figures comportant un grand nombre de formes particulières (au sens du présent paragraphe) car chacune d'entre elles constitue généralement à elle seule une sous-figure.

Heureusement, il est une catégorie de formes libres dont la modification pose moins de problèmes : les polygones quelconques car leurs sommets peuvent être déplacés arbitrairement sans que ces déplacements se répercutent sur les autres sommets d'une figure.

7.1 Introduction



Fig. 1

Ce chapitre est consacré au menu *Opérations*. Pour la plupart, ces opérations sont des spécificités d'*Apprenti Géomètre*. Il s'agit essentiellement de procédures permettant de construire de nouvelles formes géométriques à partir d'anciennes. C'est le cas de **Diviser**, **Découper**, **Fusionner**, **Dupliquer**, **Construire le centre** et **Prolonger**.

L'avant-dernière procédure, dénommée **Identifier** est de nature différente : elle permet soit d'identifier deux points différents, soit de placer un point « sur » un trait. Ce faisant, elle modifie essentiellement l'assemblage des formes en figures. Nous verrons qu'elle est soumise à certaines restrictions : on ne peut identifier n'importe quel point à n'importe quel autre point. Enfin, une dernière opération n'est applicable qu'à certains polygones. Elle se nomme **AutoIntersection**

Les cinq premières opérations, **Diviser**, **Découper**, **Fusionner**, **Dupliquer** et **Construire le centre** sont accessibles dès le menu A. **Prolonger** apparaît dans les menus B, C et AB, AC : dans le cadre des menus B et AB, c'est la seule façon de construire une droite.

Quant aux opérations **Identifier** et **AutoIntersection**, elles sont introduites aux menus C et AC.

7.2 Opérations/Diviser

Diviser permet de diviser en parts égales un segment, un côté de polygone, un cercle ou un arc de cercle.

PRATIQUEMENT



Fig. 2

En cliquant sur **Diviser**, on déroule un sous-menu qui propose les nombres 2, 3, 4, 5 et 10 comme le montre la figure 2.

On choisit alors le nombre de parts, puis on sélectionne un segment, un côté de polygone (soit globalement, soit par ses extrémités), un cercle ou un arc de cercle. Les points de subdivision appartiennent à l'objet qui a été divisé, ils se déplacent avec cet objet, ils sont repositionnés si on modifie l'objet et ils sont supprimés si on le supprime. Ces points ont le statut de *point construit*.

On peut ensuite se servir des points de subdivision pour diviser à nouveau les portions de segments ou arcs de cercle obtenus. En combinant les nombres 2, 3, 4, 5 et 10 on peut aussi diviser par 6, 8, 9...

Quelques précisions

- Un segment ayant deux extrémités, la subdivision d'un segment ne pose aucun problème. Elle peut être obtenue aussi bien en sélectionnant le segment qu'en cliquant successivement sur ses deux extrémités.
- Par contre, la subdivision d'un cercle peut éventuellement susciter des interrogations. Et celles-ci sont différentes selon qu'il s'agit d'un cercle standard ou d'un cercle libre. Le rayon d'un cercle standard étant fixé par le bouton de la boîte à outils qui a été actionné, la position d'un cercle standard n'est déterminée que par son centre. Le logiciel subdivise un cercle standard en prenant comme origine des arcs le point situé à l'horizontale du centre et à droite de celui-ci.

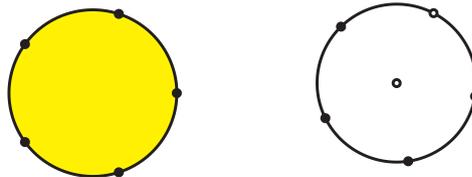


Fig. 3

Pour sa part, un cercle libre est déterminé par son centre et un point, tous deux choisis par l'utilisateur. C'est ce dernier point qui est alors utilisé comme origine des arcs et c'est à partir de là que les points de subdivision sont fixés.

Pour la subdivision d'un arc de cercle, deux cas sont également à considérer selon que l'arc a fait l'objet d'une construction individuelle, conformément aux indications de la section 3.3.7 ou que l'arc est limité par deux points d'un cercle.

- Dans le premier cas, l'arc peut être subdivisé comme un segment : soit en sélectionnant l'arc lui-même, soit en cliquant successivement sur ses deux extrémités (Fig. 4).
- Dans le second cas, l'arc de cercle ne peut être subdivisé qu'en cliquant sur ses extrémités. Il convient alors d'être attentif à l'ordre dans lequel les points sont choisis. En effet deux points déterminent deux arcs. L'arc subdivisé sera celui allant de la première extrémité choisie vers la seconde dans le sens déterminé par l'orientation du cercle.

Le cercle de la figure 5 est orienté dans le sens trigonométrique. Il a été construit en fixant successivement son centre o et le point p . Deux points a et b ont ensuite été placés sur le cercle et les deux arcs limités par ces points ont été divisés en quatre parties, l'un en cliquant, dans l'ordre, sur a puis b , l'autre en cliquant sur b puis a .



Fig. 4

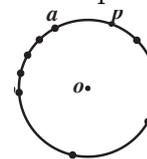


Fig. 5

Les deux cercles de la figure 6 sont orientés en sens contraires (voir les flèches). Les arcs \widehat{ab} et $\widehat{a'b'}$ ont été divisés en cliquant d'abord sur a (a'), puis sur b (b').

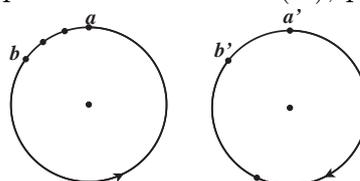


Fig. 6

Une autre difficulté apparaît quand on envisage de réaliser une subdivision en sélectionnant deux points d'un cercle : si ces deux points ont soit le statut de « point sur le cercle » soit celui de « point de subdivision du cercle », c'est l'arc joignant ces deux points qui est subdivisé. Même si les points sont visuellement positionnés sur le cercle, ils n'ont pas nécessairement le statut de « point du cercle » ou celui de « point de subdivision du cercle ».

- Il est également possible d'appliquer la procédure **Diviser** en choisissant successivement deux points, même si ceux-ci n'appartiennent pas à une même forme géométrique. Il y a cependant un cas où cette méthode ne conviendra pas : si on veut subdiviser la corde d'un cercle déterminée par deux points du cercle ayant l'un des statuts « point sur le cercle » ou « point de subdivision d'un arc du cercle », il est nécessaire de dessiner cette corde et de la sélectionner. Comme on l'a écrit ci-dessus, sélectionner les deux extrémités de la corde entraînerait la subdivision de l'arc de cercle et non de la corde.

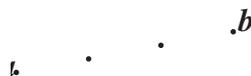


Fig. 7

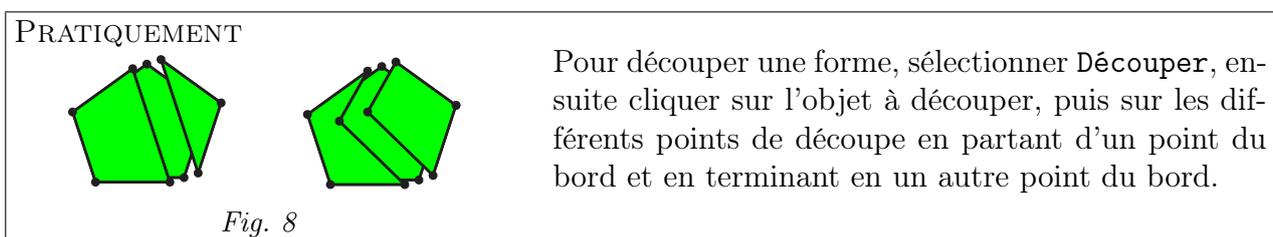
Cette particularité peut se révéler utile par exemple pour la construction du milieu de deux points sans devoir tracer le segment qui les joint.

- **Diviser** n'accepte pas la [sélection multiple](#).

7.3 Opérations/Découper

Découper permet de partager une forme (polygone ou cercle) en deux parties. La découpe se fait suivant un segment ou une ligne brisée déterminée par quelques points, le premier et le dernier devant impérativement appartenir au bord de la figure à découper (voir par exemple la figure 8).

Pour une forme standard, seuls les sommets, le centre et les points de subdivision des côtés ou du cercle, obtenus à partir de la commande **Diviser**, peuvent servir de points de découpe. Autrement dit, il n'est pas possible de découper où l'on veut. Par contre les formes libres peuvent être découpées en utilisant comme points de découpe initial et final des points préalablement placés arbitrairement « sur » le bord de la forme.



Une originalité de la commande **Découper** est qu'elle laisse subsister à l'écran la forme non découpée. Les deux morceaux de la découpe apparaissent à l'écran un peu « décalés » par rapport à la forme d'origine, en partie cachée si les formes découpées sont opaques. L'équivalent est impossible quand on découpe une forme en papier. *Apprenti Géomètre* permet de confronter les morceaux à l'original, et même de reconstituer un clone de ce dernier, via la commande **Fusionner** (voir ci-dessous).

Il est possible d'utiliser comme points de découpe des points préalablement situés à l'intérieur de la forme à découper, non liés à cet objet. Après la découpe, les points en question sont liés à l'objet découpé : si on applique un mouvement à cet objet, ils suivent automatiquement.

Les polygones ne sont pas les seules formes qui peuvent être découpées. Un disque peut également l'être. On crée ainsi, par exemple, des « quartiers de tarte ». C'est un type de forme géométrique souvent désigné sous le nom de *forme hybride* car elle comporte simultanément des côtés rectilignes et un ou des côtés curvilignes. Avec la version actuelle d'*Apprenti Géomètre* une forme hybride ne peut pas être découpée à son tour.

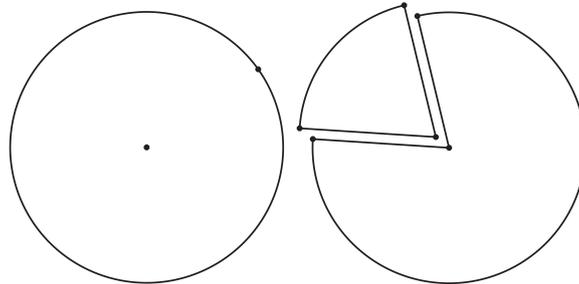


Fig. 9

Lorsqu'elle est appliquée à une forme libre, la fonctionnalité Découper possède des particularités importantes.



Si une forme libre F a été découpée, les deux morceaux F_1 et F_2 restent liés à F .

- Toute modification apportée à l'aide de la procédure Modifier à l'une des formes F , F_1 ou F_2 est répercutée sur les deux autres.
- La suppression de la forme-mère F entraîne la suppression des deux formes filles F_1 et F_2 .
- Par contre, la suppression de l'une des formes-filles n'a pas de conséquence pour la mère ou l'autre fille.

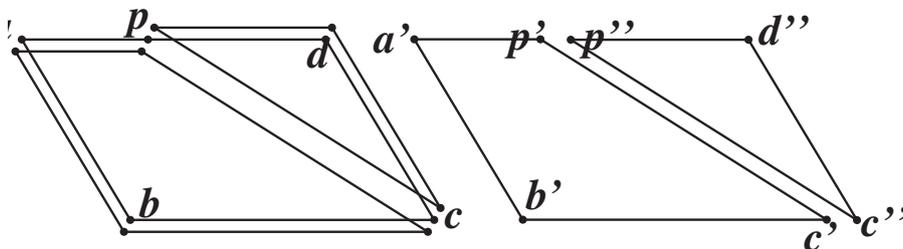


Fig. 10

Le parallélogramme $abcd$ a été découpé suivant le segment $[p, c]$ où p est un point mobile sur le côté $[a, d]$. Pour la clarté de la figure, les deux pièces ont été reproduites en $a'b'c'p'$ et $p''c''d''$. Lorsque le point p se déplace sur $[a, d]$, les deux points p' et p'' sont adaptés de façon dynamique. Ainsi, en tout instant la juxtaposition éventuelle des deux pièces reproduirait le parallélogramme de départ. Toute modification de l'un des sommets a , b , c et d du parallélogramme se répercute automatiquement sur les deux pièces.

Seules les formes libres jouissent de cette propriété d'adaptation automatique lorsqu'on applique l'opération Modifier à un des sommets soit de la forme-mère, soit d'une des formes filles. Pour que cette adaptation fonctionne, la forme-mère sert d'intermédiaire entre les deux filles. C'est pourquoi on ne peut supprimer la mère tant que les filles existent, ou plus précisément, la suppression de la mère entraîne celle des filles.

Les pièces d'une découpe sont des formes construites à partir de la forme-mère. Leurs sommets

ont donc le statut de *point construit*.

La situation est différente pour les formes standard : ces formes sont indéformables, on ne peut donc leur appliquer l'opération **Modifier**, ce qui rend inutile l'existence d'un lien entre la mère et les filles. De ce fait, il est possible de supprimer une forme standard qui a été découpée sans voir disparaître les pièces de la découpe.



Lorsqu'on construit un point « sur » le côté d'un polygone, ce point est mobile et peut être amené en n'importe quel point de n'importe quel côté du polygone. Mais si le point en question est utilisé comme point de découpe, il ne peut plus se déplacer que sur le côté auquel il appartient au moment où cette opération est effectuée. Le point a été *limité*.

Notons aussi que **les pièces d'une découpe de forme libre ont la même orientation que la forme-mère.**

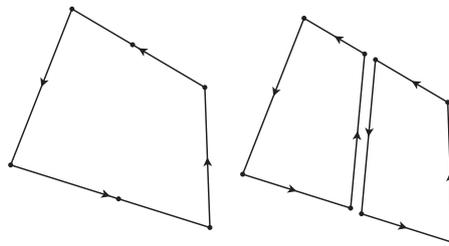


Fig. 11

Une astuce : Lorsqu'on découpe une forme, le logiciel duplique le segment par rapport auquel on découpe, chacune des copies de ce segment « refermant » une des deux formes créées par le découpage. Cela a pour conséquence que si on applique l'opération **Découper** à un polygone en choisissant comme points de découpe deux sommets consécutifs, le logiciel crée d'une part un segment et d'autre part une copie de la forme de départ (Fig. 12).



Fig. 12

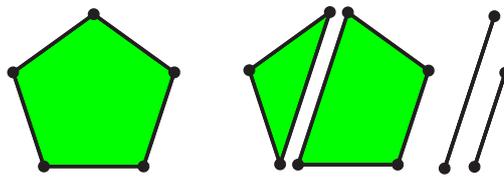


Fig. 13

Cette particularité permet de créer artificiellement un « segment » ayant même longueur qu'un côté de la forme initiale ou de comparer les longueurs des côtés d'une figure en les « détachant » de leur figure d'origine. Dans la figure 13 les deux segments parallèles sont des répliques d'un côté et d'une diagonale du pentagone régulier.

Cette astuce peut présenter des inconvénients.

- Les « segments » ainsi créés sont en réalité des « bigones ». Ils pourraient donc réserver des surprises.
- Appliquée à une forme concave, l'opération peut créer des segments parasites comme sur la figure suivante :

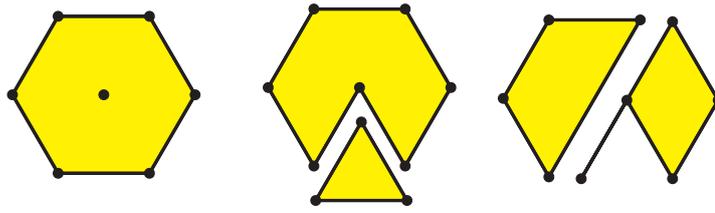


Fig. 14

Découper n'accepte pas la [sélection multiple](#).

7.4 Opérations/Fusionner

L'opération **Fusionner** est *a priori* la réciproque de **Découper**. Effectivement, en fusionnant deux formes obtenues par découpe, après les avoir juxtaposées selon le trait de découpe, on retrouve la forme initiale.

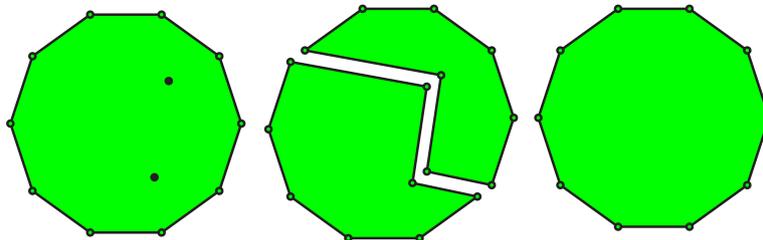


Fig. 15

Mais parfois, il y a des différences que nous expliciterons ci-dessous. De plus on peut très bien fusionner deux formes qui n'ont pas été obtenues par découpe. Il suffit que les deux formes aient des côtés superposables. Précisons d'abord la procédure de fusion en considérant d'abord des formes standard.

PRATIQUEMENT

Pour fusionner deux formes, après les avoir juxtaposées, sélectionner **Fusionner** dans le menu *Opérations*, ensuite cliquer sur la première, puis sur la seconde forme.

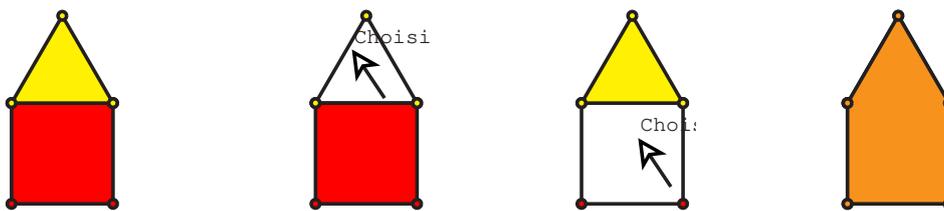


Fig. 16

Le logiciel ne permet de fusionner que deux formes à la fois. Pour fusionner plus de deux formes, on répète l'opération.

La forme fusionnée prend une couleur intermédiaire entre les couleurs des deux formes fusionnées. Les deux formes qui ont servi à la fusion sont toujours présentes mais cachées par la forme issue de la fusion.

Remarques

- Le résultat de la fusion de deux formes standard est une forme standard.
- L'opération **Fusionner** réserve parfois des surprises du fait de son fonctionnement : elle recherche une (ou plusieurs) paires de côtés (un côté de la première forme et un côté

de la seconde) qui sont exactement superposés. Ayant trouvé de telles paires, elle crée une nouvelle forme en supprimant les deux côtés de chaque paire. Si l'une des formes est intérieure à l'autre, le résultat de l'opération ressemble plus à une amputation qu'à une fusion (Fig.17).

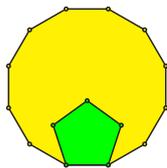


Fig. 17

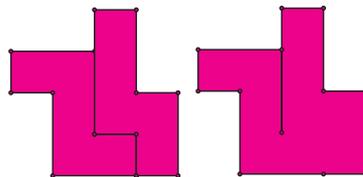
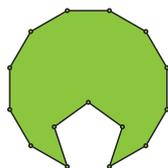


Fig. 18

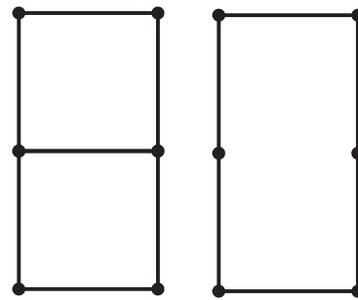


Fig. 19

- La manipulation de formes concaves fait parfois apparaître des segments « parasites ». Dans le cas de la figure 18, le logiciel a repéré deux paires de côtés superposés qu'il pouvait supprimer et ne s'est pas préoccupé d'une troisième paire de côtés qui n'étaient que partiellement superposés.
- La fusion de deux formes peut créer une configuration dans laquelle deux segments ayant un sommet commun sont alignés. Ce sommet, n'étant pas supprimé, conserve le statut de sommet. Ainsi, le rectangle de la figure 19 possède six sommets !

Considérons à présent le cas de la fusion de deux formes libres.

- La procédure de fusion est identique à celle décrite dans le cas des formes standard.
- Les formes fusionnées étant des formes libres, toute modification de l'une des deux formes partielles ou de la forme créée par la fusion se répercute sur les deux autres. Ceci est une propriété introduite avec la version 2.3.9. Elle permet de renforcer encore le dynamisme du logiciel. Par exemple, étant donnés deux triangles dont l'un est un duplicat de l'autre (voir la section suivante consacrée à la duplication), les formes ci-dessous sont toutes issues de la fusion de ces deux triangles selon des côtés différents. Pour certaines de ces opérations, un des triangles a été retourné.

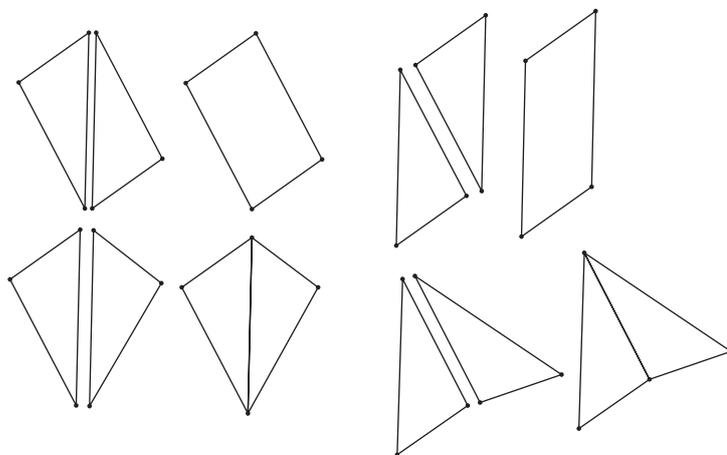


Fig. 20

Clairement, par fusion des deux triangles selon des côtés homologues dans la duplication, nous pouvons créer des parallélogrammes et des cerf-volants. Une activité serait d'essayer de construire et de dénombrer les formes ainsi constructibles. Mais l'examen de la figure 20

provoque inmanquablement une surprise : pourquoi le côté utilisé pour la fusion disparaît-il lors de certaines fusions et subsiste-t-il dans d'autres ?

Nous touchons ici du doigt la différence entre la géométrie dynamique et la géométrie traditionnelle. Nous avons déjà mentionné que la géométrie dynamique est orientée. Marquons de flèches les orientations de tous ces polygones.

