HAL
open science

Experimentation sur les modes d'ecriture du dessin

Jean-Marc Robert

To cite this version:

Jean-Marc Robert. Experimentation sur les modes d'ecriture du dessin. RT-0008, INRIA. 1981, pp.81. inria-00070146

HAL Id: inria-00070146

https://inria.hal.science/inria-00070146v1

Submitted on 19 May 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CENTRE DE ROCQUENCOURT

Institut National
de Recherche
en Informatique
et en Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
B.P. 105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél.: 954 90 20

Rapports Techniques

N° 8

EXPÉRIMENTATION SUR LES MODES D'ÉCRITURE DU DESSIN

Jean-Marc ROBERT

Novembre 1981

GROUPE DE PSYCHOLOGIE ERGONOMIQUE

EXPERIMENTATION SUR LES MODES D'ECRITURE DU DESSIN

Jean-Marc ROBERT

EC 8109 R05

Cette étude a été financée par la Convention de Recherche n° 81/343 passée avec l'Agence de Développement pour l'Informatique (A.D.I.)

RESUME

Cette étude a pour objet l'analyse fine du processus d'écriture du dessin bidimensionnel. Elle vise à identifier et analyser les moyens mis en oeuvre par trois groupes de sujets pour dessiner, à définir leur statut respectif et à mettre en lumière les modes de fonctionnement respectifs de ces groupes.

L'analyse des protocoles verbaux a permis d'une part de distinguer 15 méthodes de dessin plus ou moins générales, qui ont été utilisées selon des fréquences différentes par chaque groupe. D'autre part, on a pu établir les hiérarchies de stratégies adoptées pour dessiner les divers types de constructions géométriques ; ces stratégies sont plus ou moins générales selon leur fréquence d'adoption et le nombre de types de constructions géométriques qu'elles permettent de dessiner. Enfin, plusieurs référentiels ont été utilisés plus ou moins fréquemment selon les groupes pour définir les constructions par rapport au cadre de la feuille de dessin. A partir de cette recherche, plusieurs besoins du dessinateur devant être satisfaits par des systèmes de dessin assisté ont pu être définis.

SUMMARY

The subject matter of this study is a detailed analysis of bidimensional drawing writing process. The aim is to identify and analyse the means used by three subjects' groups for drawing, to define their respective status and to highlight the respective ways these groups proceed.

Verbal protocols analysis allowed, on the first hand, to distinguish 15 plus or minus general drawing methods which have been used by each group following different frequencies. On the other hand, one can construct the adopted strategies hierarchies for drawing various types of constructions ; those strategies are plus or minus general according to their adoption's frequency and the number of geometrical constructions' types they allow to draw. Finally, several systems of reference have been used, plus or minus frequently by each group, to define the constructions in relation to the drawing sheet's frame. With this study, several drawer's needs which have to be satisfied by computer aided drawing systems, can be defined.

TABLE DES MATIERES

I - Présentation de l'étude 1

II - Objectifs 2

III - Méthodologie 2

A. Tâche expérimentale 2
B. Dessin à reproduire 3
C. Procédure 7
D. Consignes 9
E. Sujets 10
F. Données recueillies 11
Résumé 11

IV - Résultats 12

A. Trois niveaux d'analyse : les stratégies, les procédures et les méthodes de dessin 12
Représentation graphique des trois niveaux d'analyse..... 13
B. Méthodes de dessin utilisées 15
1. Présentation 15
2. Statut de chaque méthode de dessin 16
. Profil d'utilisation et hiérarchie des méthodes de dessin 19
3. Fréquence d'utilisation de chaque méthode de dessin. 20
Conclusions..... 24
C. Procédures et stratégies adoptées pour dessiner chaque type de constructions géométriques 25
1. Importance relative des stratégies adoptées pour dessiner 27
. Stratégies communes pour dessiner plusieurs types de constructions géométriques 31
2. Nombre de stratégies et de procédures différentes adoptées pour dessiner chaque type de constructions géométriques 33
Conclusions..... 34
D. Référentiels 34
1. Présentation des référentiels 35
2. Fréquence d'utilisation des référentiels selon les groupes 38
Conclusions..... 41

Critique et conclusion 41

Références 44

Annexe 1 : Les consignes 45
Annexe 2 : Présentation des méthodes de dessin utilisées ... 49
Annexe 3 : Les stratégies adoptées pour dessiner chaque type de constructions géométriques 59
Annexe 4 : Besoins du dessinateur devant être satisfaits par des systèmes informatiques interactifs d'aide à l'élaboration de dessins 79

I - PRESENTATION DE L'ETUDE

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche dont le but est d'apporter des données sur le fonctionnement du dessinateur au travail et de contribuer ainsi au développement de systèmes informatiques interactifs d'aide à l'élaboration de dessins afin que ces derniers soient bien adaptés au fonctionnement des dessinateurs. Elle fait suite à trois recherches (Robert 1980 a, b, c) qui ont mis en lumière divers aspects des comportements et de l'organisation de l'activité de dessinateurs professionnels travaillant de façon traditionnelle (1).

Cette étude permet d'élargir le champ du programme de recherche présenté ci-dessus en ne s'intéressant plus seulement à ces dessinateurs mais à deux autres groupes également : les dessinateurs travaillant au moyen de systèmes informatiques (2) et les sujets naïfs en dessin (n'ayant ainsi aucune formation en la matière). Il s'agit donc, en ce sens, d'une étude exploratoire. Des comparaisons peuvent alors être établies à plusieurs niveaux entre ces divers groupes et permettre l'identification de caractéristiques respectives de l'activité de chacun. De plus, il convient de s'intéresser aux sujets naïfs d'une part, en tant qu'utilisateurs potentiels des systèmes informatiques graphiques : un certain nombre d'exigences de base devant être satisfaites par de tels systèmes peuvent ainsi être définies.Et de s'intéresser aux utilisateurs de ces systèmes d'autre part, car ils sont susceptibles de procéder différemment, vu les possibilités et les contraintes amenées par ces derniers. On pourra ainsi identifier des répercussions de l'utilisation de ces systèmes sur le travail des dessinateurs, ou formuler des hypothèses en ce sens.