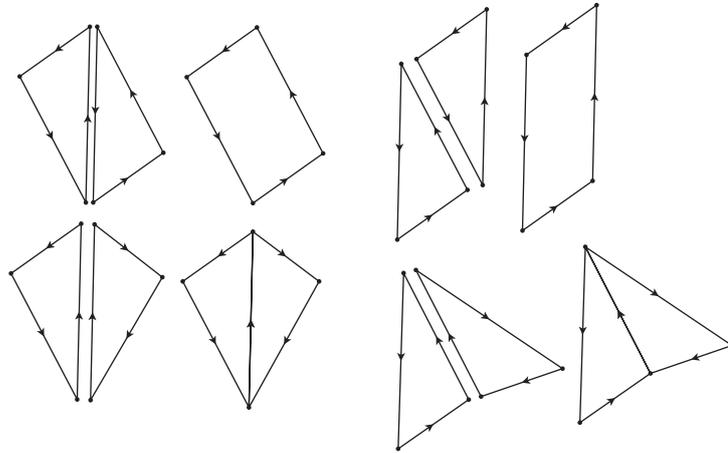


Fig. 21

C'est dans le cas des fusions débouchant sur des cerfs-volants que le côté commun subsiste. Pour réaliser ces fusions, un des triangles a été retourné. Les deux triangles ont donc des orientations opposées et les côtés selon lequel s'opère la fusion ont la même orientation. Dans le cas de la fusion de formes libres, le logiciel tient compte de l'orientation de ces formes. (Il n'en tient pas compte lorsqu'il fusionne deux formes standard.)

Par contre, dans le cas des fusions qui créent des parallélogrammes, les côtés selon lesquels s'opère la fusion n'ont pas la même orientation.

Le point de vue de la géométrie dynamique est un point de vue vectoriel : deux vecteurs opposés ont une somme nulle, les côtés fusionnés se tuent mutuellement. Deux vecteurs égaux ne se tuent pas, les côtés fusionnés subsistent.

Tout cela heurte les habitudes des utilisateurs qui n'ont pas l'occasion de pratiquer la géométrie orientée. Mais tout cela rejoint le point de vue de l'analyse vectorielle pour laquelle les longueurs des courbes et les aires des domaines se calculent par des intégrales . . . orientées. En fait, il faut considérer les polygones comme des chemins que l'on parcourt, côté par côté. Si un côté est parcouru deux fois dans des sens différents, les deux trajets s'annulent. Mais s'il est parcouru deux fois dans le même sens, il faut le compter deux fois.

Ainsi les parallélogrammes de la figure 20 sont de braves parallélogrammes ayant quatre sommets et quatre côtés. Par contre les cerfs-volants de cette figure ont six côtés et six sommets.

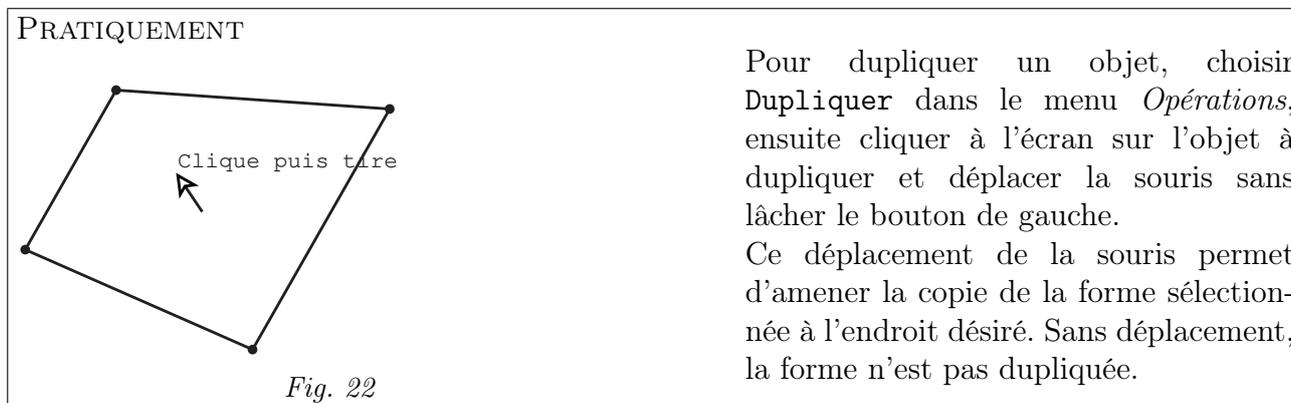
Au prix de ce qui peut apparaître comme des complications, on retrouve alors une formule de base du calcul d'aires : l'aire (orientée) d'un polygone obtenu par fusion est la somme des aires (orientées) de ses deux composantes.

- Les polygones, obtenus par fusion de deux polygones, dans lesquels un segment est parcouru deux fois dans le même sens, ne peuvent faire l'objet d'un [découpage](#).
- Le résultat de la fusion d'une forme standard et d'une forme libre est une forme standard. Les modifications qui seraient apportées à la forme libre ne se répercutent donc pas sur la forme fusionnée.

Fusionner n'accepte pas la sélection multiple.

7.5 Opérations/Dupliquer

L'opération **Dupliquer** est une des spécificités les plus intéressantes d'*Apprenti Géomètre*. Elle permet de créer une copie exacte d'une forme géométrique, mais surtout, s'il s'agit d'une forme libre, cette copie reste liée à l'originale de sorte que les deux formes sont toujours géométriquement semblables.



Nous devons distinguer la duplication d'une forme géométrique « générale » de celle d'un « point sur ».

Cas d'une forme géométrique générale

Pour les formes standard, **Dupliquer** est équivalent à un **Copier-Coller** réalisé en une seule opération.

Pour les formes libres, le fait de **Dupliquer** une forme, associe le duplicat à la forme initiale de sorte que toute modification apportée à l'une d'elles (à l'aide de l'opération **Modifier**) entraîne la même modification à l'autre. Les sommets d'une forme dupliquée dépendent de la forme initiale, ils ont donc le statut de *point construit*.

Par contre, l'application d'un mouvement (**Glisser**, **Tourner**, **Retourner**) ou d'un redimensionnement (**Zoomer**) à l'une est sans incidence sur l'autre. Les deux formes restent donc toujours géométriquement semblables, quelles que soient leurs positions ou leurs orientations par rapport à l'écran.

En appliquant l'opération **Dupliquer** de façon répétitive, on peut créer une chaîne de formes « dupliquées ». La figure suivante montre trois formes d'une telle chaîne. Elle montre aussi ce qui arrive lorsque l'utilisateur essaie de supprimer une des formes de la chaîne : en application du principe énoncé à la section 4.4.6, toutes les formes créées (par duplication dans ce cas) après celle qu'il sélectionne seront également supprimées. L'utilisateur en est prévenu par le fait qu'après avoir choisi l'opération **Supprimer** et pointé l'une des formes de la chaîne, cette forme est redessinée en magenta, ainsi que toutes celles (de la même chaîne) qui ont été créées après elle.

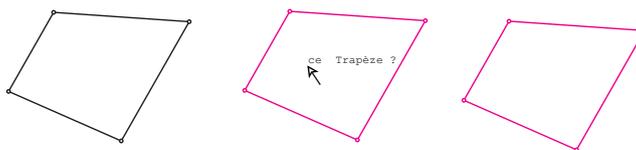
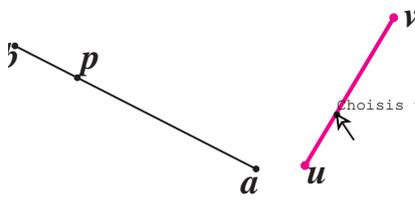


Fig. 23

Dupliquer accepte la **sélection multiple** quand on l'applique à des formes géométriques générales. Signalons aussi qu'il n'est pas possible de dupliquer une forme image d'une autre par une **transformation géométrique**.

Cas d'un « point sur »

L'opération **Dupliquer** permet également de dupliquer des points « sur » en en conservant certaines propriétés.

<p>PRATIQUEMENT</p>  <p style="text-align: center;">Fig. 24</p>	<p>Pour dupliquer un point « sur », choisir Dupliquer dans le menu <i>Opérations</i>, ensuite cliquer à l'écran sur le point à dupliquer (ici p) et déplacer la souris sans lâcher le bouton de gauche jusqu'à ce que le nouveau point soit « sur » l'objet visé, ici le segment $[u, v]$. Ceci est confirmé par le fait que ce segment est repeint en magenta. On peut alors relâcher le bouton de la souris, le logiciel placera le point dupliqué de p de façon qu'il ait même abscisse sur $[u, v]$ que p sur $[a, b]$.</p>
--	--

Considérons un point p placé sur un segment ou une droite. Ce segment ou cette droite sont déterminés par deux points a et b . L'ordre de ces points est important : il fixe un repère et une orientation. Le premier point a dans notre cas est l'*origine*, le second est le point *unité*. Tout point de la droite ou du segment est alors repéré par son abscisse relativement au repère (a, b) .

Un point placé « sur » le bord d'un polygone est repéré de la même manière : le polygone étant construit par fixation de ses sommets, d'une part l'ordre de ceux-ci détermine une numérotation des côtés (de 0 à $n - 1$ si le polygone a n côtés), d'autre part chaque côté est muni du repère constitué de ses extrémités. Un point situé sur un côté d'un polygone est donc repéré par deux nombres : un nombre naturel (le numéro du côté sur lequel il se trouve) et un décimal compris entre 0 et 1 : son abscisse sur le côté.

Sur un cercle, les points sont simplement repérés par la mesure de l'arc qui les joint à l'origine du cercle, le tour complet étant considéré de mesure 1. Cette mesure sera ici encore appelée l'abscisse d'un point du cercle.

Sur un arc de cercle, les points sont également repérés par un nombre compris entre 0 et 1 que nous appellerons également une *abscisse*. L'abscisse d'un point p de l'arc \widehat{ab} (orienté de a vers b) est le rapport des mesures des deux arcs : $\frac{\text{amplitude}(\widehat{ap})}{\text{amplitude}(\widehat{ab})}$.

Lorsqu'un point « sur » est déplacé sur son support, son abscisse est automatiquement recalculée.

Ces explications permettent de comprendre le fonctionnement de la procédure **Dupliquer** lorsqu'on l'applique à un point « sur ».



- En principe, un point « sur » un objet ne peut être dupliqué que sur un objet de même espèce, c'est-à-dire sur un objet ayant le même intervalle de variation des abscisses que le premier. Par exemple un point situé sur un triangle ne peut être dupliqué que sur un triangle (éventuellement le même). Et un point situé sur un segment ne peut pas être dupliqué sur une droite.
- La règle précédente admet trois exceptions : un point situé « sur un segment » peut être dupliqué
 - sur un côté d'un polygone. Dans ce cas, le duplicat (situé sur le polygone) est *limité*, il ne peut pas passer d'un côté de ce polygone sur un autre.
 - sur un arc de cercle.
 - sur un cercle.
 Dans chacun de ces cas l'abscisse d'un point et/ou de son duplicat ne peut varier qu'entre 0 et 1 et les deux points ont toujours même abscisse.
- Si un point p situé sur un objet P est dupliqué en un point q situé sur un objet Q de même espèce que P au sens ci-dessus, les abscisses des points p et q sont égales. Par exemple, un point d'abscisse r sur le côté n° 1 d'un quadrilatère peut être dupliqué sur le côté n° 2 d'un (autre ou non) quadrilatère et son duplicat aura aussi l'abscisse r . Si le premier point passe du côté n° 1 au côté n° 2, le second passera du côté n° 2 au côté n° 3 (et vice-versa). Tout déplacement de l'un sur son support entraîne donc un déplacement de l'autre, également sur son support.
- Une exception à la règle précédente doit être signalée : supposons que p soit un point d'abscisse r situé sur un segment S . Nous pouvons dupliquer p sur le segment S lui-même. Dans ce cas, le duplicat est le point p' d'abscisse $1 - r$ de S , c'est-à-dire le symétrique de p par rapport au milieu de S . Le point p' NE PEUT PAS être dupliqué à son tour. Cette exception n'est pas seulement valable pour les points situés sur un segment, elle l'est aussi pour ceux situés sur un côté de polygone ou sur un arc.
- Lorsqu'un point p_1 est placé « sur » un cercle C_1 et dupliqué en un point p_2 sur un second cercle C_2 , tout déplacement de p_1 sur C_1 induit un déplacement de même amplitude de p_2 sur C_2 . Mais il se pourrait que les deux points p_1 et p_2 tournent en sens contraires l'un de l'autre : si C_1 et C_2 n'ont pas la même orientation, par exemple si C_2 a été retourné après avoir été construit sans que ce soit le cas de C_1 .

Comme pour les formes géométriques, l'opération **Dupliquer** peut être appliquée de façon répétitive, ce qui crée des chaînes de points dupliqués connectés entre eux.

Par exemple, en plaçant un point sur le bord d'un carré, et en le dupliquant sur les autres côtés, on obtient quatre points qui sont également les sommets d'un carré. De plus, en dupliquant un quelconque des sommets de ce nouveau carré sur un de ses côtés et en répétant l'opération, on construit une suite de carrés emboîtés intimement liés puisqu'il suffit de modifier n'importe quel sommet d'un des carrés dupliqués pour que ceux-ci soient tous adaptés.

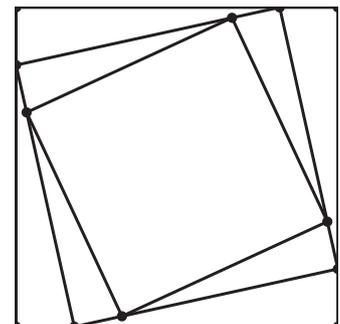


Fig. 25

7.6 Opérations/Prolonger

L'opération **Prolonger** ne nécessite pas de grands commentaires. Elle peut être appliquée à un segment ou à un côté de polygone. Dans les deux cas, le résultat est une droite.

PRATIQUEMENT

Après avoir cliqué sur **Prolonger** dans le menu *Opérations*, on clique sur le segment que l'on souhaite prolonger.

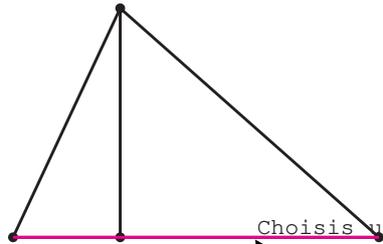


Fig. 26

Tous les points qui auraient été placés « sur » le segment deviennent automatiquement des points « sur » la droite.

Considérons par exemple un triangle ayant trois angles aigus, dont une hauteur a été tracée en tant que segment perpendiculaire au côté opposé. Si on modifie le sommet d'où la hauteur est issue, la hauteur disparaît quand le triangle devient obtusangle, car le point d'intersection du segment et du côté opposé n'existe plus. En prolongeant les côtés du triangle, la hauteur n'est plus considérée comme segment perpendiculaire au côté du triangle, mais bien à la droite qui prolonge ce côté. Elle ne disparaît donc plus.

Prolonger n'accepte pas la [sélection multiple](#).

7.7 Opérations/Construire le centre

Construire le centre : Cette fonctionnalité permet d'afficher le centre d'une forme. La signification précise du mot *Centre* varie selon la nature de l'objet considéré. Pour les polygones, il s'agit du barycentre des sommets. Pour un cercle ou un arc de cercle, il s'agit du centre (au sens usuel) du cercle ou de l'arc. Pour les autres formes, il s'agit du barycentre des points qui servent à les définir.

PRATIQUEMENT

On clique dans le menu *Opérations* et sur la commande **Construire le centre**. Ensuite, il reste à cliquer sur la forme pour que son centre apparaisse.

Le centre d'une forme tel que construit par cette opération est un des points que le logiciel propose comme centre de rotation possible lorsqu'on applique le mouvement **Tourner**.

Construire le centre accepte la [sélection multiple](#).

7.8 Opérations/Identifier

L'opération **Identifier** complète l'opération **Modifier**. Elle permet en effet de modifier le statut d'un point :

- Un point qui était libre peut être placé « sur » un objet.

- Un point libre peut aussi être identifié à un autre point.

Il en résulte une réorganisation des figures rassemblant les différentes formes présentes à l'écran.

Placer un point libre sur un objet

Considérons la situation suivante :

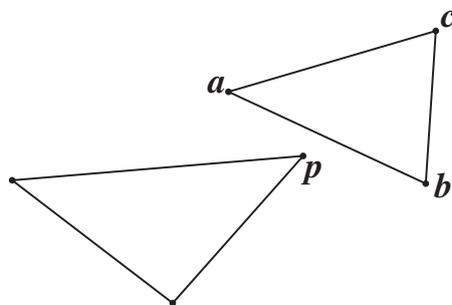


Fig. 27

Pour une raison quelconque, nous voulons que le point p vienne se placer « sur » le triangle abc .

En utilisant **Modifier**, et grâce au magnétisme, nous pouvons effectivement amener le point p « au-dessus » de $[a, b]$.

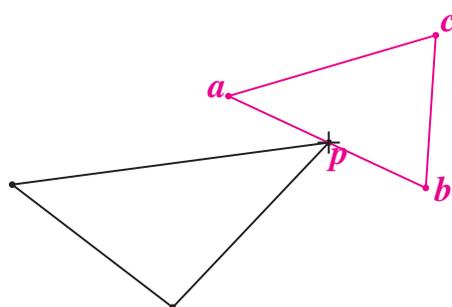


Fig. 28

Mais le point p est toujours un point libre ⁽¹⁾, il n'est pas encore astreint à rester sur le triangle abc ni sur le segment $[a, b]$. C'est donc le moment d'utiliser l'opération **Identifier**.

Cliquons sur le bouton *Opérations/Identifier* et amenons le curseur au-dessus du point p . Un message apparaît : *Placer le point sur le trait*

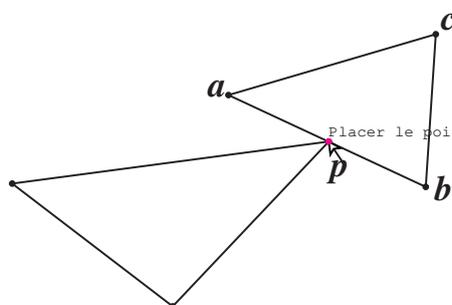


Fig. 29

1. Dans la version 2.1.6 d'*Apprenti Géomètre*, l'identification de deux points était automatique dès que l'opération **Modifier** était utilisée pour superposer l'un à l'autre. Il est apparu ultérieurement que cet automatisme avait autant d'inconvénients que d'avantages et qu'il était préférable que l'utilisateur décide lui-même si une identification devait avoir lieu.

Il reste à enfoncer le bouton gauche de la souris : le point p a été placé « sur » le triangle abc , comme on le vérifie aisément en recourant à l'opération **Modifier**.

Remarque

Dans la version actuelle d'*Apprenti Géomètre* un point « sur » un premier objet ne peut — via la procédure **Identifier** — être placé « sur » un deuxième objet, ce qui reviendrait à créer un point d'intersection mais pourrait créer des difficultés techniques. Pour la même raison si une forme, par exemple un triangle abc , a été dupliquée, dans notre exemple en un triangle $a'b'c'$ et si un des deux points a, a' est un point « sur » un troisième objet, l'autre ne peut plus être placé sur un objet par cette procédure **Identifier**.

Identifier deux points

La procédure est semblable à celle qui vient d'être décrite.

Supposons que nous voulions identifier les deux points p et a , c'est-à-dire faire en sorte que les deux triangles aient un sommet commun. Un des deux points doit disparaître.

Après avoir fait en sorte que les deux points a et p soient superposés (Fig. 30), nous choisissons **Identifier** et amenons le curseur au-dessus de ces points. Le message qui apparaît est cette fois *Identifier ces deux points ?* Un clic règle la question (Fig. 31).

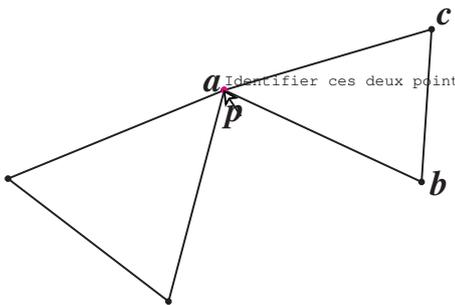


Fig. 30

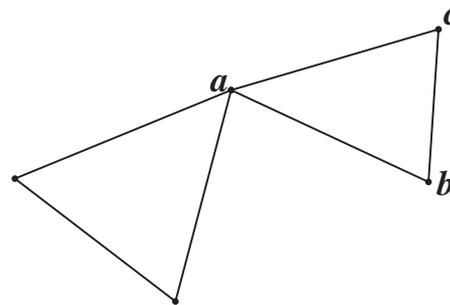


Fig. 31

Remarques

- Dans notre cas, les deux points à identifier portaient une étiquette. Une seule subsiste après l'identification.
- Identifier un sommet a d'une forme F_1 à un sommet b d'une forme F_2 débouche sur la même situation que si la forme construite en second lieu, par exemple F_2 , l'avait été en choisissant d'en placer d'emblée un sommet au point a de F_1 (au lieu de créer un nouveau point b). En particulier, après l'identification, les deux formes F_1 et F_2 appartiennent à la même figure.
- On ne peut identifier plus de deux points en une seule opération. Par conséquent, si plus de deux points sont superposés, l'opération **Identifier** ne s'applique pas. Il reste à l'utilisateur à modifier la figure afin d'isoler deux points qu'il désire identifier. Il peut ensuite éventuellement identifier le résultat à un troisième point.
- Lorsqu'on identifie deux points, si un des deux est un point libre, l'autre peut être un point « sur » ou un point construit à partir d'une autre forme : **centre de forme**, **point de division**, **sommet d'une forme dupliquée** ou **d'une pièce de découpe**, ou encore **sommet d'une forme image d'une autre par une transformation**. Le point résultant hérite alors des propriétés du point construit, et des contraintes y afférentes.

Identifier deux points non libres est parfois possible. Mais dans certains cas, les contraintes résultant de la fusion pourraient être incompatibles. La fusion n'est alors pas possible.

7.9 AutoIntersection

La fonctionnalité `AutoIntersection` a bien le statut d'une opération car elle débouche sur l'adjonction de nouveaux points à une figure donnée, mais elle n'apparaît pas dans le menu **Opérations**. Pour ne pas surcharger ce menu, nous avons préféré inscrire l'opération d'autointersection uniquement dans le menu contextuel associé aux polygones. Nous pourrions éventuellement prévoir aussi la possibilité d'appliquer cette opération à des formes hybrides, mais cela ne correspond pas actuellement à l'attente des utilisateurs.

L'opération d'autointersection n'est donc applicable actuellement qu'à des polygones. Encore n'a-t-elle de sens que pour les polygones « croisés », autrement dit dont les côtés se coupent. Nous ne considérons pas les sommets comme des points d'intersection de côtés. Voici deux exemples de polygones croisés :

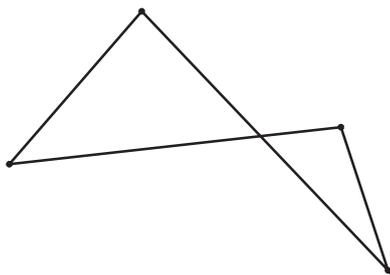


Fig. 32

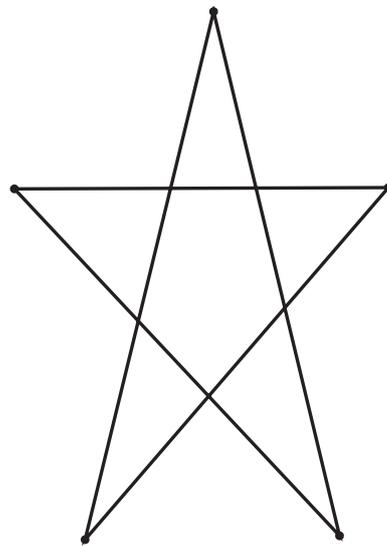


Fig. 33

Pour appliquer l'opération `AutoIntersection` à un polygone, on sélectionne celui-ci d'un clic droit et on choisit l'item `AutoIntersection` dans le menu déroulant qui apparaît. C'est tout, et voici le résultat :

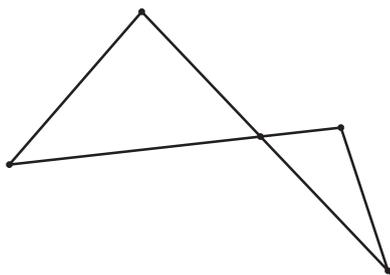


Fig. 34

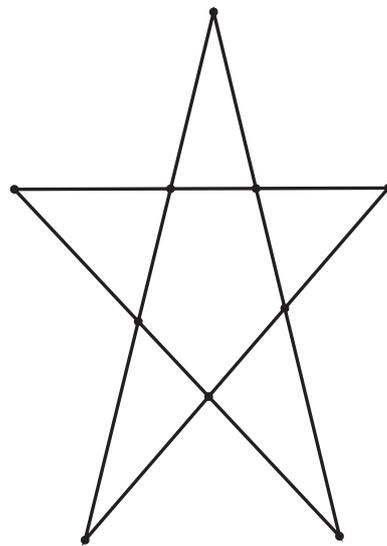


Fig. 35

Sur le fichier pdf, les nouveaux points d'intersection ne sont pas très visibles, mais sur l'écran

d'*Apprenti Géomètre*, il n'y a pas de problème. Il est à noter que `AutoIntersection` est la seule opération qui permet de marquer un point à l'intersection de deux côtés d'un polygone. L'opération de construction d'un point d'intersection mise en place dans le menu des formes libres exige que les deux segments dont on veut l'intersection appartiennent à des polygones différents.

`AutoIntersection` apporte donc un plus au logiciel : elle construit des points qu'on ne peut construire autrement, et en une fois, elle construit, au besoin, plusieurs points. Ces points nouveaux peuvent comme ci-dessous servir de sommets pour d'autres polygones. Et bien entendu, lorsqu'on « tire » à la souris sur les sommets du pentagone étoilé, les sommets du petit pentagone coloré sont mis à jour automatiquement.

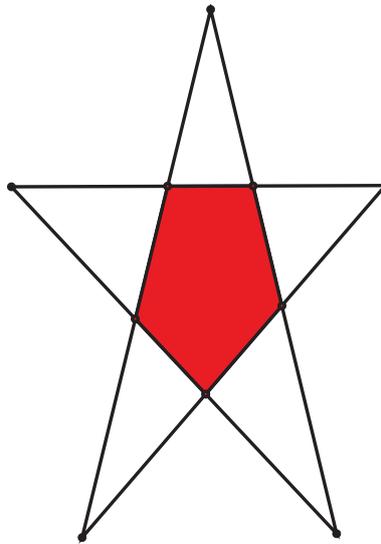
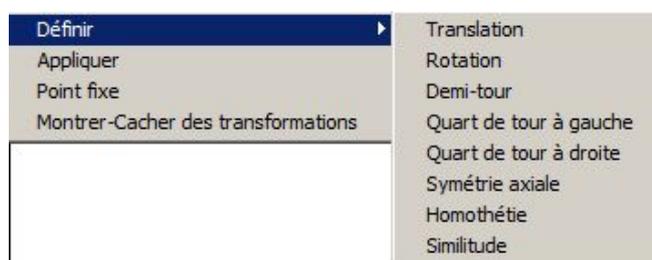


Fig. 36

Chapitre 8

Transformations

8.1 Introduction



Les transformations géométriques les plus simples (demi-tour, quart de tour à gauche ou à droite) sont d'usage courant dans les activités quotidiennes. D'autres transformations apparaissent dans les cours de géométrie, parfois dès l'enseignement primaire, toujours dans les premières années de l'enseignement secondaire.

Les transformations constituent un puissant support pour le raisonnement et permettent de construire de nouvelles formes géométriques à partir de formes construites antérieurement.

Apprenti Géomètre permet de concrétiser une transformation de manière visuelle, en lui attribuant un « support » facilitant sa reconnaissance, son utilisation et sa réutilisation.

Les transformations mises à la disposition des utilisateurs varient selon le menu choisi.

Au menu A, l'élève n'a accès à aucune transformation. Avec le menu B, il rencontre les translations, les demi-tours, quarts de tour et les rotations d'angle quelconque ainsi que les symétries axiales. Enfin, au menu C apparaissent les homothéties et les similitudes. Depuis la version 2.4.0, le menu C propose également des déplacements, des étirements et des cisaillements. Bien entendu, les menus AB et AC donnent accès aux mêmes transformations que, respectivement, les menus B et C.

Le menu **Transformations** comporte quatre sous-menus : **Définir**, **Appliquer**, **Point fixe** et **Montrer-Cacher des transformations**. Le sous-menu **Point Fixe** n'est accessible qu'aux menus C et AC.

8.2 Définir une transformation

Le principe est d'associer à chacune des Transformations géométriques une forme géométrique qui lui servira de support. Pour signaler qu'une forme supporte une transformation, elle est repeinte en vert et munie dans certains cas d'une (ou même parfois deux) pointe(s) de flèches.

8.2.1 Définir/Translation

Après que l'utilisateur ait choisi **Définir/Translation**, le pointeur de la souris demande de choisir un [segment](#) ou de choisir successivement ses deux extrémités.

Un clic sur un segment (qui peut être un côté de polygone) définit une translation qui sera

orientée dans le sens où le segment a lui-même été construit.



Il est aussi possible de sélectionner un segment (déjà construit) pour servir de support à une translation en cliquant successivement sur ses deux extrémités. L'orientation de la translation est alors déterminée par cette manœuvre et peut être différente de l'orientation du segment lui-même. Un segment peut ainsi être le support de deux translations réciproques.

Dès qu'une translation est définie, son support est repeint en vert et muni d'une pointe de flèche.



Fig. 1

Le segment de gauche est le support d'une translation. Le segment de droite est le support de deux translations réciproques l'une de l'autre.

8.2.2 Définir/Rotation

Pour définir une rotation, nous choisissons un **arc** qui aura été tracé préalablement. Le centre et l'angle de l'arc seront respectivement le centre et l'angle de la rotation. L'arc étant orienté comme on l'a indiqué au chapitre 3, il n'est pas besoin de spécifier quelle en est l'origine et quelle en est l'extrémité. Une fois que l'arc a été choisi pour définir la rotation, il prend une couleur verte et est muni d'une pointe de flèche. Un arc ne peut être le support que d'une seule rotation.

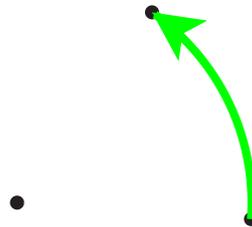


Fig. 2

8.2.3 Définir/Demi-tour

Pour définir un demi-tour, il suffit de choisir un **point**. Ce point doit avoir été fixé à l'écran au préalable et peut être le sommet d'une des formes dessinées. Le point choisi comme centre du demi-tour, est redessiné en vert.



Fig. 3

8.2.4 Définir/Quart de tour à gauche

Pour définir un quart de tour à gauche, la démarche est similaire à la précédente. Le centre du quart de tour est redessiné en vert.

8.2.5 Définir/Quart de tour à droite

Le processus est identique pour un quart de tour à droite.

8.2.6 Définir/Déplacement

A priori l'ajout au logiciel d'une fonctionnalité Définir/Déplacement n'apporte rien de nouveau puisque tout déplacement est une rotation ou une translation et que ces transformations ont toujours été disponibles. Cependant le déplacement est un concept général, son usage ne nécessite pas de connaître à l'avance si on définit une rotation ou une translation.



L'usage d'un déplacement facilite grandement le report d'une longueur sur une droite.

En fait, la définition d'un déplacement repose sur un résultat élémentaire de géométrie : *Étant donné deux demi-droites $[ax$ et $[by$, il existe un et un seul déplacement qui applique $[ax$ sur $[by$. Ce déplacement applique le point a sur le point b mais n'applique x sur y que si les distances $|ax|$ et $|by|$ sont égales.*

Pour définir un déplacement, deux méthodes peuvent être utilisées.

- Soit nous sélectionnons un quadrilatère (appartenant aux formes libres) déjà construit, par exemple, le quadrilatère $axyb$ ci-dessous. Ce quadrilatère sert de support pour le déplacement δ , lequel appliquera a sur b et la demi-droite $[ax$ sur la demi-droite $[by$. Il n'est pas indispensable de dessiner ces demi-droites elles-mêmes.

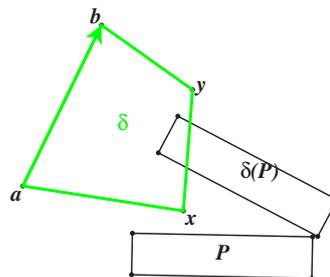


Fig. 4

La figure précédente illustre cette méthode. Le dessin du quadrilatère-support $axyb$ ne comporte pas de flèche de x vers y puisque $\delta(x)$ n'est pas nécessairement égal à y . En fait, le support du déplacement n'est pas complètement déterminé puisque les points x et y ne servent qu'à déterminer les deux demi-droites source et image de δ . Dans le cas de cette figure, le déplacement δ est une rotation. Son centre peut être obtenu en utilisant la fonctionnalité Transformations/Point fixe. Si en modifiant l'un des points x ou y on rend parallèles les droites ax et by , le déplacement δ est automatiquement converti en translation.

- Soit nous sélectionnons (dans l'ordre) quatre points jouant le rôle de a , x , b , et y , c'est-à-dire d'abord les deux points déterminant la demi-droite source, ensuite les deux points déterminant la demi-droite image. Le logiciel construit alors lui-même le quadrilatère $axyb$.

8.2.7 Définir/Symétrie axiale

Pour définir une symétrie axiale, nous avons besoin d'un axe. Pour cette raison, après le choix de cette transformation, le pointeur de la souris demande de choisir soit un segment (qui peut être un côté de polygone), soit une droite (qui peut être un bord de bande ou de secteur), soit une demi-droite. Ces formes doivent avoir été tracées au préalable à l'écran. Lorsque l'axe a été choisi, il est repeint en vert.

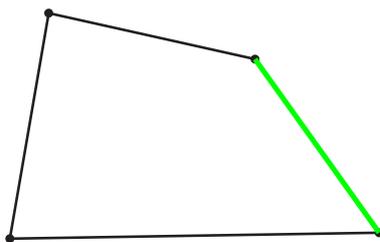


Fig. 5

Comme on le voit sur cette figure, si c'est un segment qui sert de support pour une symétrie axiale, seul ce segment est peint en vert et non l'axe complet. C'est largement suffisant.

8.2.8 Définir/Homothétie

Une homothétie est définie soit par son centre et par l'image d'un point distinct du centre, soit par deux points distincts (nous les appellerons *les points origines*) et leurs images, également distinctes. Dans ce dernier cas, la droite des images doit être parallèle à la droite des origines.

À ces deux modes de définition correspondent deux modes de construction d'une homothétie, et même trois car le logiciel prévoit deux façons de construire une homothétie à l'aide de deux points et de leurs images. Décrivons les diverses possibilités.

- La méthode la plus simple consiste à sélectionner un **trapèze** (appartenant aux formes libres) préalablement construit. Le trapèze sert de support pour l'homothétie. Lors de la construction du trapèze, les deux premiers clics ont fixé l'une des deux bases. Les extrémités de cette base sont les points origines de l'homothétie. L'image de chacun des points origines est l'extrémité de la seconde base dont il est voisin. Les sommets d'un trapèze $abcd$ étant, conformément aux usages, énumérés dans l'ordre selon lequel on les rencontre en parcourant le bord, l'homothétie applique a sur d et b sur c . Ceci reste vrai si le trapèze est croisé.

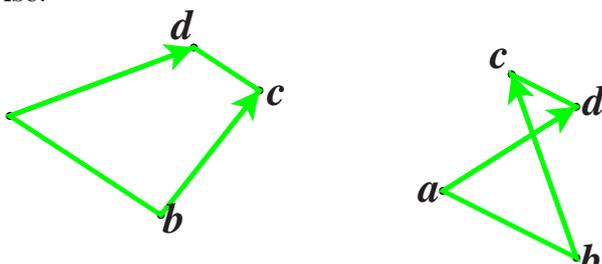


Fig. 6

Avec ces conventions, les homothéties de rapport positif correspondent aux trapèzes convexes et les homothéties de rapport négatif aux trapèzes croisés.

- Nous pouvons aussi définir une homothétie en choisissant successivement quatre points distincts, déjà construits, qu'ils soient sommets d'une forme géométrique ou qu'ils soient isolés. Le logiciel va alors construire lui-même un nouveau trapèze qui servira de support. L'ordre de choix détermine le rôle de chaque point : les points n° 1 et 2 seront les deux points origines, extrémités de la première base. Le point n° 3 sera l'image du point n° 1 et le point n° 4 sera l'image du point n° 2. Si le quadrilatère ayant ces quatre points pour sommets n'est pas un trapèze, le point n° 4 sera déplacé de façon à rectifier la situation.



Le principe de cette construction est que l'on indique d'abord les deux points origines, puis leurs images, d'abord celle du premier point origine, ensuite, celle du deuxième. Cette technique est logique pour définir une homothétie, mais ne correspond pas à la façon dont on construit un trapèze à la souris. C'est pourquoi dans ce cas, c'est l'ordinateur qui construit le trapèze et non l'utilisateur.

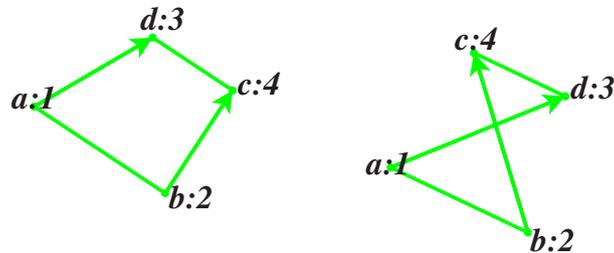


Fig. 7

- Il est aussi possible de définir une homothétie en n'utilisant que trois points : le centre (point /no1), un deuxième point origine (point n° 2) et l'image de celui-ci (point n° 3). Si les trois points sont alignés, c'est à dire s'ils appartiennent à un segment ou une demi-droite ou une droite, déjà définis, les trois points définissent immédiatement l'homothétie. Si les trois points ne sont pas alignés, l'utilisateur doit cliquer à quatre reprises successivement sur les points n° 1, n° 2, n° 1 et n° 3. Le point n° 3 est alors éventuellement déplacé dans l'alignement des points n° 1 et n° 2.

8.2.9 Définir/Similitude

Il s'agit ici uniquement de définir une similitude directe, ce qui ne nécessite que quatre points placés presque n'importe où (si a , b , c et d sont quatre points du plan, dès que $a \neq b$, il existe une et une seule similitude directe qui applique a sur c et b sur d). Pour définir une similitude directe, on peut donc choisir soit un quadrilatère quelconque soit quatre points déjà placés sur la feuille de travail. Tout comme pour l'homothétie, plusieurs méthodes de construction sont disponibles.

- La méthode la plus simple consiste à sélectionner un **quadrilatère** (appartenant aux formes libres) préalablement construit. Le quadrilatère sert de support pour la similitude. Les deux premiers sommets du quadrilatère à avoir été construits seront les deux points origines. L'image de chacun des points origines est l'extrémité de la seconde base à laquelle il est joint par un côté. Sur la figure qui suit, le quadrilatère a été construit en fixant successivement les points a , b , c et d . La similitude applique a sur d et b sur c .

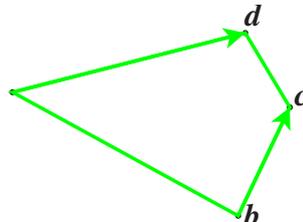


Fig. 8

- Nous pouvons aussi définir une similitude en choisissant successivement quatre points, déjà construits, qu'ils soient sommets d'une forme géométrique ou qu'ils soient isolés. Si nécessaire, le logiciel va alors construire lui-même un nouveau quadrilatère qui servira de support. L'ordre de choix détermine le rôle de chaque point : les points n° 1 et 2 seront les deux points origines. Le point n° 3 sera l'image du point n° 1 et le point n° 4 sera l'image

du point n° 2. Cette méthode permet aussi d'utiliser le même quadrilatère comme support de plusieurs similitudes.



Comme pour l'homothétie, le principe de cette construction est que l'on indique d'abord les deux points origines, puis leurs images, dans le même ordre alors qu'à la souris, les sommets d'un quadrilatère ne sont pas construits dans cet ordre-là.

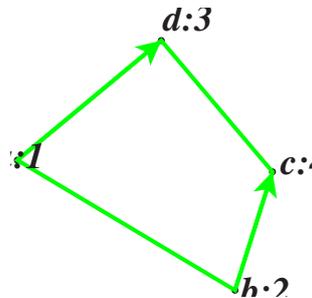


Fig. 9

Lors de cette construction, l'utilisateur peut, s'il le désire, faire coïncider les points n° 2 et n° 3. On construit ainsi une similitude à partir de trois points a , b et c : celle qui applique le point a sur le point b et celui-ci sur le point c . Dans ce cas, le support n'est pas un quadrilatère mais un triangle.

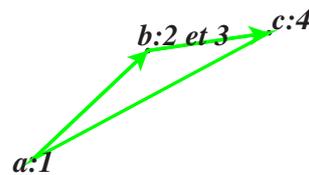


Fig. 10

- Enfin, on peut définir une similitude à partir de son centre et de l'image d'un point distinct de son centre. Trois points doivent être choisis. Comme dans le cas d'une homothétie définie de façon analogue, l'utilisateur devra cliquer non pas trois mais quatre fois : une première fois sur le centre, une deuxième fois sur le point origine distinct du centre, une troisième fois à nouveau sur le centre (puisqu'il est sa propre image) et une quatrième fois sur le point image du point n° 2. Le logiciel construit lui-même un support constitué des trois points définissant la similitude.

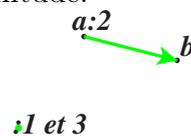


Fig. 11

8.2.10 Définir/Étirement

À la différence de toutes les transformations rencontrées jusqu'ici, les étirements NE SONT PAS des similitudes particulières mais des transformations affines particulières.

Les transformations affines, ou affinités, sont les transformations du plan qui appliquent toute droite sur une droite et qui conservent le parallélisme ainsi que les rapports de longueurs de segments parallèles. Elles ne conservent ni la perpendicularité, ni les angles. Étant donnés deux triples de points non alignés (a, b, c) (a', b', c') il existe une et une seule transformation affine qui applique a sur a' , b sur b' et c sur c' . (Si nous travaillions dans l'espace de dimension

3, nous devrions remplacer « triples de points non alignés » par « quadruples de points non coplanaires ».)

Les étirements sont les transformations affines qui admettent une droite ab de points fixes et pour lesquelles il existe au moins un point c , extérieur à ab dont l'image c' n'appartient pas à la parallèle à ab passant par c . La droite ab sera appelée l'axe de l'étirement.

Le support d'un étirement est un quadrilatère. Comme les déplacements ou les similitudes, on peut définir un étirement soit en sélectionnant un quadrilatère soit en sélectionnant quatre points, mais les fonctions de ces quatre points sont différentes. Les deux premiers sommets du quadrilatère, a et b sur la figure suivante, sont deux points fixes. Tous les points de la droite ab sont donc fixes. Le point c' est l'image du point c .

Si on définit l'étirement en sélectionnant quatre points, il convient de les choisir dans l'ordre a, b, c, c' .

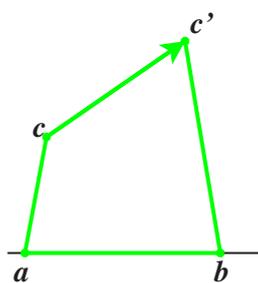


Fig. 12

Construisons l'image d'un point p du plan par l'étirement ϵ défini dans la figure précédente.

On remarque d'abord que la droite parallèle à cc' passant par p est invariante par l'étirement. En effet cette parallèle à cc' coupe la droite ab en un point q , fixe pour ϵ . Comme ϵ respecte le parallélisme, la droite pp' est la parallèle à cc' passant par q , et puisque $q' = q$, on a $p'q' = pq$. Autrement dit l'image p' de p appartient à pq .