Enfin, précisons que l'étude porte sur le dessin bidimensionnel, à l'instar des recherches précédentes.

---

(1) Ils dessinent au moyen de l'équipement traditionnel : table à dessin, crayon, compas, équerre, etc. On parlera en ce sens des dessinateurs traditionnels.

(2) Il s'agit de systèmes informatiques graphiques interactifs. On parlera ici des dessinateurs par informatique.

II - OBJECTIFS

Cette étude a pour objet l'analyse fine du processus d'écriture du dessin. Elle vise en ce sens à identifier et analyser l'ensemble des moyens mis en oeuvre pour dessiner, à définir leur statut respectif, à faire ressortir les différences inter-groupes pouvant exister au niveau des fréquences d'utilisation de ces moyens et mettre ainsi en lumière les modes de fonctionnement des divers groupes de sujets. Le terme "moyens" est pris ici dans un sens large, renvoyant aussi bien aux stratégies, aux procédures et aux méthodes de dessin adoptées pour dessiner qu'aux référentiels utilisés pour situer les constructions géométriques par rapport au cadre de la feuille et préciser s'il y a lieu, certaines de leurs caractéristiques. Ces termes sont définis plus loin.

L'étude va ainsi permettre d'identifier un certain nombre de besoins des dessinateurs devant être satisfaits par leurs systèmes informatiques interactifs d'aide au dessin.

III - METHODOLOGIE

A. Tâche expérimentale

La tâche expérimentale consiste à reproduire un dessin par personne interposée : il s'agit donc d'une tâche de guidage ou de "faire faire" à l'instar de celle retenue au cours de la recherche précédente (1). Celle-ci oblige le sujet à préciser à haute voix et de façon exhaustive les données jugées nécessaires à la reproduction du dessin original. Il devient ainsi possible de suivre son cheminement pas à pas au cours du dessin de chaque construction géométrique.

Il s'agit aussi d'une tâche de copie qui est vraisemblablement la tâche la plus simple de l'élaboration du dessin technique puisqu'il n'y a pas à proprement parler de problème à résoudre.

---

(1) Robert (1980c) : op. cit. Cette tâche fait penser à certains égards à la célèbre expérience de H.J. Leavitt et R.A.H. Muller (1955 : voir Muchielli 1978) connue sous le nom de "expérience des rectangles de Leavitt". Celle-ci consiste à faire dessiner une série de rectangles à des sujets-récepteurs à partir des commandes verbales d'un sujet-émetteur, avec ou sans feedback de la part des sujets. Elle porte sur l'effet du feedback dans la communication, ce qui ne fait pas partie du champ d'intérêt de la présente étude.

Elle est d'ailleurs souvent confiée au dessinateur le moins qualifié du bureau de dessin, soit le calqueur (1). On ne cherche pas à élaborer le dessin d'un nouvel objet, ni à modifier un dessin déjà existant; il n'y a ni calcul, ni recherche de données, ni brouillon à faire et aucune décision relative aux caractéristiques techniques du dessin (format, échelle(s), vue(s) à élaborer, types et caractères des traits) n'est nécessaire.

Enfin précisons que la simulation a été préférée à l'étude en temps réel pour mener cette recherche en raison de la procédure expérimentale adoptée (présentée plus loin) et des sujets participant à l'étude. De plus, la simulation permet de :

- soumettre une même tâche à tous dans les mêmes conditions : on exerce ainsi un meilleur contrôle de la situation expérimentale;
- expérimenter hors position de travail : on peut ainsi enregistrer les verbalisations du sujet en toute tranquillité.

B. Dessin à reproduire

Deux critères principaux ont permis de définir le dessin retenu pour cette étude ; celui-ci devait :

- être également compréhensible pour tous les sujets, qu'ils soient naïfs en dessin ou dessinateurs professionnels spécialisés dans l'un ou l'autre domaine (mécanique, électricité, génie civil, aménagement, ...).

Le signifié du dessin devait donc être le même pour tous, dans la mesure du possible. C'est pourquoi le dessin est simple et indépendant c'est-à-dire ne requiert pas la consultation d'autres dessins pour être compris (ce qui aurait pu provoquer des différences de compréhension selon les sujets ainsi que des délais de consultation plus ou moins longs). Il a été présenté dans un contexte significatif où il représente le plan de rues et de bâtiments définissant quelque partie d'une agglomération urbaine.

---

(1) "Il calque proprement à l'encre ou au crayon des dessins, traits, lettres et chiffres bien dessinés. Il ne fait pas d'erreur de copie" (Chevalier 1980).