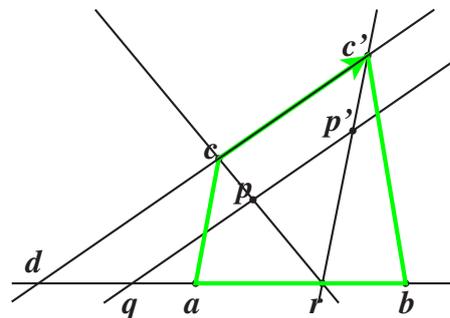


Fig. 13

Joignons ensuite p au point c dont nous connaissons l'image par ϵ . La droite cp coupe ab en un point r fixe pour ϵ . Le point p' appartient à la droite rc' . Ainsi le point p' est le point d'intersection de pq et de rc' .

En utilisant le théorème de Thalès, ou une homothétie, on vérifiera facilement l'égalité de rapports

$$\frac{|dc'|}{|dc|} = \frac{|qp'|}{|qp|}$$

laquelle figure dans la définition de toute transformation affine (la conservation des rapports de longueurs de segments parallèles).

Pour un étirement, la direction de cc' joue un rôle particulier puisque toutes les droites ayant cette direction sont invariantes. On parlera ainsi de la *direction* de l'étirement. Quand on restreint l'étirement à une quelconque de ces droites invariantes, on obtient sur cette droite une homothétie ayant pour centre son point d'intersection avec l'axe de l'étirement. Et le rapport de cette homothétie est le même pour toutes les droites ayant la direction de l'étirement. On parlera donc du *rapport de l'étirement*. Le rapport d'un étirement joue un rôle important dans

le calcul des aires : si P est une forme géométrique quelconque et si P' est son image par un étirement, l'aire de P' est égale au produit de l'aire de P par le rapport de l'étirement. Par exemple, une ellipse étant l'image d'un cercle par un étirement, on obtient pour l'ellipse une aire égale à πab si a et b sont les demi-longueurs des axes.

Il est à noter que le rapport d'un étirement peut être inférieur à 1. On continue à parler d'étirement, mais il s'agit alors plutôt d'une contraction. Le rapport peut même être négatif, tout point extérieur à l'axe et son image sont alors de part et d'autre de l'axe. En particulier, une *symétrie oblique* est un étirement de rapport -1 .



L'image d'un cercle par un étirement est une *ellipse*. Et effectivement, le logiciel dessine une ellipse dans une telle situation. Néanmoins le concept d'ellipse n'a — jusqu'à présent — jamais été incorporé à *Apprenti Géomètre*. L'ellipse dessinée n'est donc pas reconnue comme telle par le logiciel, mais uniquement comme image d'un cercle par une transformation. Cette circonstance peut empêcher que certaines fonctionnalités puissent être appliquées à une ellipse. Par exemple, il n'est pas possible de lui appliquer une seconde transformation (translation, rotation, etc). Certaines opérations peuvent être réalisées, à condition de repasser par le cercle \mathcal{C} dont l'ellipse \mathcal{E} est l'image. Ainsi pour placer un point mobile p' sur le bord de \mathcal{E} , on place un point p sur le cercle \mathcal{C} et on applique l'étirement au point p . Le déplacement de p sur \mathcal{C} permettra de faire circuler p' sur \mathcal{E} . De même, la tangente t' en p' à l'ellipse est l'image par l'étirement de la tangente t au cercle en p .

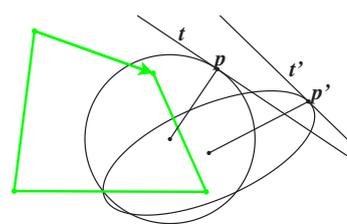


Fig. 14

8.2.11 Définir/Cisaillement

Comme les étirements, les cisaillements sont des transformations affines qui admettent une droite ab de points fixes. La différence entre cisaillement et étirement réside dans le fait que pour un cisaillement, l'image c' de tout point c extérieur à la droite ab se trouve sur la parallèle à ab passant par c . La droite ab sera appelée l'*axe du cisaillement*.

Le support d'un cisaillement est un trapèze (un parallélogramme est un trapèze). On peut définir un cisaillement soit en sélectionnant un trapèze $abc'c$, soit en sélectionnant quatre points. Sur la figure suivante, les deux premiers sommets du trapèze, a et b , sont deux points fixes. Tous les points de la droite ab sont donc fixes. Le point c' est l'image du point c .

Si on définit le cisaillement en sélectionnant quatre points, il convient de les choisir dans l'ordre a, b, c, c' .

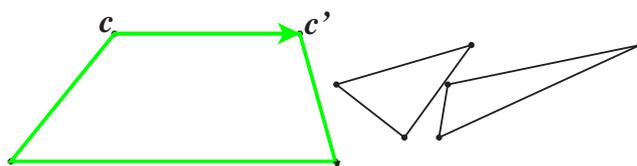


Fig. 15

Construisons l'image d'un point p du plan par le cisaillement γ défini dans la figure précédente.

Comme dans le cas des étirements, la droite pq , parallèle à cc' passant par p est invariante par le cisaillement. Ainsi, tous les points du plan se « déplacent » sur des parallèles à l'axe du cisaillement.

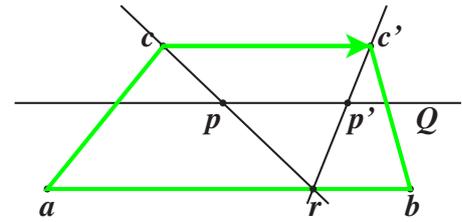


Fig. 16

À nouveau, le même raisonnement que dans le cas des étirements permet de déterminer l'image p' de p : la droite cp coupe ab en un point r fixe pour γ . Le point p' appartient à la droite rc' . Ainsi le point p' est le point d'intersection de pq et de rc' .

En utilisant le théorème de Thalès, ou une homothétie, on vérifiera facilement que le rapport $\frac{|pp'|}{|cc'|}$ est le même pour tous les points p d'une parallèle à ab . De plus, tous les vecteurs $\overrightarrow{pp'}$ en question sont orientés de la même façon (comme $\overrightarrow{cc'}$ si les points p et c sont du même côté de ab , en sens contraires sinon). Il en résulte que la restriction d'un cisaillement à une droite parallèle à son axe est une translation. Il est remarquable que les aires d'une forme géométrique f et de son image f' par un cisaillement sont égales.



Les remarques faites à la fin de la section précédente pour l'image d'un cercle par un étirement sont également valables pour l'image d'un cercle par un cisaillement.

8.3 Appliquer

Lorsqu'on clique sur le bouton **Appliquer**, le pointeur de la souris nous demande de choisir une transformation. Cela donne le choix entre toutes les transformations définies au préalable. Rappelons qu'elles sont visibles grâce au fait que leurs supports sont de couleur verte.

PRATIQUEMENT

Pour appliquer une transformation à une forme géométrique :

- Cliquer sur le menu *Transformations/Appliquer*.
- Choisir une transformation, en cliquant sur son support. Ce support est alors redessiné en magenta. Simultanément, les supports des autres transformations — s'il en existe — ne sont plus coloriés en vert. Seule la transformation choisie reste donc visible.
- Choisir la forme dont on désire que l'image soit créée (les transformations s'appliquent aux formes, pas aux figures).

Comme on l'a déjà remarqué, il peut se faire qu'une forme géométrique soit le support de plusieurs transformations. À la section 8.2.1, nous avons vu l'exemple d'un segment support de deux translations. Voici un autre exemple :

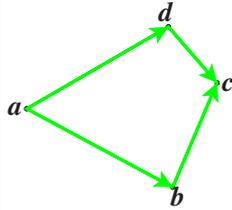


Fig. 17

Une première similitude ayant le quadrilatère $abcd$ comme support a été définie en sélectionnant le quadrilatère lui-même. Elle applique a sur d et b sur c . Une seconde similitude a été définie en cliquant sur les quatre points séparément, dans l'ordre a, d, b, c . Elle applique donc a sur b et d sur c .



Pour sélectionner celle de ces deux transformations que l'on désire appliquer, on utilise la méthode de la [barre d'espace](#) décrite à la page 36. Après avoir choisi *Transformations/Appliquer*, on positionne donc la souris au-dessus du quadrilatère $abcd$. Des pressions successives sur la barre d'espace permettent alors de passer de la figure 18 à la figure 19, et retour. Un clic du bouton gauche, SANS DÉPLACER LA SOURIS, sélectionne la transformation souhaitée.

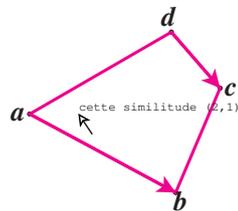


Fig. 18

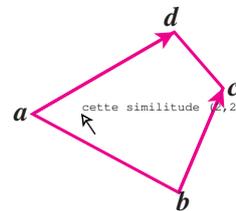


Fig. 19

Remarques

- Après la construction de l'image d'une forme par une transformation, l'ordinateur se souvient de la transformation qui a été utilisée.
Pour demander l'image d'une autre forme par la même transformation, on clique donc directement sur cette autre forme.
Par contre, pour appliquer une autre transformation à une forme, on repasse par le menu *Transformations/Appliquer*.
- L'opération *Appliquer* accepte la [sélection multiple](#).
- Ainsi qu'il a déjà été signalé, il peut être intéressant d'utiliser l'option [resélection automatique](#). Mais après l'application d'une transformation, si cette option a été activée, ce sont les formes images qui sont sélectionnées et non les formes sources.
- Lorsqu'on applique une transformation à une forme faisant partie d'un groupe de formes liées (par l'opération [Lier](#)), les images de toutes les formes du groupe sont construites. De plus, elles constituent un nouveau groupe de formes liées.
- Toute modification d'une forme source se répercute automatiquement sur les formes images. Celles-ci ont donc le statut de formes construites, ce qui implique qu'il est impossible de les modifier directement : on ne peut « tirer » sur un sommet d'une forme construite. On ne peut pas non plus dupliquer une forme image.
- Si c'est le support d'une transformation qui est modifié, il en va de même : les formes qui ont été obtenues par application de cette transformation sont automatiquement adaptées. Il est bon que l'utilisateur soit conscient de ce que certaines modifications de certaines formes sont sans influence sur les transformations supportées par ces formes. C'est notamment le cas des arcs de cercle, lorsqu'on modifie la position de l'origine de l'arc.

Considérons la figure suivante, présentant un arc de cercle dont les trois points de définition sont libres, et qui supporte une rotation ρ .

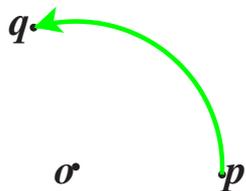


Fig. 20

- Si on modifie le centre o de l'arc, le point p ne change pas, le point q change mais l'angle de l'arc ne change pas. Quant à la rotation ρ , elle change puisque son centre change.
- Si on modifie le point p , le point o ne change pas, le point q change mais l'angle de l'arc ne change pas. Donc la rotation ρ ne change pas.
- Si on modifie le point q , les points o et p ne changent pas, mais l'angle change et la rotation ρ aussi.

Cette particularité peut être exploitée pour montrer que si une figure \mathcal{F}' est l'image d'une figure \mathcal{F} par une rotation ρ , de centre o , tous les arcs de centre o joignant un point de \mathcal{F} au point homologue de \mathcal{F}' ont même angle : on déplace l'origine p de l'arc qui définit la rotation successivement en tous les points de \mathcal{F} . (Tous ces arcs ont été tracés sur la figure suivante.)

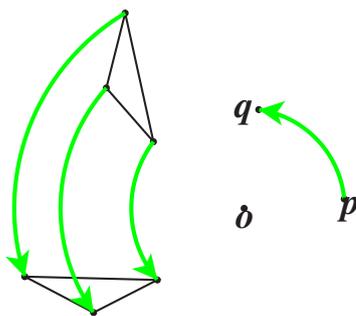


Fig. 21

Des remarques similaires peuvent être faites pour d'autres transformations, notamment pour les homothéties et similitudes définies par trois points : leur centre, un point et son image.

8.4 Transformations et mouvements

Lorsqu'une figure, ou une partie de figure, est l'image d'un ou plusieurs objets par une transformation, l'utilisateur peut rencontrer des difficultés s'il désire appliquer un mouvement (Glisser, Tourner, Retourner, ainsi que Zoomer) à cette figure.



Le principe général, déjà rencontré [au point n° 5 ci-dessus](#), est qu'on ne peut ni modifier, ni appliquer un mouvement à un point ou une forme image d'un(e) autre par une transformation.

Ainsi, construisez la figure ci-dessous : le quadrilatère $a'b'c'd'$ est l'image de $abcd$ par la translation t .

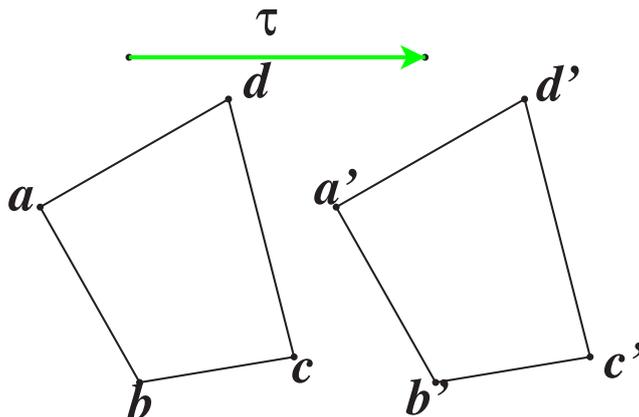


Fig. 22

Essayez de faire glisser ou tourner le quadrilatère $a'b'c'd'$. Puis, faites glisser ou tourner $abcd$ et enfin le support de la translation τ . Que concluez-vous ?

- Quand on fait tourner la forme source $abcd$, son image tourne également et du même angle. Même chose si on fait glisser $abcd$. De façon générale, les mouvements appliqués à la forme source se transmettent à la forme image.
- Si c'est au support de la transformation (ici τ) qu'on applique un mouvement, les choses sont plus compliquées et il convient de distinguer l'effet de la transformation τ avant le mouvement et après le mouvement de son support.

Dans la figure ci-contre, vous retrouvez les quadrilatères $abcd$, $a'b'c'd'$ et la translation τ , ayant pour support le segment $[p, q]$. De plus on y a fait tourner ce segment $[p, q]$ jusqu'à ce qu'il occupe la position $[r, s]$. Pour simplifier, nous désignons par σ la transformation τ après le mouvement de son support. Et nous notons ρ la transformation géométrique (une rotation) correspondant au mouvement appliqué au support. La translation τ est alors remplacée par la translation σ et $a''b''c''d''$ est la nouvelle image de $abcd$.

Il s'agit d'exprimer σ à partir de τ et ρ . σ applique r sur s . Mais $r = \rho(p)$, donc $p = \rho^{-1}(r)$ et $q = \tau(p) = \tau(\rho^{-1}(r))$. Enfin

$$s = \rho(q) = \rho(\tau(\rho^{-1}(r)))$$

Comme $\rho \circ \tau \circ \rho^{-1}$ est une translation et applique r sur s , on a nécessairement

$$\sigma = \rho \circ \tau \circ \rho^{-1}$$

σ est la *transformation conjuguée* de τ par ρ . Cette formule est tout à fait générale :

Si un des mouvements **Glisser**, **Tourner**, ou **Retourner** est appliqué au support S d'une transformation τ , et si le mouvement en question a le même effet géométrique qu'une transformation ρ , alors dans la nouvelle position du support, la transformation τ a le même effet qu'aurait eu la transformation $\rho \circ \tau \circ \rho^{-1}$ avant l'application du mouvement au support.

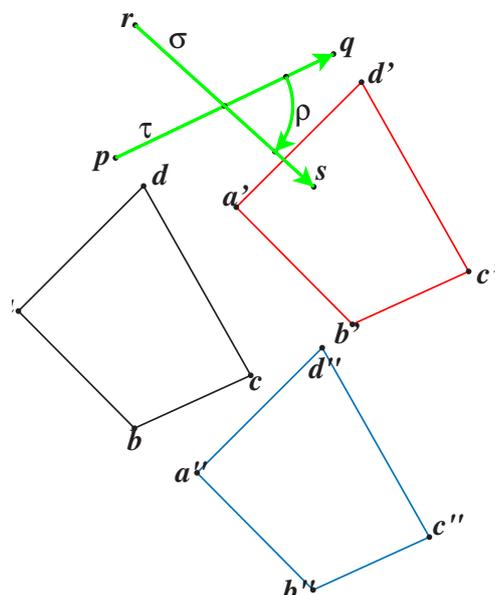


Fig. 23

Ci-dessous, on a fait tourner le support d'une similitude :

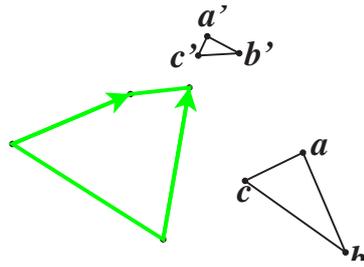


Fig. 24

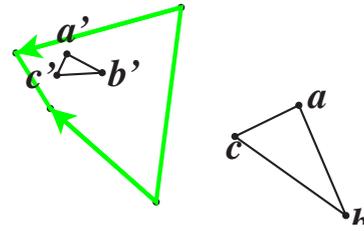


Fig. 25 tsf1

Comme on le voit, l'image ne subit aucune déformation ; c'est en effet un mouvement que nous avons appliqué au support de la similitude, il entraîne un mouvement de l'image. Du point de vue géométrique, la similitude est remplacée par sa conjuguée par le mouvement appliqué au support ⁽¹⁾.

On note aussi que si ρ commute avec τ , la conjuguée σ de τ par ρ est identique à τ . Il en résulte que faire glisser le support d'une translation ne provoque aucune modification aux images de celle-ci. Il en est de même si on fait tourner le support d'une rotation autour de son centre.

- Il peut aussi apparaître des impossibilités.

Construisez la figure suivante. Le quadrilatère $a'b'c'd'$ est l'image par la translation τ de $abcd$.

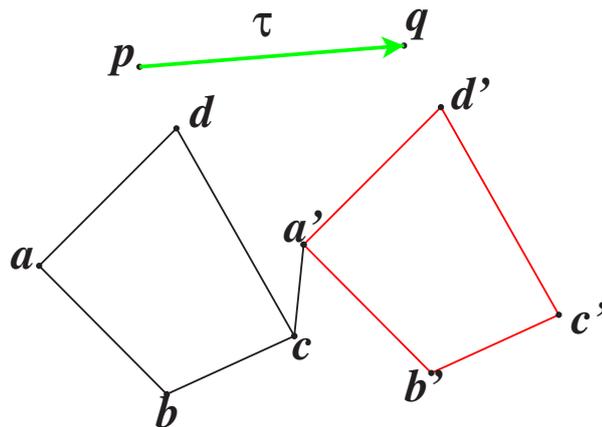


Fig. 26

Essayez de faire tourner le quadrilatère $abcd$. Vous constatez que vous ne pouvez même pas sélectionner le quadrilatère « source » $abcd$ en vue de le faire tourner. Bien sûr, vous ne pouvez pas non plus sélectionner le quadrilatère « image » $a'b'c'd'$, mais même le support $[p, q]$ de la translation τ ne peut être tourné.

La seule différence entre les figures 22 et 26 est la présence dans le second du segment $[c, a']$. Ce segment crée un lien entre deux quadrilatères qui dans `tsf2.fag` appartiennent à la même figure alors que dans `tsf1.fag`, ils constituent deux figures différentes.

Or les mouvements s'appliquent en bloc à une figure : impossible d'appliquer un mouvement à un des deux quadrilatères sans l'appliquer en même temps à l'autre. Mais ici, les deux quadrilatères ne peuvent pas non plus tourner en bloc, car la translation τ cesserait d'appliquer $abcd$ sur $a'b'c'd'$. Pour la même raison il n'est pas non plus possible de faire tourner le support de τ : on peut concevoir que l'image $a'b'c'd'$ soit repositionnée en fonction du mouvement du support de τ , mais la forme « source » n'a aucune raison de changer de place, ce qu'elle devrait faire puisqu'elle fait bloc avec $a'b'c'd'$.

1. L'effet est le même si on utilise `Zoomer` au lieu d'un mouvement.

Remarquez que dans la figure 26, vous pouvez quand même faire glisser soit le bloc des deux quadrilatères, soit le support de la translation. En effet, comme nous l'avons remarqué plus haut, le glissement du support de la translation n'a pas d'impact sur les positions relatives d'une forme et de son image par cette translation. En fait, la translation ne change pas si on fait glisser son support. De même une rotation ne change pas si son support tourne autour de son centre.

-

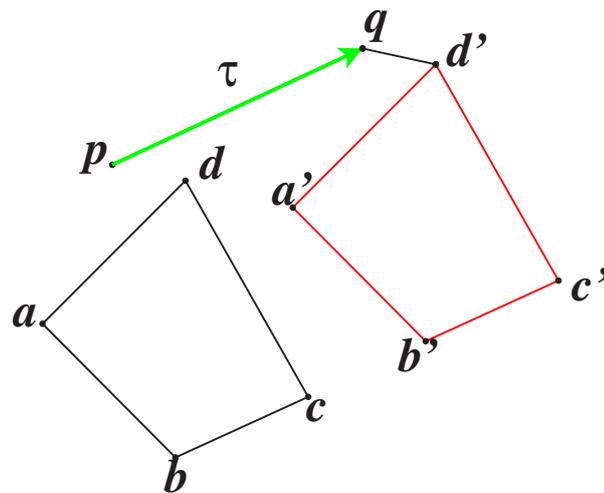


Fig. 27

À présent, observez la figure 27 et reproduisez-la. Essayez ensuite de faire glisser, ou tourner, ou retourner, les trois objets présents à l'écran : les quadrilatères $abcd$ et $a'b'c'd'$, et le segment $[p, q]$.

Vous constatez que plus rien ne bouge. La raison est la même qu'au point précédent : le quadrilatère $a'b'c'd'$ étant attaché au segment $[p, q]$ par le segment $[q, d']$, ce quadrilatère et le support de la translation devraient se mouvoir en bloc, ce qui détruirait la propriété pour $a'b'c'd'$ d'être l'image par τ de $abcd$.

Supprimez alors le segment $[q, d']$ et remplacez-le par le segment $[p, d]$. Vous créez ainsi une figure de deux objets, $abcd$ et $[p, q]$, qui devront se mouvoir en bloc. Quelques essais vous montreront que ce bloc accepte de se mouvoir et que le quadrilatère « image » $a'b'c'd'$ est repositionné de façon correcte.

Enfin, redessinez le segment $[q, d']$, sans effacer $[p, d]$. Vous constituez ainsi une figure contenant à la fois la source, l'image et le support de la transformation. Le tout accepte de se mouvoir en bloc car dans un tel mouvement les positions relatives des trois objets ne sont pas modifiées.

- En conclusion :



Étant donné une forme géométrique A , une transformation τ et la forme A' , image de A par τ , alors, sauf deux situations exceptionnelles,

- si A et A' sont assemblés dans une même figure, sans que le support de τ soit dans cette figure,
- ou si A' et le support de τ sont dans une même figure sans que A s'y trouve,

les figures contenant A , A' et le support de τ ne peuvent faire l'objet d'aucun mouvement.

Les situations exceptionnelles sont

- celle où A et A' sont dans une même figure, τ est une translation et le mouvement appliqué est un glissement,
- celle où A et A' sont dans une même figure, τ est une rotation et le mouvement consiste à tourner autour du centre de τ .

Par contre le fait que la source A et le support de τ fassent partie d'une même figure est sans influence sur la possibilité d'appliquer un mouvement à la figure contenant ces deux objets, et cela même si l'image A' appartient également à cette figure.

Remarque : Un problème analogue se pose si la forme A' est une droite ou un segment construit comme étant parallèle ou perpendiculaire à un autre objet A . Ce n'est que si le mouvement est un glissement que l'on peut mouvoir A' sans mouvoir A en même temps. Dans ce cas, les relations de parallélisme et de perpendicularité ne sont pas perturbées.

8.5 Point fixe

L'usage de cette opération est aisé à décrire : il s'agit de construire le point fixe d'une transformation... dans le cas où il en existe un et un seul.

Or

- Les translations n'ont aucun point fixe.
- Les rotations (non identiques), y compris les demi-tours et quarts de tour sont construites en connaissant leur centre (qui est leur seul point fixe).
- Les symétries axiales ont une infinité de points fixes, et ils sont connus dès leur construction.
- Il en est de même pour les étirements et les cisaillements.

Il ne reste donc que les déplacements, les homothéties et les similitudes, et pas dans tous les cas puisqu'on peut définir une homothétie et une similitude en incorporant le centre à la définition.

La procédure est simple :

PRATIQUEMENT

- Choisir le menu *Transformations/Point fixe*
- Cliquer sur la transformation dont on veut construire le point fixe.

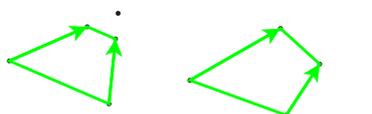


Fig. 28

Pour vous convaincre que le point construit est bien le point fixe de la transformation, vous pouvez lui appliquer cette transformation : aucun point nouveau ne doit apparaître (en réalité deux points sont superposés). Vous pouvez aussi marquer arbitrairement un point p et lui appliquer la transformation. Un nouveau point p' apparaît. Déplacez alors p en essayant de le superposer à p' : vous entrez dans une course-poursuite qui s'achève quand les points p et p' sont — ensemble — superposés au point construit par le logiciel en tant que point fixe.

Une dernière remarque : toute modification apportée au support de la transformation entraîne automatiquement le repositionnement du point fixe, lequel a le statut de « point construit ».

8.6 Montrer-Cacher des transformations

Cette opération ressemble comme deux gouttes d'eau à l'opération [Montrer-Cacher des formes](#) décrite au chapitre [10](#).

Il s'agit de sélectionner la ou les transformations à cacher ou montrer, en appliquant éventuellement la technique de la [barre d'espacement](#). Une fois la sélection faite, un clic amène la transformation à être repeinte en bleu pâle. En quittant l'opération, la transformation disparaît mais reste active. Son support reste visible.

9.1 Qu'est-ce qu'une macro ?

Beaucoup de logiciels offrent à l'utilisateur la possibilité de définir des macros. On entend par là le fait qu'une suite d'opérations soit enregistrée et reste à la disposition de l'utilisateur qui peut la réutiliser aussi souvent qu'il le désire.

L'utilité des macros est donc de faciliter la tâche de l'utilisateur en le dispensant de réencoder plusieurs fois la même séquence d'instructions. Éventuellement l'utilisateur recevra d'une autre personne un fichier contenant des macros qu'il pourra exécuter comme des « boîtes noires ». Dans un cadre scolaire, ceci n'est pas à conseiller car la réalisation personnelle d'une macro par un élève contribue à la compréhension du domaine étudié. Écrire une macro est donc une activité d'apprentissage à ne pas négliger.

Apprenti Géomètre étant un logiciel de géométrie, il est normal que les macros qu'il permet de réaliser soient destinées à la construction de formes simples, susceptibles d'être réutilisées dans des constructions plus compliquées. On pense par exemple à des concepts tels que *médiatrice d'un segment*, *bissectrice d'un angle*, *cercle inscrit ou circonscrit à un triangle*, etc. On évitera de créer une macro qui réalise elle-même une construction compliquée, le genre de construction qu'on ne réalise qu'une fois.

Une séquence d'instructions réalisant une construction simple doit partir d'un ou plusieurs objets *initiaux*. Par exemple, pour appliquer une macro *Médiatrice d'un segment*, il faut d'abord disposer du segment dont on veut construire la médiatrice. Ce segment est un objet *initial*. Quant à l'objet construit — ici, la médiatrice — c'est un objet *final*. Une macro peut utiliser plusieurs objets initiaux et produire plusieurs objets finaux.

9.2 Créer une macro

À l'ouverture d'une session, le menu **Macros** ne comprend que deux items :



Fig. 1

On ne peut utiliser l'item **Charger une macro** que si des macros ont déjà été créées et stockées sur l'ordinateur. Nous en parlerons plus loin. Cliquez sur l'item *Créer une macro*. Votre écran change radicalement.

9.2.1 Les opérations disponibles



S'il était chargé, le pavé des formes standard est disparu. Par contre, le pavé des formes libres est présent et complet. Les boutons de mouvements sont disparus, sauf le bouton **Zoomer**. Dans la barre des menus, **Édition** et **Outils** sont disparus. Mais d'autres suppressions n'apparaissent que lorsqu'on déroule les menus subsistants. Pourquoi ces suppressions ?

La réponse est simple : une macro n'a pour but que de réaliser des constructions simples, qui seront reproduites automatiquement. Impossible de réaliser automatiquement un mouvement réalisé à la souris comme **Glisser** ! D'où la suppression des mouvements. Et si **Zoomer** subsiste, vous constaterez sans peine qu'il n'est plus possible de zoomer une forme particulière. Seul l'écran complet peut être redimensionné : cette opération ne modifie nullement les rapports des formes entre elles.

Les opérations « cosmétiques » du menu **Outils** ne sont pas accessibles : pourquoi voudriez-vous colorer une forme construite par une macro que vous utiliserez dans des circonstances variées, pouvant appeler des couleurs différentes ? Même chose pour les étiquettes que vous auriez envie d'attribuer aux points construits.

Fig. 2

Dans le menu **Opérations** on a supprimé **Découper** et **Fusionner**, deux opérations qui nécessitent une intervention à la souris. **Dupliquer** est toujours présent mais ne pourra être utilisé que pour dupliquer un point mobile sur une forme et non une forme quelconque.

En résumé : vous pouvez insérer dans une macro toutes les opérations de construction d'une forme libre, mais seulement les opérations **Diviser**, **Dupliquer un point "sur"**, **Prolonger**, **Construire le centre** ainsi que toutes les opérations impliquant une transformation géométrique. Vous pouvez aussi utiliser dans une macro une ou plusieurs macros construites antérieurement.

9.2.2 La pratique

Le plus important est le fait qu'après avoir cliqué sur **Macros/Créer une macro**, vous vous trouvez devant une feuille de travail vierge : avec *Apprenti Géomètre*, il n'est pas possible de mélanger à l'écran des formes géométriques relevant d'une situation qu'on étudie et d'autres destinées à créer une macro. Quand il décide de créer une macro, l'utilisateur doit se concentrer sur ce travail. Il est souhaitable qu'il l'ait bien préparé car il ne disposera plus du bouton **Annuler**. Plus exactement, la seule façon d'annuler une erreur de manipulation, c'est d'actionner **Macros/Abandonner la macro** et de recommencer à zéro.

Mais pratiquement, comment crée-t-on la macro ? Cette création passe par plusieurs phases.

PRATIQUEMENT

1. En utilisant les opérations disponibles, réalisez la construction à la façon habituelle. Par exemple : pour créer une macro **Médiatrice d'un segment** :
 - Tracer un segment.
 - Diviser le segment en 2.
 - Tracer la perpendiculaire au segment passant par le point milieu.
2. Déroulez à nouveau le menu **Macros**. L'item **Créer une macro** a été remplacé par **Choisir les objets finaux**. Sélectionner ces objets à la souris. Vous pouvez en choisir plusieurs. Au fur et à mesure de vos sélections, l'ordinateur détermine lui-même quels sont les objets initiaux et il colorie l'écran : les objets finaux sont colorés en **bleu** et les objets initiaux sont colorés en **rouge**.
3. Dès que vous avez choisi tous les objets terminaux, revenez à nouveau au menu **Macros** et choisissez **Sauvegarder la macro**.
Une fenêtre intitulée « Description de la macro » s'ouvre. Elle affiche la liste des objets initiaux et celle des objets finaux.
Vous pouvez ajouter à cette fenêtre d'autres commentaires ou informations. Ensuite, fermez-la. Une boîte de dialogue vous demande le nom du fichier qui contiendra la macro (l'extension **.xmag** est ajoutée automatiquement), et le dossier de votre disque dur où il sera sauvegardé. Par défaut, les fichiers de macros sont sauvegardés dans votre dossier **Mes Documents/Apprenti Geometre/Macros**.
4. Votre macro est terminée. L'écran spécial pour les macros se ferme et vous revenez à l'environnement usuel.

9.3 Exécuter une macro

Dès qu'une macro a été créée et sauvegardée, elle est disponible via le menu **Macros**. Déroulez celui-ci.

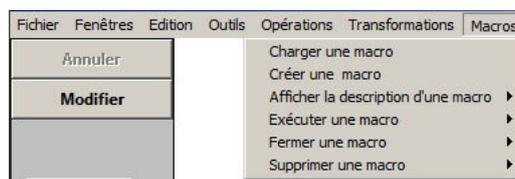


Fig. 3

Vous constatez la présence de quatre nouveaux items, chacun suivi d'une petite flèche, ce qui indique la présence de sous-menus. En déroulant un quelconque d'entre eux, vous verrez la liste des macros ayant été chargées dans le logiciel. Une macro nouvellement créée est chargée automatiquement. Via l'item **Charger une macro** vous pouvez en charger d'autres à partir de votre disque dur.

Voyons les fonctionnalités associées aux sous-menus.

1. **Afficher la description d'une macro** affiche la fenêtre de description créée en même temps que la macro. L'utilisateur peut ainsi se remémorer la liste des objets initiaux (ils

doivent avoir été construits AVANT l'exécution de la macro), celle des objets finaux et tout renseignement qui aurait été inséré dans la description.

2. **Exécuter une macro...** exécute la macro sélectionnée. L'ordinateur va demander quels sont les objets initiaux, dans l'ordre du fichier « Description », lequel aura été réouvert. Dès la sélection du dernier objet initial, la macro est exécutée.
3. **Fermer une macro** permet de décharger une macro du logiciel.
4. **Supprimer une macro** permet de supprimer une macro sur le disque dur. Attention, cette opération n'est pas réversible !

9.4 La sauvegarde des macros

La sauvegarde des macros s'opère de deux manières différentes. D'une part, elle est effectuée automatiquement lors de la création d'une nouvelle macro. D'autre part, toute macro utilisée lors de la réalisation d'un fichier de formes géométriques est incorporée à celui-ci lors de la sauvegarde. Il n'est donc plus nécessaire de charger les macros en question lorsqu'on recharge le fichier de formes.

9.5 Quelques remarques terminales

- Lorsqu'une macro est exécutée, l'ordinateur demande à l'utilisateur, pour chaque objet initial, de sélectionner un objet ayant les caractéristiques indiquées dans la description de la macro.

Par exemple, la macro *Médiatrice* demande qu'un segment soit sélectionné. Cette demande doit être interprétée de manière souple : le logiciel acceptera un côté de polygone, mais pas une droite, ni une demi-droite.

De même si l'ordinateur demande un quadrilatère, il acceptera un rectangle, ou un carré, etc. Mais si l'ordinateur demande un rectangle, il n'acceptera pas un parallélogramme.

Il importe donc, lors de la réalisation d'une macro, que l'utilisateur détermine, pour chaque objet initial, quelle est la forme la plus générale qui peut être choisie pour cet objet. Et qu'il effectue la construction de la macro en utilisant une forme de ce type.

- Les objets initiaux d'une macro déterminent entièrement les objets finaux. Il en résulte que seule la modification des objets initiaux peut entraîner des modifications pour les objets terminaux.

À titre d'exemple, imaginons une macro qui construit un carré à partir de deux sommets voisins de ce carré. Ces deux sommets seront les objets initiaux. Il ne sera donc pas possible, contrairement au cas d'une construction « normale », de modifier le carré en tirant sur un autre sommet. Le carré construit par une macro est bien un carré, mais ce n'est pas une forme libre au même titre que celles construites par les méthodes usuelles, à partir du pavé des formes libres.

Les objets construits à l'aide de macros sont donc moins souples que les autres, ils sont modifiés moins facilement. On ne peut pas non plus leur appliquer un mouvement directement : cela serait contradictoire avec leur construction. Par contre les mouvements appliqués aux objets initiaux ont des répercussions sur les objets finaux.

Autre exemple : si un point situé « sur » un objet est dupliqué sur un autre, tant le point source que le point image peuvent normalement être utilisés pour déplacer simultanément les deux points, chacun sur son support. Ce n'est plus le cas si le point source et le point

image sont respectivement un objet initial et un objet final d'une construction par macro : seul le point source peut être modifié directement, et il entraîne le point image.

10.1 Introduction



Aucune des opérations proposées dans le menu *Outils* ne construit de nouvelles formes géométriques ou ne modifie de formes existantes (au sens donné au verbe *Modifier* dans ce guide).

Sept d'entre elles sont susceptibles d'être utilisées dès le menu A : *Colorier*, *Opacité*, *Montrer-Cacher-des-formes*, *Avant-plan*, *Arrière-Plan*, *Grille* et *Lire un historique*.

Les trois autres opérations, *Nommer*, *Modifier l'épaisseur* et *Punaiser/Dépunaiser* sont surtout utiles lorsqu'on manipule des formes libres. Elles apparaissent donc au menu B et sont également présentes aux menus C, AC et BC. D'autres outils sont accessibles via un *menu contextuel* que nous présenterons au chapitre 11.

10.2 Outils/Nommer

L'opération *Nommer* permet d'attribuer des étiquettes à toute forme géométrique. Elle permet aussi de placer des lignes de texte à l'écran, par exemple des titres. Elle permet enfin de faire apparaître des longueurs de segments, des aires de polygones, des mesures d'angles.

10.2.1 Attribuer une étiquette à une forme

PRATIQUEMENT

Pour attribuer une étiquette à une forme :

- Choisir le menu *Outils/Nommer*.
- Sélectionner une forme géométrique : point, segment, côté de polygone ou polygone, arc de cercle, etc.
- Dès qu'une forme a été sélectionnée par la pression du bouton gauche de la souris, le logiciel propose un nom (la première fois, il propose la lettre « A »).
- Tant que l'utilisateur tient le bouton gauche enfoncé, il peut déplacer l'étiquette proposée à un endroit de son choix (à condition qu'il n'utilise pas le menu contextuel).
- Lorsque le bouton gauche est relâché, une fenêtre s'ouvre :

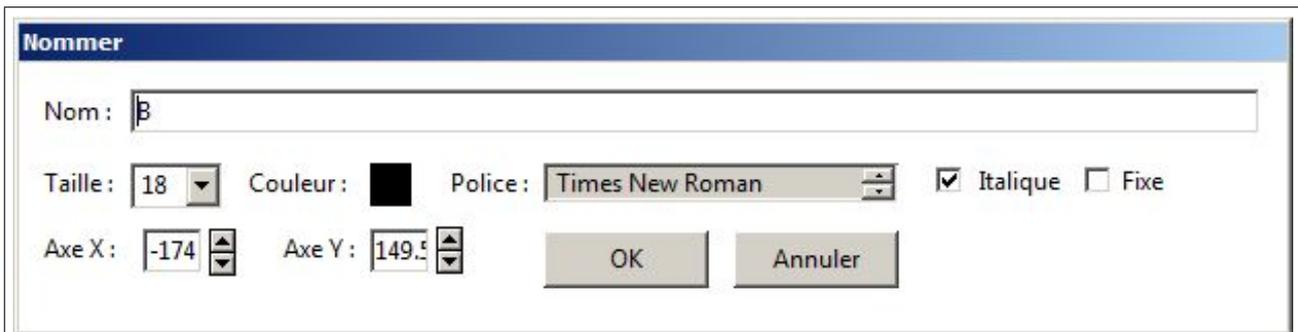


Fig. 1

Les champs suivants peuvent être modifiés.

- Le nom peut être remplacé par n'importe quel assemblage de caractères ASCII, minuscules ou majuscules, y compris des blancs et des lettres accentuées, des primes, etc. Mais il ne peut comporter aucun caractère de contrôle et doit tenir sur une ligne.
- La taille de la police de caractères peut varier de 10 à 30.
- La couleur.
- La police de caractères peut être choisie parmi quatre : Arial, Courier New, Times Roman et Symbol. Cette dernière police permet d'introduire des symboles mathématiques. Mais on ne peut utiliser qu'une seule police dans chaque étiquette.
- La forme des caractères, italique ou non.
- L'emplacement de l'étiquette peut être affiné à l'aide des « petites flèches » qui permettent un réglage fin, tant horizontal que vertical.
- Lorsque la case « Fixe » est cochée, l'étiquette ne changera pas de place en cas de modification ou déplacement de la forme qui lui correspond.



Lorsque l'utilisateur choisit une simple étoile * comme étiquette, le logiciel affiche la mesure de l'objet choisi, soit sa longueur, soit son aire, selon le type de l'objet sélectionné. (Voir ci-dessous.)

L'étiquette d'une forme peut être modifiée ou déplacée en réappliquant la même procédure. À cette occasion, la fenêtre comportera un bouton supplémentaire, **Supprimer** qui permet d'enlever une étiquette.

Le logiciel se souvient de l'initiale de l'étiquette qu'il a placée en dernier lieu. Quand on lui demandera encore d'en placer une, il proposera la lettre suivante dans l'ordre alphabétique (après « Z », il ne revient pas à « A »). Une contrainte, pour ceux qui exportent des figures en Postscript : ne jamais utiliser la même lettre pour marquer deux points différents (ou deux formes différentes). Ne pas utiliser non plus comme étiquette des nombres « à virgule ».

10.2.2 Placer un titre

Placer un titre se fait exactement de la même manière que placer une étiquette. Simplement, l'utilisateur doit — après avoir choisi *Outils/Nommer* cliquer en un point de l'écran qui ne se trouve ni à l'intérieur, ni sur une quelconque forme géométrique. Toutes les autres indications mentionnées plus haut restent valables.

10.2.3 Afficher une mesure

Il est possible de demander à l'ordinateur d'afficher une **mesure** en plaçant une étoile, « * » comme étiquette. Cette mesure est selon le cas la longueur d'un segment ou d'un arc de cercle (dans le cas d'un secteur de disque), l'aire d'un polygone ou d'une forme hybride, l'amplitude d'un angle ou l'abscisse d'un point. Passons ces cas en revue.

- Longueur d'un segment, y compris d'un côté de polygone. Pour un secteur de disque, la mesure indiquée pour le côté curviligne (l'arc de cercle) est également sa longueur et non son amplitude angulaire. Par défaut, l'unité de longueur est la longueur du côté du carré standard.
- Aire d'un polygone standard : Par défaut, l'unité d'aire est celle du carré du **Jeu de base** de formes standard. L'aire est toujours positive.
- Aire d'un polygone non standard ou d'une forme hybride : Par défaut, l'aire affichée est l'aire arithmétique qui est toujours positive et qui coïncide avec l'aire algébrique pour autant que le polygone soit orienté positivement (le sens positif est le sens trigonométrique) et qu'il ne soit pas croisé.

Pour les polygones orientés négativement mais non croisés, l'aire algébrique est toujours négative. Quant aux polygones croisés, ils comportent des parties d'orientation positive et d'autres orientées négativement. L'aire algébrique du polygone est alors la somme des aires algébriques des différentes parties. Elle peut donc être positive, négative ou même nulle. En particulier, un quadrilatère dont les diagonales sont parallèles est d'aire nulle car, d'une part les valeurs absolues des aires des deux ailes sont égales, d'autre part ces deux ailes sont d'orientations opposées. C'est le *théorème du papillon* (Fig. 3).

Un polygone et son symétrique par rapport à une droite ont toujours des aires algébriques opposées. L'unité d'aire est celle du carré standard.

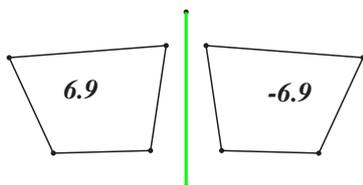


Fig. 2

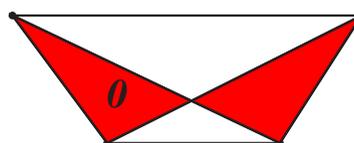


Fig. 3

Si l'utilisateur fait apparaître l'orientation d'un polygone en fléchant les côtés de celui-ci (via le *Menu contextuel*), l'aire affichée est automatiquement l'aire algébrique. On peut également faire apparaître l'aire algébrique en modifiant l'affichage par défaut de l'aire via le menu *Préférences*.