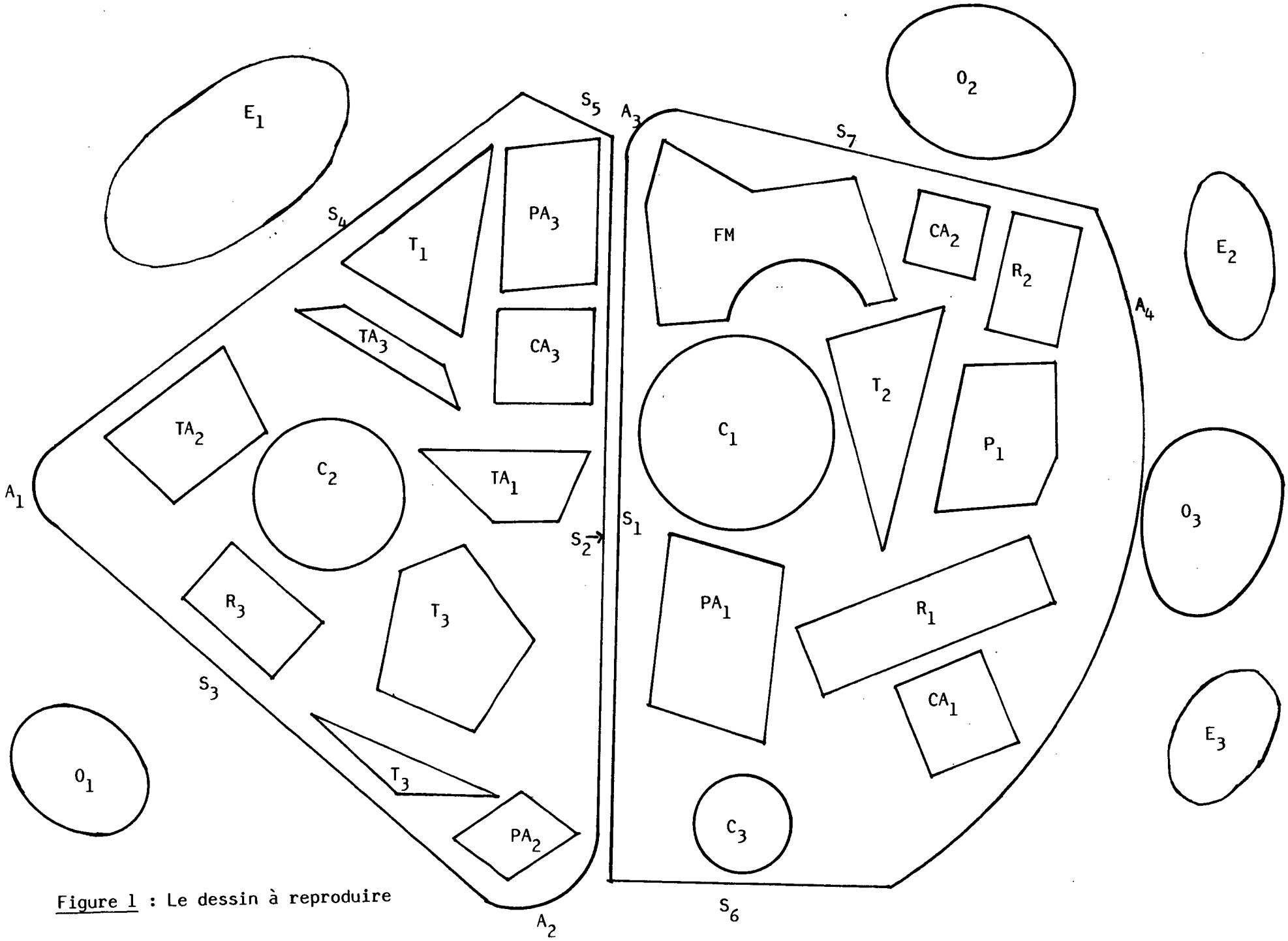


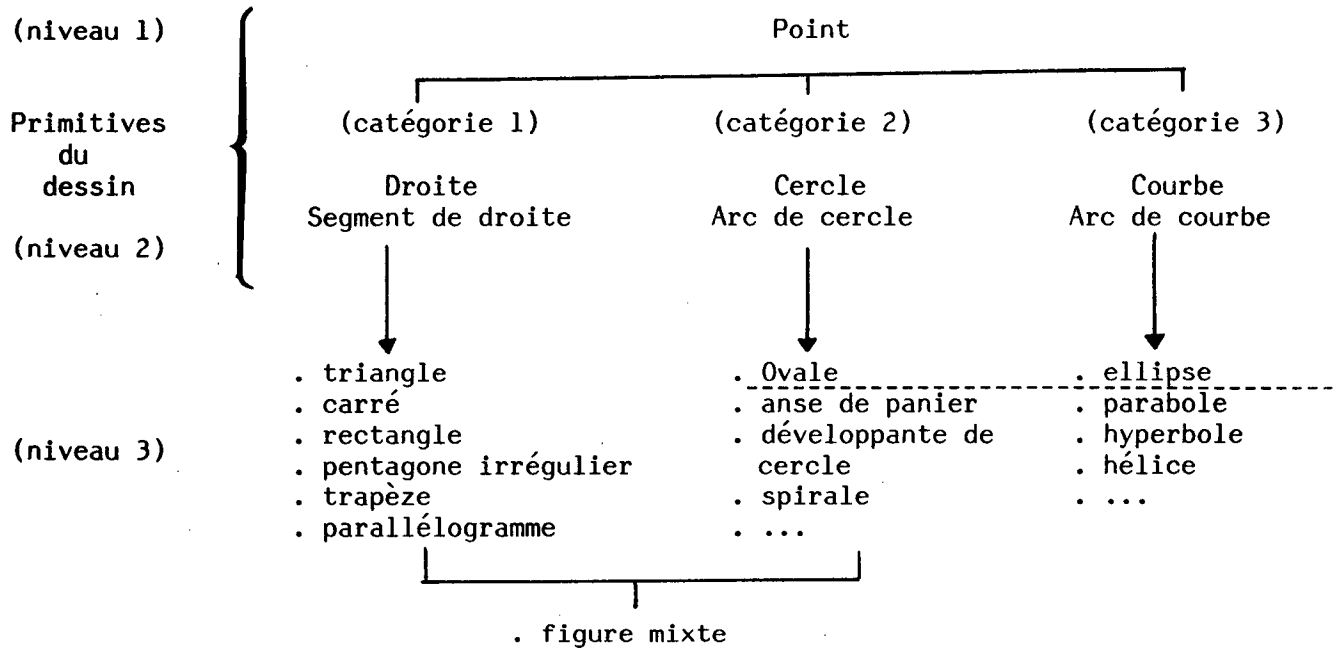
Figure 1 : Le dessin à reproduire

. comprendre plusieurs constructions géométriques différentes par leurs formes, leurs dimensions et leurs positions, parmi lesquelles se retrouvent les diverses primitives du dessin généralement reconnues : le point, la droite, le segment de droite, le cercle, l'arc de cercle, la courbe, l'arc de courbe.

Contrairement au dessin technique, ce dessin ne comprend aucun élément de texte, aucune cote, aucun symbole et les traits à tracer sont tous du même type et de même caractère. On ne retient donc que des entités graphiques proprement dites.

De plus, la reproduction du dessin selon la procédure ne devait pas nécessiter une durée de travail supérieure à 90 minutes afin d' éviter une séance trop longue pour les sujets.

Nous avons élaboré un dessin satisfaisant l'ensemble de ces critères (voir figure 1). Il se compose d'une série de constructions géométriques considérées comme les tracés de base les plus usuels par les auteurs de nombreux guides ou aide-mémoire de dessin technique (Chevalier 1980, Delebecque 1978, Norbert et Philippe 1976, Prenzel 1978, Ribérol 1973). Ces constructions peuvent être classifiées de la façon suivante :



Ainsi, l'entité graphique du niveau 1 sert à réaliser le dessin des entités du niveau 2 qui servent à leur tour à réaliser celui des entités du niveau 3.

Plusieurs constructions géométriques formées à partir des primitives des catégories 2 et 3 ne font pas partie du dessin à reproduire : anse de panier, développante de cercle, spirale, parabole, hyperbole, hélice. Elles ont été écartées parce que ne pouvant être dessinées sans aide, même par des dessinateurs professionnels. Ce qui fait que les constructions géométriques de chaque catégorie sont représentées en nombres fort inégaux au sein du dessin. Ce dernier comprend ainsi :

- plusieurs types de constructions géométriques de la catégorie 1 :
  - segments de droite (S_1 à S_7)
  - triangles (T_1 à T_3)
  - carrés (CA_1 à CA_3)
  - rectangles (R_1 à R_3)
  - pentagones irréguliers (P_1 à P_3)
  - trapèzes (TA_1 à TA_3)
  - parallélogrammes (PA_1 à PA_3)

- trois types de la catégories 2 :
  - arcs de cercle (A_1 à A_4)
  - cercles (C_1 à C_3)
  - ovales (O_1 à O_3)

- un type de construction géométrique mixte (catégories 1 et 2) :
  - figure mixte (formée de plusieurs côtés (segments) et d'un arc de cercle) (FM)

- un type de la catégorie 3 :
  - ellipses (E_1 à E_3)

On remarque que chaque type de constructions géométriques est représenté plusieurs fois, à l'exception de la figure mixte (FM), ce qui permet de faire varier les dimensions, la position et l'emplacement des tracés.

Ordre de reproduction du dessin

Tous les sujets ont reproduit le dessin suivant le même ordre :

1. segments de droite : S_1 à S_7
2. arcs de cercle : A_1 à A_4

Ces deux types de constructions géométriques correspondent aux éléments de structure du dessin : ils définissent le cadre de référence de l'objet à représenter ou la structure de celui-ci. Dans le contexte où est présenté le dessin, ils forment le plan des rues qui encadrent plusieurs bâtiments (polygones et cercles).

3. cercles : C_1 à C_3
4. triangles : T_1 à T_3
5. carrés : CA_1 à CA_3
6. rectangles : R_1 à R_3
7. pentagones irréguliers : P_1 à P_3
8. figure mixte : FM
9. trapèzes: TA_1 à TA_3
10. parallélogrammes : PA_1 à PA_3
11. ellipses : E_1 à E_3
12. ovales : O_1 à O_3

Ces types de constructions géométriques correspondent aux figures du dessin. Ils représentent ici des bâtiments ayant diverses formes, dimensions et positions.

C. Procédure

La procédure expérimentale est la suivante :

- le sujet (S) a la feuille de dessin originale (figure 1) entre les mains ; il a pour tâche de faire reproduire le dessin à la même grandeur, à l'emplacement équivalent et selon la même position, en transmettant sous une forme uniquement verbale toutes les informations jugées nécessaires. Il dispose des instruments de dessin suivants : crayon, gomme, règle, compas et rapporteur d'angles.

. L'expérimentateur (E) exécute les commandes verbales en les traduisant graphiquement sur un tableau situé en face de S :
  - si la commande porte à confusion parce qu'incomplète ou imprécise, E l'exécute en commettant l'erreur suggérée par la confusion : S est alors contraint d'être le plus rigoureux possible ;
  - si la commande ne peut être exécutée parce qu'incomplète, E dit qu'il ne peut passer à l'action ou que les données sont insuffisantes ;
  - si S ne peut compléter la commande de lui-même, E lui pose une question.

. Suite à la reproduction de chaque construction géométrique, E demande à S de procéder selon une manière différente pour dessiner la construction géométrique suivante (1).