- L'amplitude d'un angle : Les arcs et les angles sont toujours orientés. L'amplitude d'un angle (ou d'un arc) peut donc être positive ou négative. Sur la figure suivante, nous avons placé des flèches sur les arcs afin de mettre leur orientation en évidence.

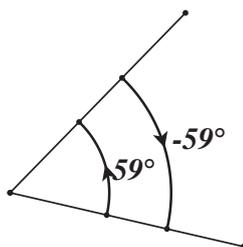


Fig. 4

- L'abscisse d'un point : Tous les objets tels qu'un segment, une droite, ou un arc de cercle

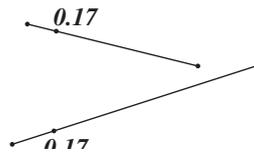
sont déterminés par deux points qui constituent un repère, dont l'origine est le premier des deux points construits, et dont l'extrémité est le second. Tout point placé sur un de ces objets possède dès lors une abscisse par rapport à ces deux points, qu'il soit mobile (un point « sur ») ou fixe (un point de division). Un point placé sur un côté d'un polygone ou d'une forme hybride possède aussi une abscisse, le repère utilisé étant constitué des deux extrémités du côté et orienté de façon compatible avec le polygone ou la forme hybride.

Pour déterminer l'abscisse d'un point placé sur un cercle le point de construction du cercle (qui n'est pas le centre) joue les deux rôles d'origine et d'extrémité. L'abscisse est alors le rapport de la longueur d'un arc à la circonférence du cercle.

PRATIQUEMENT

Pour afficher l'aire d'un polygone ou d'un secteur de disque, on sélectionne le polygone ou le secteur et on lui attribue une étiquette réduite à une étoile : « * ». Pour afficher la longueur d'un segment ou d'un côté de polygone, c'est au segment ou au côté qu'on attribue l'étiquette « * ». Enfin la mesure d'un angle s'obtient en matérialisant cet angle par un arc (tenant compte de l'orientation) et en plaçant l'étiquette « * » sur l'arc.

Si on attribue l'étiquette « * » à un point « sur », par exemple sur un segment, c'est l'abscisse de ce point sur le segment qui sera affichée (abscisse par rapport au repère constitué des extrémités du segment). Comme il se doit, deux points qui sont dupliqués l'un de l'autre ont la même abscisse, quelles que soient les longueurs des segments auxquels ils appartiennent.



Signalons encore que

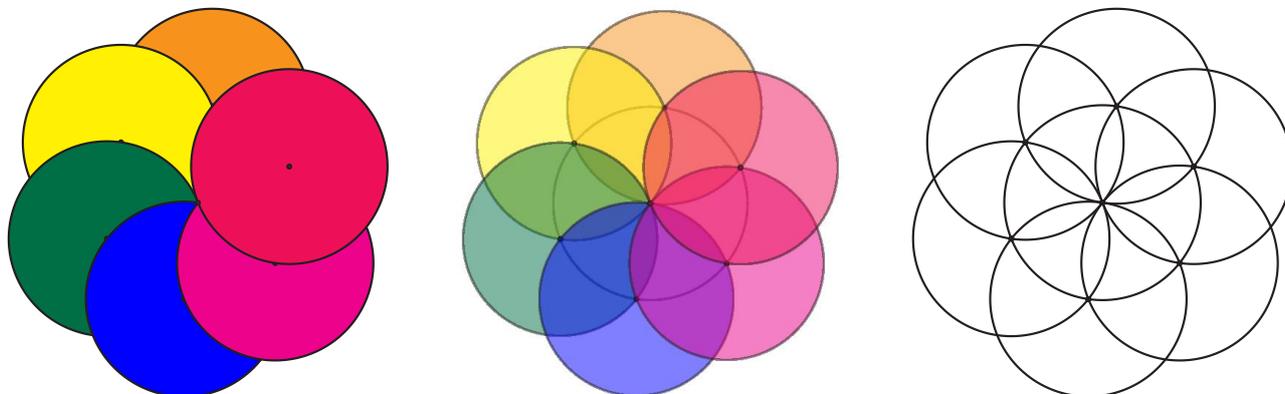
1. Par défaut, les mesures d'aires et de longueurs sont théoriquement affichées avec deux décimales.
2. Toute pression sur la touche * augmente de 1 le nombre (théorique) de décimales et toute pression sur \$ le diminue de 1 (sans qu'il puisse devenir négatif).
3. Les nombres de décimales sont théoriques en ce sens que les "0" terminaux ne sont pas affichés. Ainsi 2,250 est affiché par défaut sous la forme 2,25 et conserve cette forme quand on appuie sur la touche *.
4. Les valeurs affichées sont arrondies à l'ordre de la dernière décimale affichée.
5. Toutes les mesures affichées sur une figure sont mises à jour lorsqu'on modifie la figure.
6. Ces mesures peuvent être cachées par une pression sur la touche « d » du clavier. Cette touche sert en fait de « bascule » : une seconde pression fait réapparaître les mesures qui avaient été cachées.

10.3 Outils/Opacité

L'opération **Opacité** remplace l'opération **Transparent/Opaque** depuis la version 2.5.0. Trois possibilités sont disponibles : une forme géométrique peut être opaque, semi-transparente ou transparente. Tant le menu principal que le menu contextuel permettent d'accéder à cette opération.

La semi-transparence possède une propriété importante : une forme semi-transparente située à l'avant-plan d'une autre forme ne cache pas celle-ci : l'intersection des deux formes est peinte en

une couleur obtenue en mélangeant celles de ces deux formes. L'intersection est ainsi clairement mise en évidence, sans qu'il soit nécessaire de la dessiner explicitement. La figure suivante est une des premières dessinées par un enfant qui apprend à utiliser un compas. Ci-dessous, elle est présentée en les trois versions, opaque, semi-transparente et transparente.



Note : par défaut, les formes standard sont opaques et les formes libres sont transparentes. Cette fonctionnalité accepte la [sélection multiple](#).

10.4 Outils/Modifier l'épaisseur

On modifie l'épaisseur du bord d'une forme via la procédure *Outils/Modifier l'épaisseur*.

Deux choix sont possibles :

- Mince : c'est l'épaisseur par défaut.
- Épais : l'épaisseur est multipliée par 1,5.

Pour modifier l'épaisseur d'une forme on choisit entre **Mince** et **Épais**, puis on sélectionne la forme souhaitée. Le choix effectué entre **Mince** et **Épais** est ensuite appliqué automatiquement lors de toute nouvelle construction de forme, et cela jusqu'à ce que ce choix soit modifié. Un des deux sous-menus est coché, afin de rappeler à l'utilisateur quel choix a été effectué en dernier lieu.

Voici une figure dessinée d'abord avec des traits minces, ensuite avec des traits épais :



Fig. 5

Modifier l'épaisseur accepte la [sélection multiple](#).

10.5 Outils/Punaiser-Dépunaiser

La fonctionnalité **Punaiser/Dépunaiser** a été introduite dans le logiciel — initialement sous le nom de **Rigidifier/Dérigidifier** — en vue de permettre à l'utilisateur de rendre une forme

libre indéformable. Certaines activités proposées dans des classes du primaire demandaient en effet aux élèves de comparer les aires et périmètres de diverses formes. De telles activités perdraient tout leur sens si l'élève avait la possibilité de modifier les formes qui lui sont soumises. Afin de pouvoir faire plus tard marche arrière, **Dépunaiser** est également possible. Il s'agit en fait du même outil qui fait basculer une forme donnée d'un état à l'autre.

Il est apparu ultérieurement qu'il pouvait également être utile d'empêcher que l'on puisse tirer sur l'un ou l'autre point libre. C'est ce qui a amené les auteurs du logiciel à remplacer **Rigidifier/Dérigidifier** par **Punaiser/Dépunaiser**.

Cette fonctionnalité peut donc être utilisée en vue de deux objectifs, mais la procédure à appliquer ne change pas :

PRATIQUEMENT

- Sélectionner *Outils/Punaiser-Dépunaiser*
- Sélectionner une forme présente à l'écran, qui peut être un point.
Si l'utilisateur a choisi une forme qui n'est pas un point, cette forme devient indéformable. Autrement dit, il n'est plus possible de lui appliquer l'opération **Modifier**. Par contre, on peut la glisser, tourner etc.
Si l'utilisateur a choisi un point libre, l'opération **Modifier** ne peut plus être exécutée en tirant sur ce point. L'utilisateur est responsable de la mise en place d'un tel blocage, qui peut faciliter la modification de certaines figures complexes... comme il peut aussi provoquer des blocages de la figure elle-même...

Dépunaiser permet éventuellement de revenir en arrière ! Il n'est pas possible de punaiser un point « sur », ni un point construit, ni un point d'intersection.

Pour dépunaiser un objet, on applique la même procédure : l'ordinateur propose de punaiser les objets qui ne le sont pas et de dépunaiser ceux qui le sont.

Cette fonctionnalité accepte la [sélection multiple](#).

10.6 Outils/Montrer-Cacher des formes

La fonctionnalité **Montrer/Cacher des formes** permet de cacher des formes ou de montrer des formes qui auraient été précédemment cachées.

Quand on clique sur *Outils/Montrer-Cacher des formes*, toutes les formes déjà dessinées apparaissent à l'écran. Les bords de celles qui ont été cachées auparavant apparaissent en bleu pâle (plus précisément en cyan).

Cliquer sur une forme permet alors de la sélectionner en vue soit de la cacher (si elle était visible) et dans ce cas, le fond n'est plus colorié et les bords deviennent bleu pâle et soit de la montrer (si elle était cachée) et dans cet autre cas la situation d'origine est rétablie.

Lorsqu'une forme est cachée, ses sommets le sont aussi, sauf ceux qui appartiennent à une autre forme non cachée. Lorsque la sélection des figures à cacher ou à montrer est terminée, un clic sur un autre élément provoque l'effacement de tous les objets de couleur cyan. Ces objets cachés continuent néanmoins d'exister et d'accompagner les objets non cachés avec lesquels ils sont en interaction lors des déplacements ou des modifications de ceux-ci. Il n'est cependant plus possible de sélectionner une forme cachée.

Cette fonctionnalité accepte la [sélection multiple](#).

10.7 Outils/Avant-plan et Outils/Arrière-plan

Lors de la construction de formes à l'écran, il arrive que certaines formes en couvrent d'autres, partiellement ou complètement. Les outils *Avant-plan* et *Arrière-plan* sont alors utiles pour retrouver les formes cachées en-dessous d'autres.

Ces outils permettent d'amener les formes sélectionnées respectivement à l'avant-plan et à l'arrière-plan.

Remarques

- S'il y a plus de deux plans de superposition, l'option *Arrière-plan* envoie l'objet sélectionné à l'arrière de tous les autres, de même l'option *Avant-plan* ramène l'objet sélectionné devant tous les autres.
- Lorsque l'ordinateur, à l'occasion d'une sélection, affiche un message se terminant par un couple d'entiers, par exemple (3,1) nous avons vu à la page 36 que le premier entier indique le nombre de formes situées sous la pointe du curseur et que le second est le numéro de la forme sélectionnée en cas de clic. La forme portant le numéro 1 est celle qui se situe le plus à l'avant-plan.

Ces fonctionnalités n'acceptent pas la [sélection multiple](#).

10.8 Outils/Grille

L'option *Grille* permet d'afficher un réseau de points sur le fond de l'écran.

Lors du choix du menu *Outils/Grille*, la fenêtre suivante s'ouvre :



Fig. 6

Cette fenêtre permet de choisir le *type de grille*, la *taille des points* et l'*écart* entre ces points.

- *Type de grille* : à côté de l'écran vierge (*Pas de grille*) s'ouvrant par défaut, une grille quadrillée (*Carrés*) et une grille triangulée (*Triangles*) peuvent être affichées. Les formes que l'on construit alors s'accrochent aux points de la grille comme les élastiques sur un géoplan grâce à la propriété de magnétisme. Elles sont néanmoins toujours libres et peuvent être déplacées. De plus, si la grille est ouverte dans le cadre du menu A, deux fonctionnalités relevant du menu B s'ouvrent automatiquement. Elles donnent à l'utilisateur la possibilité de construire et de modifier des polygones quelconques. La représentation du travail sur un géoplan est ainsi possible.
- *Taille des points* : l'utilisateur choisit parmi trois tailles proposées dans la liste déroulante associée.
- *Écart entre les points* : cinq possibilités d'écartement sont proposées.

Pour revenir à un écran sans grille, on choisit l'option *Pas de grille* dans le premier sous-menu.

10.9 Outils/Lire un historique

La réalisation d'une figure de géométrie est constituée d'une suite d'opérations telles que *Construire une forme géométrique*, *Déplacer ou Modifier une forme*, *Appliquer une transformation*, etc. Tout au long d'une session de travail, l'ordinateur enregistre les différentes opérations mises en œuvre. Elles constituent un fichier *historique* conservé dans un sous-répertoire **Apprenti Géomètre** du répertoire **Mes Documents** de l'utilisateur. Les fichiers historiques sont des fichiers de type `.xml` mais d'extension `.hag`. Ils peuvent être lus à l'aide du logiciel `XmlNotepad`.

Chaque fichier historique mentionne dans son titre le nom de son créateur, le titre du fichier de sauvegarde `.fag` s'il a été créé, ainsi que la date et l'heure de création et le numéro de la figure réalisée.

Par exemple si un utilisateur a lancé *Apprenti Géomètre* en tant qu'enseignant et créé le 18 mai 2012 à 11h32 une figure qui a automatiquement reçu le titre « Figure-1 », alors le titre du fichier historique sera `Enseignant_Figure-1_18-05-2012_11-32.hag`

Si, à 11h45, l'utilisateur sauvegarde son fichier sous le nom `MonDessin.fag`, alors le nom du fichier historique sera remplacé par `Enseignant_MonDessin_18-05-2012_11-45.hag`

La date et l'heure du fichier historique sont adaptées chaque fois que l'utilisateur sauvegarde son travail sous un nouveau nom.

Le but de la constitution d'un fichier historique est double : d'une part il permet dans le cours de la réalisation d'une figure d'annuler une opération intempestive ou de refaire l'opération qui vient d'être annulée si cette annulation était elle-même intempestive (voir [annuler](#) et [refaire](#) une opération). D'autre part, le fichier historique permet aussi de revoir tout le travail effectué (par exemple par un élève) après que ce travail soit terminé et alors que le fichier de sauvegarde normal (le fichier `.fag`) ne montre plus que le travail achevé.

Certaines opérations ne sont pas enregistrées dans le fichier historique tout simplement parce qu'il est impossible de les annuler. Il en est ainsi de l'impression d'un fichier ou de son exportation en fichier `BitMap` ou en fichier `Postscript`. La lecture d'un fichier historique n'est pas non plus enregistrée dans un nouvel historique.

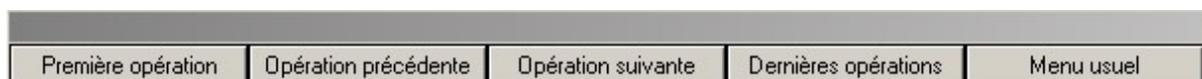
L'utilisateur peut donc relire un fichier historique afin d'analyser le travail réalisé au cours de la session. La procédure **Lire un historique** est utilisée à cet effet. Les différentes opérations enregistrées seront exécutées une à une.

PRATIQUEMENT

- Actionner le menu *Outils/Lire un historique*. Une fenêtre s'ouvre, affichant la liste des fichiers historiques enregistrés.

L'utilisateur qui n'a pas introduit de mot de passe au démarrage n'a accès qu'aux fichiers portant son nom. L'utilisateur enseignant a accès à tous les fichiers historiques.

- Après que l'utilisateur ait choisi un des fichiers historiques, la plus grande partie du menu usuel disparaît mais une barre de menus s'ouvre :



- Ces boutons permettent de commencer la visualisation par la première ou les dernières opérations, puis d'avancer et/ou de reculer dans l'ordre des opérations.

Remarques

- À chaque étape du déroulement de l'historique, il est possible via le menu *Fichiers*, d'[exporter l'écran en Postscript](#) ou en [fichier bitmap](#) ou de [l'imprimer](#).
- Pour quitter l'option **Lire un historique**, deux possibilités existent : la première est d'actionner le bouton *Menu usuel* qui arrête la lecture de l'historique et revient au menu usuel — l'écran de travail — en conservant la figure qui vient d'être visualisée. Le travail peut alors reprendre à partir de cette figure.
La seconde possibilité est d'actionner le menu *Fermer* (ou la croix au-dessus de la fenêtre) par laquelle l'utilisateur abandonne cette figure et revient à une feuille de travail précédente, s'il en existe une, ou quitte l'application dans le cas contraire.
- Il est aussi possible, sans fermer l'historique de revenir à une fenêtre précédente via le menu *Fenêtres*.

Chapitre 11

Un menu contextuel

11.1 Introduction

Depuis la version 2.3.5, l'utilisateur d'*Apprenti Géomètre* a accès à un *menu contextuel*. Il s'agit d'un menu qui se déroule lorsqu'on clique du bouton droit de la souris sur une forme affichée à l'écran. Le contenu de ce menu varie d'une forme à l'autre.

Le menu contextuel permet de modifier certaines propriétés de la forme sélectionnée, il ne permet aucune construction nouvelle.

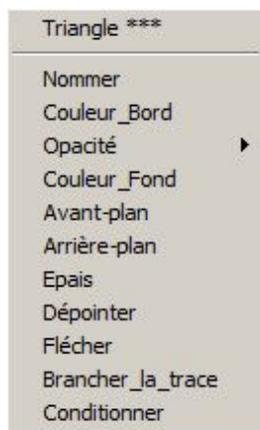


Fig. 1

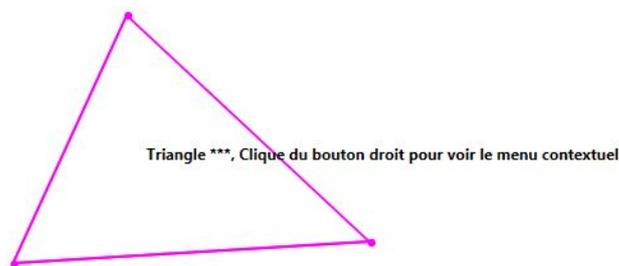


Fig. 2

Des opérations n'ayant pas de sens pour la forme sélectionnée sont automatiquement exclues du menu contextuel.

La figure ci-dessus montre le menu contextuel associé à un triangle. Ce menu comporte onze sous-menus.

La plupart de ces sous-menus fonctionnent exactement comme les sous-menus de même nom du menu *Outils*, à ceci près qu'ils ne peuvent servir à modifier qu'une forme à la fois.

Certains, qui servent à modifier un paramètre n'ayant que deux valeurs possible, proposent directement d'effectuer le changement. Par exemple, le triangle sélectionné étant dessiné en traits minces, le sous-menu propose uniquement le choix *Épais*.

D'autres sous-menus n'ont pas leur équivalent dans la barre de menus du logiciel. C'est le cas de *Dépointer*, *Brancher la trace*, *Flécher* et *Conditionner*.

PRATIQUEMENT

- Pour accéder au menu contextuel, il est nécessaire qu'aucune opération ne soit active. Un premier clic droit en dehors de toute forme permet de désactiver l'opération éventuellement active. La barre de titre doit mentionner « **Aucune opération active** ».
- Un deuxième clic droit sur une forme fait apparaître le menu correspondant à cette forme. Certaines opérations (par exemple *Couleur bord*) permettent de sélectionner un côté d'un polygone. Cette sélection peut s'avérer délicate. Il est conseillé de positionner le curseur de la souris à l'intérieur du polygone, puis, de le rapprocher du côté visé. Quand le curseur sera assez prêt du côté, seul celui-ci restera coloré en magenta et pourra être sélectionné.
- Lorsque le menu est déroulé, un clic gauche sur l'un des sous-menus, entraîne l'exécution de l'opération demandée.
- Une fois terminée, l'opération cesse d'être active.

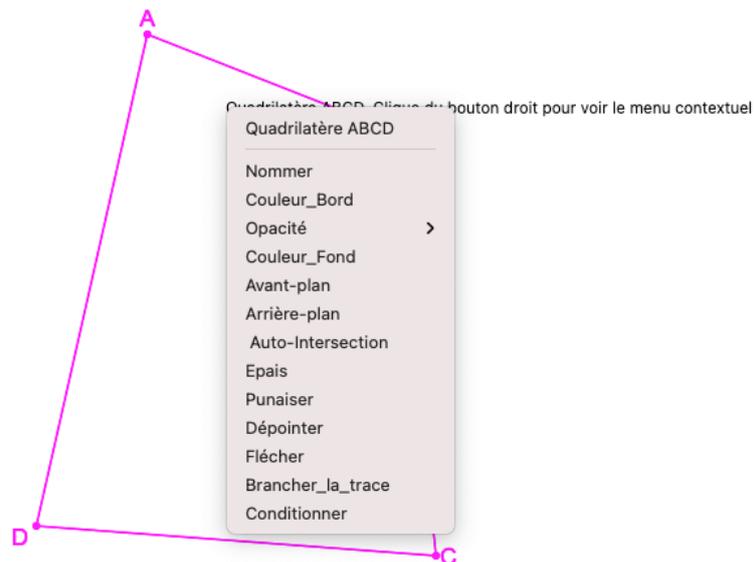
11.2 Les sous-menus possibles

Pour un polygone ou, de façon plus générale, une forme ayant plusieurs sommets, le nombre de sous-menus peut atteindre treize, plus un titre indiquant la nature de la forme. La figure ci-contre correspond à un quadrilatère orienté.

Passons ces éléments en revue, en commençant par le titre.

Le titre est constitué du type de la forme (*Cercle*, *Segment*, *Polygone*...) suivi des étiquettes de ses sommets. Par exemple si les sommets d'un quadrilatère ont été nommés *A*, *B*, *C* et *D*, le mot « Quadrilatère » est suivi de « *ABCD* ». Pour tout sommet qui n'a pas été muni d'une étiquette, il apparaît simplement une étoile.