. Tous les éléments de structure sont dessinés (segments de droite et arcs de cercle) alors que les figures ne sont pas obligatoirement toutes reproduites :
  - S fait dessiner autant de figures de chaque type (cercles, triangles, carrés, ...) qu'il connaît de façons différentes de procéder ; il passe au type de figures suivant quand il affirme ne plus connaître d'autres façons de faire.

Au fur et à mesure que progresse la séance de dessin, il faut s'attendre d'une part, à une baisse graduelle du nombre de façons de faire différentes et d'autre part, au fait que certaines figures ne soient pas dessinées, dû à l'épuisement pour chaque sujet du nombre de "solutions" différentes pouvant être proposées.

---

(1) Nous sommes restés volontairement imprécis sur les manières différentes de procéder : celles-ci peuvent se situer à plusieurs niveaux différents comme nous verrons plus loin, concernant aussi bien les stratégies que les procédures et les méthodes de dessin.

Exemple :

Nombre de constructions géométriques
dessinées par chaque sujet

	Constructions géométriques					
	Eléments de structure		Figures			
Sujets	Segments de droite	Arcs de cercle	Cercles	Triangles	....	Σ TOTALE
1	7	4	6	5	...	40
2	7	4	2	3	...	27
3	7	4	1	3	...	29
4	7	4	1	2	...	22
...	7	4	...	...	...	...
	Idem pour tous les sujets		Variables selon les sujets			

La séance d'expérimentation est donc plus ou moins longue selon les sujets et permet de dessiner des nombres différents de figures. Pour chacun, elle met en jeu un véritable processus de recherche de façons de faire différentes.

D. Consignes

Elles ont été lues simultanément par le sujet et l'expérimentateur qui répondait aux questions au fur et à mesure ; elles sont présentées à l'annexe 1.

E. Sujets

Douze sujets participent à cette expérimentation. Ils forment trois groupes dont les caractéristiques sont les suivantes :

Groupes	1	2	3
Types de sujets	Naïfs en dessin	Dessinateurs professionnels	Dessinateurs professionnels
Instruments de dessin utilisés dans la pratique prof.	-	traditionnels	informatiques
Nombres	4	4	4

Ces sujets se différencient par leur niveau de compétence en matière de dessin technique et/ou par les instruments de dessin utilisés au travail (et non pas durant l'expérimentation) :

- les sujets dits "naïfs" en dessin n'ont aucune formation en dessin technique et ne connaissent pas les systèmes informatiques graphiques ;

- les sujets du groupe 2 sont des dessinateurs professionnels dont les niveaux d'expérience varient entre trois et dix ans. Ils utilisent exclusivement les instruments de dessin traditionnels au travail (crayons, règles, compas, équerres, rapporteurs d'angles, ...) ; ils n'ont pas de formation en informatique et ne connaissent pas les systèmes informatiques graphiques ;

- les sujets du groupe 3 sont des dessinateurs professionnels dont les niveaux d'expérience varient entre deux et cinq ans. Ils utilisent exclusivement et depuis le tout début de leur vie professionnelle, un système informatique interactif d'aide au dessin.

Les principales caractéristiques de celui-ci sont les suivantes :

- calculateur : PDP 11/35
- programme de base : APPLICON, AGS 770, 2 dimensions
- moyens d'entrée des données :
  - clavier alpha-numérique
  - tablette et stylet interactif
  - tablétizer
- moyens de sortie des données :
  - écran cathodique (visualisation graphique)
  - imprimante (visualisation de caractères alpha-numériques seulement)
  - table traçante.

Deux sujets ont participé aux séances de pré-recueil de données : un dessinateur traditionnel et un dessinateur par informatique.

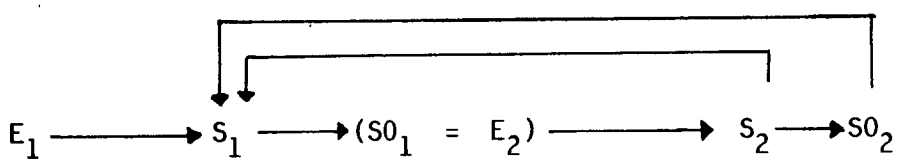
F. Données recueillies

Les seules données recueillies tout au long de la séance d'expérimentation sont les verbalisations du sujet et de l'expérimentateur enregistrées par magnétophone. Celles-ci sont transcrites afin de permettre leur analyse.

Aucune évaluation n'a été faite du caractère plus ou moins économique et réaliste de chaque procédure suivie par les sujets, ni des qualités techniques du dessin élaboré.

RESUME

Le modèle suivant résume l'organisation de cette expérimentation :



E1 : entrée 1	:	le dessin à reproduire (donc, sous forme graphique)
S1 : sujet 1	:	le sujet participant à l'expérimentation
SO1: sortie 1	:	les commandes verbales du sujet
E2 : entrée 2	:	les commandes à exécuter (le dessin à reproduire sous forme verbale)
S2 : sujet 2	:	l'expérimentateur
SO2: sortie 2	:	le dessin fait par l'expérimentateur

Puisque les commandes verbales sont traduites graphiquement sur un tableau situé en face du sujet, il se produit un retour d'informations visuelles du dessin proprement dit au sujet, d'où la flèche S02 à S1. Et puis comme l'expérimentateur transmet des informations verbales au sujet dans certains cas (voir la procédure), il se produit un retour d'informations verbales de celui-ci au sujet, d'où la flèche de S2 à S1. Il s'agit là de deux boucles de régulation de l'activité du sujet.

IV - RESULTATS

A. Trois niveaux d'analyse : les stratégies, les procédures, les méthodes de dessin

L'analyse des protocoles verbaux a permis d'identifier trois niveaux d'analyse différents dans les façons de faire des sujets pour dessiner les constructions géométriques :

1. Stratégie : ce terme désigne la manière d'agir générale pour dessiner une construction géométrique donnée :

   Exemples :

   . dessiner un segment de droite :
   S (le sujet) définit les deux points-limites.