En cliquant sur le titre, l'utilisateur a accès à des renseignements concernant la forme géométrique sélectionnée, par exemple les coordonnées des sommets.



Nommer est une réplique du sous-menu correspondant du menu *Outils*.

Couleur_Bord et *Couleur_Fond* permettent de modifier les couleurs correspondantes d'une forme géométrique déjà dessinée. S'il s'agit d'un polygone, il est possible — parfois avec difficulté — de modifier la couleur d'un côté sans modifier celles des autres côtés.

Opacité Ce menu est orné d'une flèche indiquant que des sous-menus sont présents. Il s'agit bien entendu des sous-menus *Opaque*, *Semi-transparent* et *Transparent*. Le tout fonctionne de la même façon que les sous-menus correspondants du menu principal.

Avant-plan et *Arrière-plan* font passer la forme sélectionnée respectivement à l'avant-plan ou

à l'arrière-plan.

Épais/Mince Nous avons déjà parlé ci-dessus de ce sous-menu. Si la forme sélectionnée est dessinée en traits minces, le menu propose *Épais*, sinon il propose *Mince*. À la différence du sous-menu *Outils/Modifier l'épaisseur* du menu principal, l'usage du menu contextuel pour modifier l'épaisseur d'une forme n'influence que cette forme et ne modifie donc pas l'épaisseur des traits d'éventuelles constructions ultérieures.

Punaiser/Dépunaiser fonctionnent de la même manière que le sous-menu correspondant du menu principal.

Pointer/Dépointer a pour fonction de supprimer ou de rétablir le dessin des sommets d'une forme. Ce sont souvent des raisons esthétiques qui amènent à éviter de dessiner ces sommets. Il ne faut pas confondre cette opération avec l'opération *Montrer-Cacher* du menu *Outils* : un point dont le dessin a été supprimé reste actif, il peut être saisi à la souris. Ce n'est pas le cas pour un point caché.

Flécher/Enlever les flèches marquent l'orientation. À plusieurs reprises, nous avons signalé que les formes géométriques étaient *orientées*. Le sous-menu *Flécher* permet de faire apparaître cette orientation en apposant une flèche sur la forme sélectionnée. Si une forme est fléchée, le sous-menu *Flécher* est remplacé dans le menu contextuel par un sous-menu *Enlever les flèches*.

Le polygone et le cercle situés à gauche d'un axe de symétrie (en vert) ont été construits en premier. Leurs symétriques ont été construits ensuite. Les flèches montrent bien les orientations.

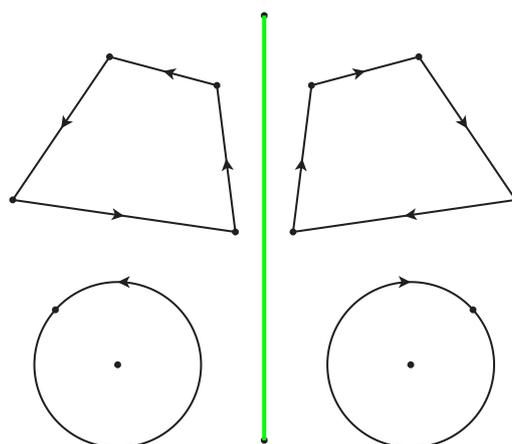


Fig. 3

Brancher la trace/Débrancher la trace Cet outil permet de visualiser le lieu géométrique d'un point mobile (ou de tout autre objet, auquel cas on parlerait plutôt d'« enveloppe ») et cela lors d'une animation réalisée à l'aide de l'opération *Modifier* ou de la fonctionnalité *Animer* décrite ci-dessous.

Voici un exemple élémentaire :

Le sommet a d'un triangle abc est mobile sur une droite D . On demande le lieu géométrique du barycentre g du triangle lorsque a parcourt D .

PRATIQUEMENT

- Choisir *Brancher-Débrancher trace*.
- Sélectionner le point g
- Déplacer a sur la droite D .

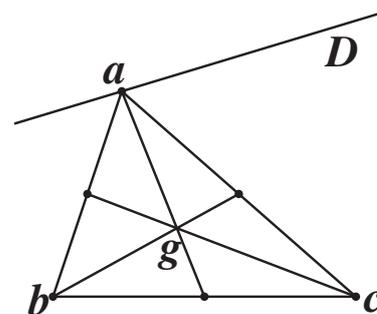


Fig. 4

Et voici le résultat :

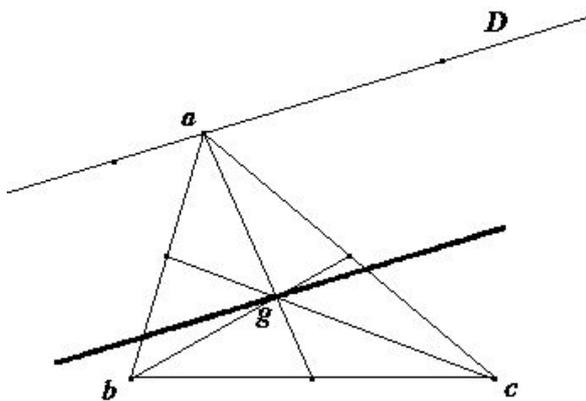


Fig. 5

Le tracé du lieu n'a pas pour le logiciel le statut d'un objet ; ce n'est qu'un trait sur l'écran et il est effacé dès le premier rafraîchissement de celui-ci. Il n'est donc pas possible de le sauvegarder, mais la procédure *Fichier/Exporter en fichier bitmap* permet de réaliser une copie d'écran.

Remarques

- Puisqu'on peut **Brancher la trace**, on peut aussi la débrancher. La procédure est identique et le logiciel sait pour quels objets la trace a été branchée. Il fait des propositions en conséquence.
- En utilisant le menu contextuel plusieurs fois, il est possible de brancher la trace pour plusieurs objets en même temps.
- Elle peut aussi être branchée pour d'autres objets que des points.

Conditionner une forme à un point peut être réalisé à l'aide d'un *interrupteur*. Nous entendons par là un objet dont un point peut facilement être *validé* ou *invalidé*. L'interrupteur le plus simple est constitué de deux segments et de leur point d'intersection.

Si à l'aide de l'opération **Modifier** on décroise les deux segments, leur point d'intersection est invalidé, ainsi que toute forme ayant ce point comme sommet, mais aussi toute forme conditionnée au point, même si elle n'est reliée graphiquement à celui-ci en aucune manière.

Une forme invalidée n'apparaît plus à l'écran et n'est plus accessible. Mais si cette disparition est due au fait que la forme est conditionnée à un point d'intersection, en recroisant les deux segments, le point d'intersection réapparaît ainsi que toute forme qu'il conditionne.

Si l'on choisit **Conditionner** dans le menu contextuel, il suffit de cliquer (à gauche) sur un point d'intersection pour conditionner la forme sélectionnée à ce point. Un même point d'intersection peut conditionner plusieurs formes, mais une forme ne peut être conditionnée que par un seul point.

Si une forme a été conditionnée à un point, le menu contextuel associé à la forme ne propose plus **Conditionner** mais **Déconditionner**. Devinez ce qui se passe !

L'usage d'interrupteurs permet par exemple de faire apparaître progressivement les éléments d'une construction ou les phases d'une démonstration.

La figure ci-contre montre trois interrupteurs rassemblés en un seul dispositif. Le déplacement de haut en bas de p au long de P fait apparaître successivement les points q , r , s et les formes conditionnées par ces trois points. En cachant les segments Q , R et S ainsi que le segment qui leur est perpendiculaire, on masque le dispositif, mais il reste fonctionnel.

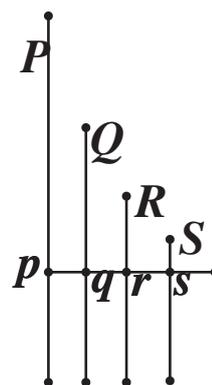


Fig. 6

Terminons par deux items qui ne font partie que du menu contextuel des points « sur ».

Limiter au côté Ce sous-menu n'apparaît que dans le menu contextuel d'un point « sur » un polygone. En activant cette fonctionnalité, le point en question ne peut plus parcourir le bord complet du polygone, mais uniquement le côté sur lequel il se trouve au moment du clic.

Animer Le sous-menu *Animer* n'apparaît dans le menu contextuel que si le pointeur de la souris désigne un point « sur » un segment, un arc ou un cercle. L'opération *Animer* a pour effet de provoquer le déplacement automatique du point sélectionné sur son support.

De plus, ce déplacement est répétitif : quand le point arrive à l'extrémité du segment, il est repositionné automatiquement à l'origine et recommence son parcours. De même si le point parcourt un cercle, à la fin de chaque révolution autour du centre, il en recommence une nouvelle.

Pour stopper le mouvement du point animé, un clic droit en dehors de toute forme est suffisant.

La fonctionnalité *Animer* n'a d'intérêt que si le point mobile est sommet d'une forme dont on veut montrer le déplacement, notamment pour montrer le lieu d'un autre point, dépendant du point mobile, et pour lequel on a branché la *trace*. Elle ne fait rien qu'il ne soit possible de faire manuellement, en tirant sur le point mobile à la souris, mais elle le fait de façon répétitive, ce qui peut être particulièrement intéressant lors d'une *présentation*. On trouvera dans [8] des tracés de coniques réalisés à l'aide de cette fonctionnalité.

Chapitre 12

Préférences, etc.

12.1 Introduction

Ce chapitre comporte quatre sections consacrées chacune à l'un des menus qui n'ont pas encore été décrits. Le premier de ces menus, *Préférences*, permet de régler divers paramètres. Le second — très court — donne accès à un mini-traitement de texte permettant par exemple à l'utilisateur de prendre des notes durant son travail. Le troisième explicite les aides disponibles. Enfin le quatrième, *Configuration* n'est — en principe — accessible qu'aux enseignants. Il permet de modifier l'environnement de travail, par exemple en supprimant des items de menus.

12.2 Préférences

Le menu *Préférences* comporte douze fonctionnalités.

La première, *Fond d'écran*, permet de charger une image en arrière-plan des constructions géométriques.



La deuxième, *Couleurs par défaut* permet de choisir les couleurs par défaut des bords et des fonds des formes géométriques ainsi que des familles de formes standard.

La troisième, *Distance de magnétisme*, permet de régler cette distance.

La quatrième, *Épaisseur des traits*, va beaucoup plus loin que la distinction entre *Mince* et *Épais*.

Les commandes *Ajustement automatique*, *Trajectoire* et *Formes pointées* sont actives par défaut. Les deux fonctionnalités suivantes, *Formes fléchées* et *Formes bifaces*, peuvent être activées d'un clic. Enfin, les trois dernières fonctionnalités permettent, la première de choisir entre *aire arithmétique* et *aire algébrique* (voir page 95), les deux dernières, de changer l'unité de longueur et l'unité d'aire.

12.2.1 Fond d'écran

Ce menu comporte trois sous-menus. Le premier dénommé *Installer* permet de charger une image *.jpg* en arrière-plan des constructions géométriques. On peut exploiter cette possibilité par exemple pour étudier des particularités géométriques d'une peinture, ou pour soumettre aux élèves un texte laissant libre une partie de l'écran, ce qui leur permet, par exemple, de réaliser les constructions décrites dans le texte. Le second, *Configurer* permet de choisir la position de l'image d'arrière-plan, neuf possibilités sont prévues. Il est également possible de

faire en sorte que l'image occupe tout l'écran. Dans ce cas, elle sera plus ou moins déformée si ses dimensions ne sont pas dans le même rapport que celles de l'écran. Le troisième sous-menu, *Retirer* permet de se débarrasser de cet arrière-plan.

12.2.2 Couleurs par défaut

Couleurs par défaut propose le choix entre trois sous-menus, à savoir choisir la couleur de bord des formes libres lors de leur construction, celle de leur intérieur ou la couleur d'une famille standard.

Couleur du bord et Couleur du fond

Ces procédures ne modifient la couleur d'aucune forme géométrique déjà construite, seules les formes construites par la suite seront affectées (jusqu'à un éventuel nouveau changement de couleur par défaut).

PRATIQUEMENT

- Choisir *Préférences/Couleurs par défaut/Couleur du bord* ou *Préférences/Couleurs par défaut/Couleur fond*
- Que l'on travaille sous *Windows* ou sur *Macintosh*, le logiciel affiche la palette de couleurs classique.
- L'utilisateur en sélectionne une et ferme la palette (l'endroit où cliquer dépend de l'ordinateur, *MacIntosh* ou *Windows*)

Remarques

Coloriage du bord



Fig. 1

La couleur des sommets des formes n'est pas modifiée par le changement de couleur du bord.

Coloriage du fond

Colorier le fond d'une forme signifie colorier l'intérieur de cette forme. Dans le cas de formes concaves croisées, la détermination de l'intérieur peut varier selon le type d'ordinateur utilisé. Pour les ordinateurs qui travaillent sous *Windows*, l'intérieur d'un pentagone croisé est donné par la figure 2. Pour ceux qui travaillent sous *MacOSX*, voir la figure 3. Cette question a été traitée en détails dans l'article [9] de *Losanges*.

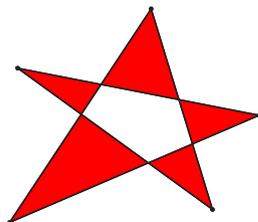


Fig. 2

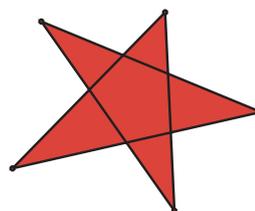


Fig. 3

12.2.3 Couleur Famille Standard

La fonctionnalité *Préférences/Couleurs par défaut/Couleur Famille Standard* modifie la couleur des familles de formes standard. La procédure est semblable à celle des deux cas précédents :

après avoir choisi cette fonctionnalité, on clique d'abord sur la famille dont on désire changer la couleur. La palette de couleurs apparaît et on y fait son choix.

Après cette opération, toutes les formes de la famille choisie auront la même couleur si ce n'était pas le cas auparavant. On se gardera donc de l'utiliser si les formes ont des couleurs différentes et si celles-ci sont fonctionnelles. C'est par exemple le cas de la famille des réglettes.

12.2.4 Distance de magnétisme

À l'aide de l'option **Distance de magnétisme**, l'utilisateur peut augmenter ou diminuer la distance de magnétisme, c'est-à-dire la distance maximum entre deux formes pour que le magnétisme soit actif. Par défaut, la distance est de 8 (pixels). Elle peut être modifiée arbitrairement. Annuler la distance de magnétisme revient à annuler le magnétisme lui-même et modifie fortement le comportement du logiciel. Par exemple, avec une distance de magnétisme nulle, il n'est plus possible de placer un point « sur » un objet.

Dans certains cas où l'on déplace beaucoup de petites formes géométriques (pour réaliser des pavages, par exemple), le magnétisme peut se révéler un peu encombrant, trop de points étant proches les uns des autres. Il est alors à conseiller, plutôt que de réduire la distance de magnétisme, de zoomer l'écran complet. Les petites formes deviennent plus grandes mais la distance de magnétisme ne change pas. Une fois la figure terminée, on peut contre-zoomer.

12.2.5 Epaisseur des traits

Ce menu permet de modifier l'épaisseur des traits en fournissant une valeur numérique pour cette épaisseur. N'importe quel réel positif peut être utilisé, mais l'utilisateur aura vite trouvé que certaines valeurs ne sont pas raisonnables. Par défaut, les valeurs correspondant à **Mince** et **Épais** sont 1,5 et 2,25. Une nouvelle valeur peut être introduite pour le mode **Mince**. La valeur utilisée pour le mode **Épais** est toujours 1,5 fois plus grande.

Cette fonctionnalité peut éventuellement être utile dans le cas où l'utilisateur est malvoyant. Elle peut aussi rendre plus facile certains dessins de grande taille destinés par exemple à des présentations.



12.2.6 Ajustement automatique

Comme il a été signalé à la section consacrée au mouvement **Glisser**, le glissement d'une figure se termine normalement par un ajustement automatique. Cet automatisme peut être déconnecté en décochant le menu *Préférences/Ajustement automatique*.

12.2.7 Trajectoire

Dans le menu A, lorsque cette option est cochée, les mouvements de retournement sont visualisés « dans l'espace ». Avec les menus B et C, cela concerne également les transformations

géométriques : les rotations, translations, symétries, homothéties, similitudes... donnent lieu à des dessins animés qui montrent clairement la transformation de la forme source en son image et assurent le lien avec les mouvements physiques. Rappelons néanmoins que ces « trajectoires » ne font pas partie des objets géométriques « transformations », ces objets n'étant définis que par un petit nombre de points sources et leurs images.

La figure ci-dessous montre le film (avec arrêt sur images) du retournement (selon l'axe vertical passant par le sommet inférieur droit) du triangle rectangle de la famille du triangle équilatéral :

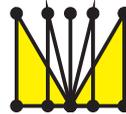


Fig. 4

12.2.8 Formes pointées

Cette option est activée par défaut. Il en résulte que lors de la construction d'une forme, les sommets sont dessinés, à l'exception des sommets des cubes et des réglettes. À partir du moment où l'option est désactivée, les sommets ne sont plus dessinés lors de la construction d'une forme. Ces points sont néanmoins toujours actifs, ils peuvent par exemple être saisis, dans les mêmes conditions que les points visibles, lors d'une modification de la figure.

Si l'on coche de nouveau l'option *Formes pointées*, elle redevient active pour les nouvelles constructions mais l'aspect des constructions précédentes n'est pas modifié. Seul le sous-menu *Pointer* du menu contextuel permet de faire réapparaître les points qui ne sont pas dessinés.

Pour une forme fléchée, le logiciel affiche toujours la mesure de l'aire algébrique et non celle de l'aire arithmétique.

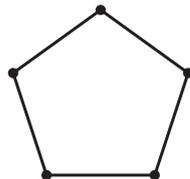


Fig. 5

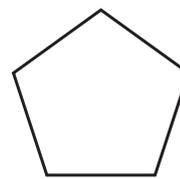


Fig. 6

12.2.9 Formes fléchées

Cette option fonctionne un peu comme *Formes pointées*, mais « à l'envers » puisque, par défaut, elle n'est pas active. Dès qu'elle est activée, toute forme nouvellement construite est munie de flèches matérialisant l'orientation de la forme. Après désactivation, ces flèches ne sont plus placées sur les nouvelles formes, mais ne disparaissent pas des anciennes. À nouveau, le menu contextuel permet de modifier la situation, via son sous-menu consacré aux *flèches*.

12.2.10 Formes bifaces

En vue de faciliter le repérage des formes qui auraient été retournées et de mettre en évidence la différence visuelle entre deux formes symétriques par rapport à un axe, il est possible, en activant l'option **Formes bifaces**, de faire en sorte que les formes changent de couleur lorsqu'on les retourne. La face arrière a alors la couleur complémentaire de la face avant.

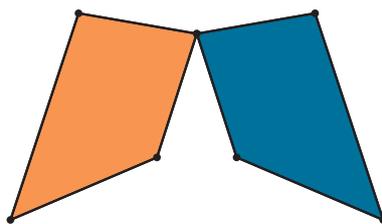


Fig. 7

Par défaut, l'option n'est pas activée.

12.2.11 Aire

Ce menu permet de choisir le type d'aire à utiliser. La distinction entre *Aire arithmétique* et *Aire algébrique* est rencontrée au chapitre 10 (page 95). Elle a également fait l'objet d'un article, [9], dans *Losanges*. Nous pouvons donc nous contenter ici de rappeler les points principaux.

- L'aire arithmétique d'un polygone (ou plus généralement d'un *lacet*, c'est-à-dire d'une courbe fermée) est toujours positive.
- L'aire algébrique d'un polygone peut être positive ou négative. Elle dépend de l'orientation du polygone et de ses éventuels points d'auto-intersection.
- Pour tout polygone convexe ou concave non croisé, l'aire arithmétique est la valeur absolue de l'aire algébrique.

Par défaut, *Apprenti Géomètre* utilise l'aire arithmétique. Le menu **Aire** permet de changer ce choix. Il convient d'être attentif au fait que la modification durant un travail avec *Apprenti Géomètre* du type d'aire utilisé entraîne la modification des aires de tous les polygones, qu'ils aient été construits avant ou après cette modification. En bref : on ne peut faire cohabiter sur l'écran des polygones dont les aires sont calculées de façons différentes.

12.2.12 Unité de longueur et Unité d'aire

Par défaut, l'unité de longueur et l'unité d'aire utilisées par le logiciel pour mesurer les longueurs et les aires sont respectivement la longueur du côté et l'aire du carré standard (le carré rouge).

L'utilisateur peut modifier ces choix, ce qui lui permet de faire afficher par le logiciel des rapports de longueurs et des rapports d'aires arbitraires.

Si on choisit dans le menu **Préférences** le sous-menu **Unité de longueur**, un menu se déroule qui permet soit de choisir une nouvelle unité de longueur, soit de revenir au choix par défaut. N'importe quel segment ou côté de polygone peut être choisi comme nouvelle unité de longueur.

Dès qu'une nouvelle unité a été choisie, les mesures de longueur qui seront affichées suite au placement d'une étiquette « * » (voir l'opération **Nommer**) seront relatives à cette nouvelle unité, y compris celle du nouveau segment unité lui-même qui affichera « 1 ».

La fonctionnalité **Unité d'aire** fonctionne de la même manière. Mais il faut se souvenir que les aires qui sont affichées sont des aires orientées, donc qu'elles sont de signe quelconque. Si on choisit un polygone d'aire négative (par rapport au carré standard) comme unité de mesure, les polygones d'aire positive par rapport au carré standard auront une mesure négative par rapport à cette nouvelle unité. Et vice-versa. Et si jamais on choisit un polygone d'aire nulle comme unité d'aire...

12.3 Notes

Le menu *Notes* permet à l'utilisateur de rédiger un texte relatif à son travail, tout en continuant d'utiliser *Apprenti Géomètre*. Comme il est possible de le voir sur la figure ci-dessous, on retrouve les fonctionnalités principales d'un traitement de texte de base.

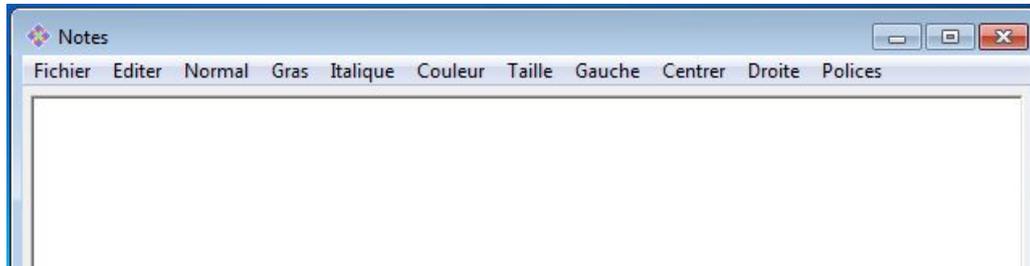


Fig. 8

Les fichiers créés par ce mini-traitement de texte sont des fichiers de type *Rich Text Format*, d'extension `.rtf`. Ils sont lisibles avec les logiciels classiques : *Wordpad*, *Word* ou *OpenOffice*. De plus un fichier créé extérieurement avec un de ces logiciels et n'utilisant pas de fonctionnalités élaborées pourrait être importé dans *Apprenti Géomètre* : la fenêtre ouverte par le menu *Notes* comporte une commande *Ouvrir* dans le menu *Fichier*.

Une activité de narration de recherche réalisée avec *Apprenti Géomètre* bénéficierait particulièrement de cette possibilité d'écrire un texte en coordination avec le tracé et la manipulation d'une figure. Il est également possible à l'enseignant de préparer une fiche de consignes de travail et de la faire afficher par l'élève utilisant *Apprenti Géomètre*.

12.4 Aide

Ce menu contient quatre options : *Afficher l'aide*, *Guide utilisateur*, *Visiter le site AG* et *À propos*, dont la première est cochée par défaut.

12.4.1 Afficher l'aide

L'option *Afficher l'aide* est activée par défaut. Elle provoque l'affichage d'un message de quelques mots explicitant la manœuvre à accomplir. Ce message accompagne le curseur de la souris de sorte que l'utilisateur l'a toujours sous les yeux.

Pour désactiver cette aide, il suffit de décocher le menu correspondant en cliquant dessus. Dans ce cas, il est encore possible de savoir quelle est l'option active car elle s'affiche dans la barre de titre du document.

12.4.2 Guide Utilisateur

Cette option donne accès au présent guide, à deux conditions :

1. que son titre actuel, *Guide utilisateur AG2.pdf*, n'ait pas été modifié.
2. qu'il se trouve dans le même dossier que l'exécutable *AG2.exe*.

12.4.3 Visiter le site AG

Visiter le site AG permet d'accéder au site du CREM ⁽¹⁾ sur lequel il est possible d'obtenir une brève présentation d'*Apprenti Géomètre*, le présent guide, des documents à destination des enseignants et des activités à réaliser avec les élèves, des formations, de nouvelles mises à jour d'*Apprenti Géomètre* et encore bien d'autres choses.

12.4.4 À propos

Cette option permet d'afficher les informations relatives à la version du logiciel.

12.5 Configuration

Le menu *Configuration* n'est accessible qu'à l'enseignant. Il ne comporte qu'un seul item, dénommé *Personnaliser*, lequel provoque l'ouverture d'une fenêtre de dialogue :

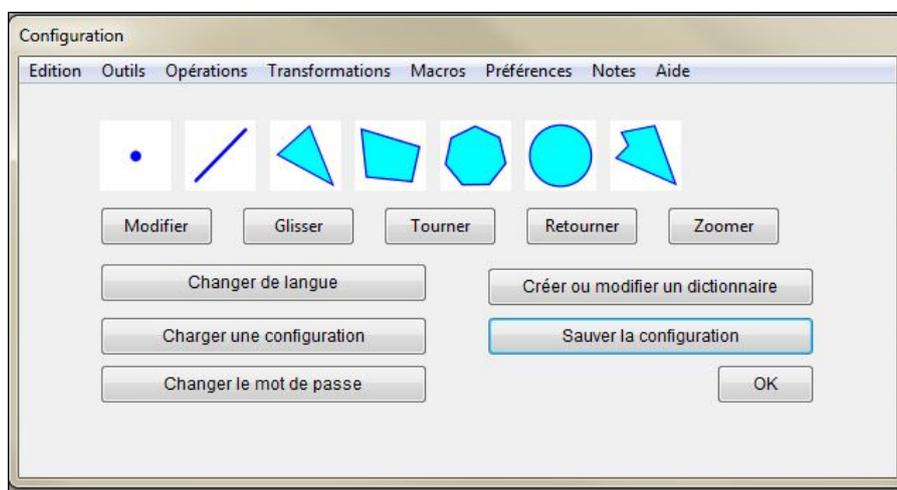


Fig. 9

À partir de cette fenêtre, toutes les options des différents menus peuvent être activées ou désactivées selon les desiderata de l'enseignant (voire de l'élève, si l'enseignant lui donne le mot de passe). Celui-ci peut :

- décider de la configuration qu'il va utiliser (*Charger une configuration*). À l'origine, les configurations possibles sont les menus A, B, C, AB et AC ;
- construire une configuration de son choix en sélectionnant les formes libres et les fonctionnalités qui seront accessibles aux élèves. Cette configuration pourra être enregistrée — de préférence sous un nouveau nom, auquel le logiciel se charge d'adjoindre l'extension « .men » — en cliquant sur le bouton *Sauver la configuration*. Elle apparaîtra dès lors dans le menu déroulant de la page d'ouverture à la suite des *menus* d'origine. L'utilisateur retrouvera les fichiers de configuration qu'il aura créés dans le dossier *MesDocuments/Apprenti Géomètre/Menus*.
 - Pour sélectionner les formes libres qui pourront être construites : cliquer sur une des icônes qui reproduisent celles du pavé des formes libres. On accède alors au tableau des formes correspondant à cette icône. En cliquant sur les boutons de ce tableau, on

1. www.crem.be

sélectionne (ou on désélectionne) une à une les formes qui seront proposées dans le menu correspondant de la feuille de travail. Les noms des formes ainsi sélectionnées seront écrits en caractères droits et suivis de la lettre "x".

- Pour sélectionner des fonctionnalités : en cliquant sur un des items du menu principal de cette fenêtre *Configuration*, on provoque le déroulement d'un menu proposant toutes les options possibles pour l'item correspondant du menu de la feuille de travail. On cochera les options que l'on veut voir apparaître dans le menu accessible aux élèves.
 - Il est aussi possible de choisir les boutons qui seront présents dans le pavé des mouvements. La fenêtre de configuration comporte en effet cinq boutons dénommés *Modifier*, *Glisser*, *Tourner*, *Retourner* et *Zoomer*. Un clic sur un de ces boutons fait apparaître ou disparaître le bouton correspondant du pavé des mouvements.
- changer le mot de passe (**Changer le mot de passe**);
 - choisir la langue de travail (**Changer de langue**). Le choix d'une langue correspond au choix d'un dictionnaire. À l'origine, la langue est le français et le dictionnaire correspondant est contenu dans le fichier `Francais.dct` ;
 - créer un nouveau dictionnaire ou modifier un dictionnaire existant (**Créer ou modifier un dictionnaire**).

Pour créer ou modifier un dictionnaire :

1. Après avoir cliqué sur **Créer ou modifier un dictionnaire**, une fenêtre s'ouvre. Elle affiche deux colonnes. Le titre de la première colonne est *Code*. Le contenu de cette colonne ne peut être modifié. Le titre de la seconde colonne est le nom de la langue utilisée. On y trouve, en correspondance avec les codes de la première colonne, les noms utilisés dans cette langue. De plus, la fenêtre comporte un menu déroulant dénommé *Dictionnaires* qui propose quatre options : **Charger**, **Créer**, **Sauvegarder** et **Fin**.
2. Lorsqu'on actionne le bouton **Charger**, une fenêtre s'ouvre, demandant de choisir une langue (correspondant à un dictionnaire existant). Si le but est de modifier un dictionnaire, on charge celui-là et on voit apparaître dans la fenêtre deux colonnes. Une troisième colonne est alors créée en regard des deux premières. Rien n'empêche de charger une troisième langue, etc.
3. Pour modifier tout ou partie d'un dictionnaire on clique sur le mot à modifier... et on le modifie.
4. Pour sauvegarder un dictionnaire, sélectionnez la première case de la colonne à sauvegarder (la case qui mentionne le nom de la langue). Ensuite, choisissez l'option **Sauvegarder**. Une fenêtre s'ouvre qui propose d'effectuer ou d'annuler l'opération.
5. Pour créer un nouveau dictionnaire, il est à conseiller de charger le dictionnaire d'une langue que l'on maîtrise. Après ce chargement, cliquer sur **Créer** dans le menu déroulant en indiquant le nom de la nouvelle langue dans la fenêtre de dialogue qui s'ouvre. Une nouvelle colonne, ayant pour titre le nom de cette langue, s'affiche alors dans la fenêtre et il reste à traduire tous les mots de l'ancienne langue vers la nouvelle. Après quoi, on sauvegarde ce nouveau dictionnaire, selon la procédure indiquée ci-dessus.



The screenshot shows a window titled "NewDictWindow" with a sub-header "Dictionnaires". It contains a table with three columns: "Code", "Français", and "Wallon". The "Code" column lists various menu items, and the "Français" column lists their corresponding labels in French. The "Wallon" column is currently empty. A "Menus" dropdown is visible in the "Code" column header.

Code	Français	Wallon
FileMenu	Fichier	
FileOpen	Ouvrir	
FileClose	Fermer	
FileNew	Nouveau	
FileSave	Sauvegarder	
FileSaveas	Sauvegarder sous...	
FileSaveEps	Exporter en Postscript	
FileSaveBitmap	Exporter en fichier bitmap	
PrintSetUp	Paramètres d'impression	
FilePrint	Imprimer	
FileQuit	Quitter	
Figure	Figure	
EditMenu	Edition	
EditUndo	Annuler	
EditRedo	Refaire	

Fig. 10 Extrait d'un dictionnaire

Bibliographie

- [1] HONCLAIRE B., Touche à mon pote ... AG. *Losanges*, 12, pp. 47 – 52. 2011.
- [2] HONCLAIRE B., Touche à mon pote ... AG (3). *Losanges*, 14, pp. 52 – 58. 2011.
- [3] HONCLAIRE B., Touche à mon pote ... AG (4). *Losanges*, 15, pp. 55 – 62. 2011.
- [4] HONCLAIRE B., Touche à mon pote ... AG(2). *Losanges*, 13, pp. 49 – 56. 2011.
- [5] HONCLAIRE B. et NOËL-ROCH Y., Assemblages et astricas. *Losanges*, 7, pp. 52 – 60. 2010.
- [6] NINOVE L., Des couronnes de polygones réguliers isométriques. *Losanges*, 22, pp. 3 – 13. 2113.
- [7] NOËL G., Activités avec Apprenti Géomètre. *Losanges*, 5, pp. 35 – 39. 2009.
- [8] NOËL G., D'assemblages au théorème de Thalès. *Losanges*, 2, pp. 56 – 61. 2008.
- [9] NOËL G., Intérieur et aire d'un polygone. *Losanges*, 40, pp. 21 – 33. 2018.
- [10] NOËL G., Le cercle d'Apollonius. *Losanges*, 35, pp. 11 – 18. 2016.
- [11] NOËL G., SKILBECQ P., VANDENBRUAENE A. et ALII, *Impact du logiciel "Apprenti Géomètre" sur certains apprentissages*. Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, Nivelles, 2007.
- [12] NOËL-ROCH Y., Transformations du plan avec AG. *Losanges*, 22, pp. 46 – 52. 2013.
- [13] ROUCHE N. et SKILBECQ P., *Apprenti Géomètre. Pourquoi un nouveau logiciel*. Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, Nivelles, 2006.
- [14] ROUCHE N. et SKILBECQ P., *Apprenti Géomètre. Un atelier pour travailler les mathématiques*. Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, Nivelles, 2006.
- [15] ROUCHE N. et SKILBECQ P., Apprenti Géomètre, un nouveau logiciel. *Mathématique et Pédagogie*, 149, pp. 68 – 84. 2004.
- [16] SKILBECQ P., *Apprenti Géomètre. Rapport de recherche 2003 – 2004*. Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, Nivelles, 2004.
- [17] SKILBECQ P., NOËL G. et ROUCHE N., *Apprenti Géomètre. Un outil de différenciation des apprentissages en mathématique*. Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, Nivelles, 2005.
- [18] VAN TROEYE M.-F. et SKILBECQ P., *Apprenti Géomètre. Grandeurs, fractions et mesures*. Centre de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, Nivelles, 2003.

Index

- .bmp, 33
- .eps, 33
- .fag, 31, 32, 101
- .hag, 101
- .jpg, 33
- .men, 116
- .pict, 33
- .rtf, 115
- .std, 17, 20, 21
- .xml, 21, 101
- Étiquette, 13
- Abscisse, 64, 95
 - d'un point sur, 96
- Afficher
 - l'aide, 115
- Affinité, 1, 2, 51, 76
- Agrandissement, 45
- Aide, 115
- Aire
 - algébrique, 95, 113
 - arithmétique, 95, 113
 - d'un polygone non standard, 95
 - d'un polygone standard, 95
 - d'une forme géométrique, 93
 - d'une forme hybride, 95
 - orientée, 107
- Ajustement, 42, 112
 - automatique, 42
- Amplitude
 - d'un angle, 95
- Animer, 109
- Annuler, 28, 35
- Appliquer, 79
- Arc, 27, 53, 55, 56
- Arithmétique, 1
- Arrière-plan, 23, 93, 100
- AutoIntersection, 55, 69
- Avant-plan, 23, 93, 100
- Axe
 - d'un étirement, 77
 - d'un cisaillement, 78
- Bande, 2, 23, 25
- Barre
 - d'espacement, 36
- Bord, 97
- Brancher
 - trace, 107
- Bug, 34
- Cacher, 93, 100
- Carré, 16, 26, 27
- Centre, 66
- Cercle, 27, 58
 - standard, 56
- Changer
 - le mot de passe, 117
 - de langue, 117
- Charger
 - une configuration, 116
- Cisaillement, 71, 78, 85
- Coller, 40, 63
- Colorier, 1, 93, 96, 97
- Conditionner, 48, 108
- Configuration, 1, 2, 111, 116
- Construire
 - le centre, 55, 66
- Copier, 39, 63
- Couleur, 20
 - bord, 97, 106
 - famille standard, 97
 - fond, 97, 106
 - fond 'Aire orientée', 106
- Créer
 - une macro, 87
- Créer un dictionnaire, 117
- Cubes, 18
- Définir, 71

- Déplacement, 85
- Débrancher
 - trace, 107
- Décagone, 17, 27
- Découper, 1, 19, 55, 57, 60, 62
- Délier, 39
- Demi-droite, 2, 23, 25
- Demi-tour, 71, 72
- Déplacement, 41, 71, 73
- Dépunaiser, 93, 99
- Dérigidifier, 99
- Désélectionner, 37
- Dictionnaire, 117
- Direction
 - d'un étirement, 77
- Disque, 15–17, 58
- Distance
 - de magnétisme, 14, 42, 111, 112
- Diviser, 55
- Dodécagone, 15, 27
- Domino, 18
- Double clic, 14
- Droite, 2, 3, 23, 25
 - parallèle, 25, 44, 53
 - perpendiculaire, 25, 44, 53
- Dupliquer, 1, 39, 55, 63
- Ellipse, 78
- Enlever
 - les flèches, 107
- Ennéagone, 27
- Enveloppe, 107
- Épais, 98, 106
- Épaisseur des traits, 111
- Étiquette, 68, 93, 96
- Étirement, 71, 76, 85
- Étoiles, 18
- Exporter
 - en fichier bitmap, 103
 - en Postscript, 103
- Famille, 13
 - de formes standard, 20
- Fermer, 103
- Fichier
 - Exporter en fichier bitmap, 33
 - Exporter en Postscript, 33
 - Fermer, 32
 - historique, 101
 - Imprimer, 34
- Nouveau, 31
- Ouvrir, 31
- Quitter, 34
- Sauvegarder, 32
- Sauvegarder sous, 32
- Figure, 52, 67
 - géométrique, 49
- Flécher, 107
- Fond, 97
 - d'écran, 111, 112
- Forme
 - construite, 80
 - géométrique, 49
 - hybride, 58
 - libre, 13, 23
 - orientée, 24
 - standard, 13, 17, 47, 111, 112
- Formes
 - bifaces, 113
 - fléchées, 113
 - pointées, 111, 113
- Fraction, 1
- Fusionner, 1, 19, 55, 60
- Géométrie
 - dynamique, 47
- Géoplan, 101
- Glisser, 1, 35, 39, 41, 63, 81, 99
- Grandeur, 1
- Grille, 93, 100
 - de carrés, 101
 - de triangles, 101
- Hendécagone, 27
- Heptagone, 27
- Hexagone, 27
 - régulier, 15
- Homothétie, 1, 2, 45, 74, 85
- Identifier, 55, 66
- Imprimer, 103
- Intérieur
 - d'un polygone, 97
- Interrupteur, 48, 108
- Intersection, 24
- Invalidier, 48, 108
- Isométrie, 41
- Jeu
 - de base, 13

- de base, 14
- de formes standard, 17
- réduit, 18
- Lier, 39
- Lieu
 - géométrique, 107
- Limiter, 109
- Lire
 - un historique, 93, 102
- Logiciel
 - évolutif, 2
- Logo, 22
- Longueur
 - d'un segment, 93, 95
- Losange, 15–17, 26, 53
- Macro, 87
- Magnétisme, 24, 42, 67, 101
- Menu, 1, 13
 - A, 1, 47, 93, 111
 - AB, 1, 47, 93, 111
 - AC, 1, 47, 93, 111
 - B, 1, 23, 25, 38, 47, 93
 - C, 2, 23, 25, 38, 47, 93
 - contextuel, 93, 105
- Mesure, 1, 95
 - d'un angle, 93
- Micro-monde, 1
- Mince, 98, 106
- Modéliser, 2
- Modèle
 - 1, 18
 - 2, 18
- Modification
 - par affinité, 51
 - par similitude, 49
- Modifier, 35, 47, 58, 63, 99, 101, 108
 - un dictionnaire, 117
 - l'épaisseur, 93, 98
- Montrer, 93, 100
- Mouvement, 1, 2, 13, 35, 41, 81, 117
- Nommer, 93
- Notes, 115
- Objet
 - final, 87, 89
 - initial, 89
- Objet
 - initial, 87
- Octogone, 16, 27
- Opacité, 93, 106
- Opaque, 35, 57, 98
- Opération, 13, 24, 101
- Orientation, 24, 44, 59, 62, 113
 - d'un arc de cercle, 28
 - d'un cercle, 28, 56, 65
 - d'un secteur de disque, 28
 - d'un segment, 25, 64
- Outil, 13, 93
- Parallélogramme, 16, 26
- Pentagone, 17, 27
- Pentamino, 18
- Point, 25
 - construit, 24, 48, 55, 59, 63, 68, 86
 - d'intersection, 23, 24, 48
 - de référence, 13, 22
 - fixe, 85
 - invalidé, 48
 - lié, 23, 47
 - libre, 23, 47, 66, 68
 - sur, 23, 24, 47, 64, 68, 112
- Polygone, 25, 55, 58
 - quelconque, 27, 54, 101
 - régulier, 27, 50
- Polymino, 18
- Postscript, 94
- Précédence, 52
- Préférences, 111
- Prolonger, 3, 55, 66
- Punaiser, 93, 99
- Quadrilatère, 27
 - quelconque, 26
- Quadrimino, 18
- Quart de tour, 71
 - à droite, 71, 72
 - à gauche, 71, 72
- Quartier
 - de tarte, 58
- Rapport
 - d'un étirement, 77
- Rectangle, 26, 53
- Redimensionnement, 41
- Refaire, 35
- Réglette, 20
- Réglettes, 19

- Repère, 64
- Resélection
 - automatique, 38
- Retournement, 28, 41
- Retourner, 1, 19, 39, 41, 44, 63, 81
- Rétrécissement, 45
- Revalider, 48
- Rigidifier, 99
- Rotation, 1, 2, 71, 72

- Sauvegarder
 - la configuration, 116
- Secteur, 2, 23, 25
 - de disque, 23, 27
- Segment, 3, 25, 55
 - parallèle, 25, 44, 53
 - perpendiculaire, 25, 44, 53
- Sélection
 - multiple, 38
- Sélectionner, 1, 35, 37
 - tout, 38
- Semi-transparent, 98
- Similitude, 1, 2, 49, 85
 - directe, 49, 75
- Sous-figure, 51, 52
- Standardiser, 32
- Support
 - d'une transformation, 71
- Supprimer, 40, 58, 63, 94
- Symétrie
 - axiale, 1, 2, 71, 73
 - oblique, 78

- Tangram, 18
- Théorème
 - du papillon, 95
- Tirer
 - sur un point, 47
- Titre, 94
 - d'un menu contextuel, 106
- Tortue, 22
- Tourner, 1, 39, 41, 43, 63, 66, 81, 99
- Trajectoire, 45, 111, 112
- Transformation, 2
 - affine, 76
 - conjuguée, 82
 - géométrique, 38, 39, 41, 63, 71
- Translation, 1, 2, 71
- Transparent, 35, 98
- Trapèze, 26, 53, 74
 - isocèle, 15, 26
 - rectangle, 15, 26
- Triangle, 26, 27
 - équilatéral, 15, 22, 26, 27
 - isocèle, 15–17, 26, 53
 - obtusangle, 17
 - quelconque, 26
 - rectangle, 15, 16, 26, 53
 - rectangle isocèle, 16, 26, 50
- Trimino, 18

- Valider, 108
- Visiter
 - le site AG, 116

- Zoomer, 39, 41, 43, 45, 63, 81, 112