   . dessiner un cercle :
   S définit le point central et donne la valeur numérique du rayon.

2. Méthode de dessin : ce terme est défini ici dans un sens restrictif, désignant les outils de base pouvant être utilisés pour dessiner toute construction géométrique : ils permettent ainsi la mise en oeuvre des stratégies (et des procédures, comme nous verrons ci-après).

   Exemples :

   . dessiner un segment de droite (même stratégie que ci-dessus).
   S définit un point par coordonnées cartésiennes absolues et l'autre point par coordonnées polaires relatives.

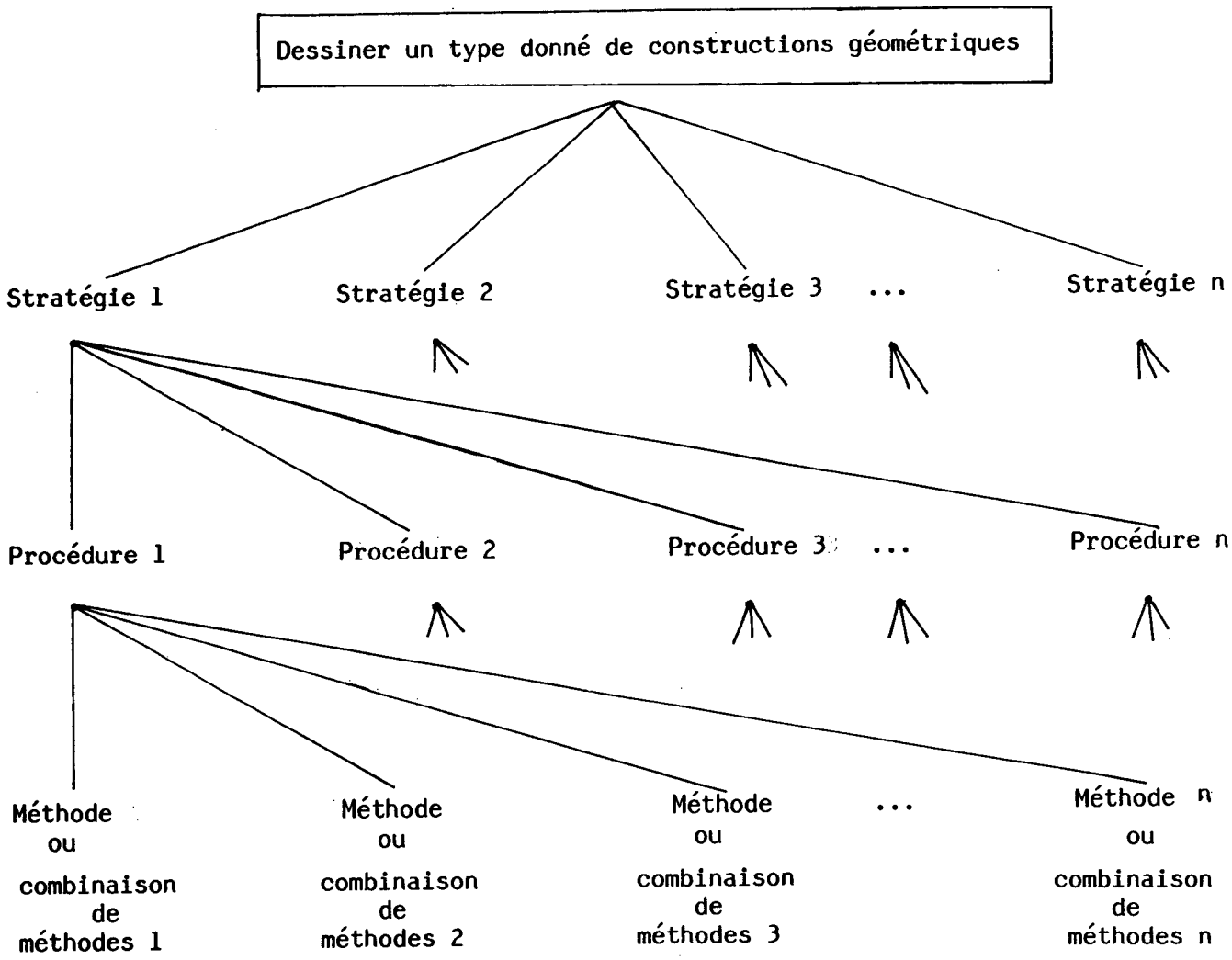
. dessiner un cercle (même stratégie que ci-dessus) : S définit le point central par coordonnées cartésiennes relatives.

3. Procédure : ce terme désigne une façon particulière de traduire une stratégie donnée pour dessiner une construction géométrique. Une procédure se caractérise par les aspects suivants :
   . le choix des méthodes de dessin utilisées
   . la fréquence d'utilisation de chacune
   . l'ordre suivant lequel elles sont utilisées (ce qui définit le déroulement de la procédure)
   . les informations relatives à chaque méthode utilisée, qui ont été transmises par le sujet à l'expérimentateur au cours de la séance de dessin.

   Exemple :
   . dessiner un segment de droite (même stratégie que ci-dessus):1 CCA + I CPR
     - choix des méthodes : coordonnées cartésiennes absolues (CCA)
       " " : coordonnées polaires relatives (CPR)
     - fréquence : on utilise une fois les CCA et une fois les CPR
     - ordre : le premier point est défini par CCA et le second, par CPR
     - informations transmises : lier les deux points par un segment.

Représentation graphique des trois niveaux d'analyse

Une stratégie peut donc se traduire ou se manifester par une ou plusieurs procédures différentes qui mettent nécessairement en jeu une ou plusieurs méthodes de dessin. On obtient ainsi la structure suivante :



Nous présentons en premier lieu les méthodes de dessin identifiées au cours de cette étude, leur statut respectif et leur fréquence d'utilisation par chaque groupe de sujets ; puis en second lieu, les stratégies et procédures adoptées pour dessiner chaque type de constructions géométriques, leur importance relative et leurs principales caractéristiques.

B. Méthodes de dessin utilisées

1. Présentation

L'analyse des protocoles a permis d'identifier un total de 15 méthodes pouvant être utilisées pour dessiner. Nous donnons ici une définition succinte des moins connues (voir annexe 2 pour une définition détaillée et une illustration de chacune) :

- les coordonnées (famille des méthodes) :
  - . coordonnées cartésiennes absolues - CCA -
  - . " " relatives - CCR -
  - . coordonnées polaires absolues - CPA -
  - . " " relatives - CPR -
- les points de référence - PR -
  Cette méthode consiste à définir un (ou des) point(s) rattaché(s) à quelque entité graphique déjà existante. Le point fait partie de cette dernière ou se situe dans son prolongement.
- les équations mathématiques
  Cette méthode consiste à dessiner des constructions géométriques (autres que le point) au moyen d'équation(s) mathématique(s).
- les constructions - constr. -
  Il s'agit d'entité(s) graphique(s) supplémentaire(s) utilisée(s) pour dessiner une construction géométrique donnée et qui sont ou peuvent être supprimées une fois le dessin de celle-ci achevé.
  Exemples :
  - . le cercle à partir duquel on dessine un octogone
  - . deux arcs de cercle qui se coupent et définissent un point.
- les opérations (famille de méthodes)
  Le terme "opération" désigne un processus de nature déterminée qui, à partir d'éléments connus, permet d'en dégager un nouveau (Petit Robert). Cet aspect de "nouveauté" sera pris dans un sens très large correspondant aussi bien à la création effective d'un nouvel élément graphique qu'au simple changement de position et/ou d'emplacement d'un élément déjà tracé.

Huit opérations ont été identifiées :

- copie
- symétrie
- translation
- rotation
- transformation
- réunion
- intersection

Et puis malgré la consigne, nous avons accepté cette dernière opération effectuée par plusieurs sujets, qui paraît particulièrement intéressante dans le cadre de l'utilisation de systèmes informatiques graphiques :

- création : elle consiste à faire apparaître sur la surface de dessin une construction géométrique d'une dimension donnée, indépendamment de son emplacement et de sa position.
  Exemple : "Soit un carré de 2cm de côté".

2. Statut de chaque méthode de dessin

Il semble évident que ces diverses méthodes ont des statuts fort différents parce que ne pouvant être toutes utilisées dans les mêmes situations. A partir des protocoles, nous avons ainsi identifié trois critères comprenant plusieurs niveaux chacun, qui permettent de définir ces situations ; nous ne prétendons pas les avoir identifiés de façon exhaustive. Il devient ainsi possible de classifier et hiérarchiser les méthodes selon les situations auxquelles elles peuvent s'appliquer. Chaque méthode apparaîtra ainsi plus ou moins générale en fonction de ce nombre de situations.

1. Le moment de l'utilisation d'une méthode

Les méthodes ne peuvent pas toutes être utilisées à des moments semblables au cours du dessin. Quatre moments différents marquent divers degrés d'avancement du dessin :

a. le tout début du dessin, alors qu'aucune entité graphique n'apparaît encore sur la surface de dessin
b. un premier point a été tracé
c. une construction géométrique autre que le point a été tracée
d. deux constructions géométriques autres que le point ont été tracées.

2. Le mode d'utilisation d'une méthode

Il semble exister deux modes différents selon lesquels les méthodes peuvent être utilisées :

a. isolément ou de façon autonome, i.e. sans dépendance à l'égard d'autres méthodes.
En moyenne, 27% des constructions géométriques dessinées par l'ensemble des sujets l'ont été au moyen d'une méthode unique.
b. de façon combinée avec une ou plusieurs méthodes.
Le complément soit 73%, a été dessiné au moyen de diverses combinaisons de méthodes de dessin.

3. La portée des méthodes de dessin

Les méthodes se distinguent aussi entre elles par les types d'entités graphiques qu'elles permettent de dessiner :

- dessiner un point :
  . des méthodes permettent de dessiner certains points :
    Ex. : copie, symétrie, création, point de référence ;
  . d'autres méthodes permettent de dessiner tout point :
    Ex. : coordonnées et constructions (arcs de cercle qui se coupent).
- dessiner des constructions géométriques :
  . sous certaines conditions : par exemple, celles pouvant être mises sous la forme d'équation(s) mathématique(s), ou ayant une partie symétrique, ou correspondant à la copie d'une construction existante, ...

Tableau 1

Répartition des méthodes de dessin selon les situations où elles peuvent être utilisées (1)

		CRITERES												
		Moments de l'utilisation				Modes d'utilisation		Portée d'une méthode						
								Dessiner un point		Dessiner constructions géométriques				Modifier emplacement ou position
										sous condition		sans condition		
		en tout premier lieu (2)	dès qu'il premier point défini	au moins 1 const. géom. existe	au moins 2 const. géom. existent	isolément	de façon combinée	certain point	tout point	directement	en opérant à partir ...	directement	en opérant à partir ...	
Coordonnées	CCA	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
	CCR		X	X	X	X	X	X	X		X		X	
	CPA	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
	CPR		X	X	X	X	X	X	X		X		X	
	Equation	X	X	X	X	X	X			X	X			
	Point de référence		X	X	X	X	X	X			X			
	Constructions		X	X	X		X	X	X		X		X	
Opérations	Création	X	X	X	X		X	X(3)		X		X		
	Copie		X	X	X		X	X			X			
	Transformation		X	X	X		X				X		X	
	Translation		X	X	X		X							X
	Symétrie			X	X		X(4)	X			X			
	Rotation			X	X		X(5)							X
	Réunion				X		X				X			
	Intersection				X		X				X			

(1) Et non pas celles où elles ont été utilisées

(2) On suppose que les axes XY sont déjà tracés

(3) Possible mais très peu probable en pratique : on utilisera plutôt d'autres méthodes

(4) Il faut définir le point, l'axe ou le plan de symétrie

(5) Il faut définir le point ou l'axe de rotation

- certaines méthodes permettent de réaliser directement un (nouveau) dessin, sans passer par d'autres entités graphiques.
- d'autres méthodes ne permettent que d'opérer à partir de dessins déjà existants.

. sans condition : toute construction géométrique peut ainsi être dessinée.

- ... dessiner directement ...
- ... opérer à partir de dessins existants.

- d'autres méthodes enfin ne permettent pas de dessiner comme tel mais de modifier l'emplacement ou la position d'entités graphiques existantes.

Les niveaux définis au sein des deux premiers critères sont emboîtés de telle sorte que la satisfaction des exigences d'un niveau entraîne celle des niveaux suivants.

Profil d'utilisation et hiérarchie des méthodes de dessin

Le tableau 1 présente la répartition des méthodes de dessin selon les situations auxquelles elles peuvent s'appliquer ; il en ressort la hiérarchie suivante :

Méthodes de dessin	Nombre de situations	
. CCA - CPA	10	
. CCR - CPR	9	
. Equation	8	Profils différents
Création	8	Profils différents
Constructions	8	Profils différents
. Point de référence	7	
. Copie	6	" "
Transformation	6	" "
. Translation	5	" "
Symétrie	5	" "
. Rotation	4	
. Réunion	3	Profils identiques
. Intersection	3	Profils identiques

Les coordonnées se situent donc au niveau le plus général et les opérations au niveau le plus spécifique.

A remarquer que trois groupes de méthodes ont des profils d'utilisation identiques et peuvent donc s'appliquer aux mêmes situations :

1. les coordonnées absolues (CCA - CPA)
2. les coordonnées relatives (CCR - CPR)
3. les opérations "réunion" et "intersection".

3. Fréquence d'utilisation de chaque méthode de dessin

L'intérêt de présenter les fréquences d'utilisation des méthodes réside avant tout dans les comparaisons qui peuvent être établies pour identifier les modes de fonctionnement respectifs des groupes de sujets.

Tableau 2

Fréquence moyenne d'utilisation (en %) de chaque (famille de) méthode(s) de dessin par l'ensemble des sujets

	Familles de méthodes de dessin				
	Coordonnées	Points de référence	Equations	Constructions	Opérations
Fréquence moyenne d'utilisation %	92 (*)	46	1	31	7
Différences inter-groupes	nulles	nulles	nulles	fortes gr.3 < gr.1 et 2	fortes gr.3 > gr. 1 et 2

(*) Ces pourcentages sont calculés à partir du nombre total de constructions géométriques dessinées par chaque sujet : ils traduisent le rapport du nombre de constructions dessinées au moyen (entre autres) d'une méthode donnée sur le nombre total de constructions dessinées. Ils ne sont pas exclusifs puisque le dessin d'une construction géométrique peut donner lieu à l'utilisation de plusieurs méthodes. Enfin, ils ne tiennent pas compte du nombre de fois qu'une même méthode a été utilisée pour dessiner une construction géométrique donnée.

Le tableau ci-contre présente les fréquences moyennes d'utilisation (en %) de chaque (famille de) méthode(s) de dessin par l'ensemble des sujets, et signale les différences inter-groupes qui semblent exister à ce niveau (1).

Il en ressort les principaux résultats suivants :

- La très fréquente utilisation par tous les groupes, des coordonnées pour dessiner (toutes coordonnées confondues).
- L'importante utilisation par ceux-ci de la méthode "points de référence" ayant servi à dessiner près de la moitié des constructions géométriques.
- La très faible utilisation de la méthode "équations" (quatre sujets répartis entre les trois groupes, une fois chacun).
- L'importante utilisation générale de la méthode "constructions " ayant servi à dessiner près du tiers des constructions géométriques. Il existe d'importantes différences inter-groupes au niveau des fréquences d'utilisation : les dessinateurs par informatique ont utilisé cette méthode pour deux fois moins de constructions géométriques (soit 18%) que les deux autres groupes de sujets (37-38%). On constate donc que l'utilisation de systèmes informatiques graphiques semble réduire la nécessité de recourir à cette méthode pour dessiner.
- La faible utilisation générale des opérations pour dessiner. Il existe d'importantes différences inter-groupes au niveau des fréquences d'utilisation : les dessinateurs par informatique ont effectué des opérations pour un plus grand nombre de constructions géométriques (soit 14%) que les deux autres groupes (respectivement 5% et 3%). On constate donc que l'utilisation des systèmes informatiques graphiques semble encourager le recours aux opérations pour dessiner.

Il convient d'analyser de près les fréquences d'utilisation de chaque méthode appartenant aux deux familles suivantes, les coordonnées et les opérations (tableau 3).

---

(1) Etant donné les effectifs extrêmement réduits dont nous disposons, il a été impossible d'utiliser les instruments statistiques de comparaison. On parlera alors de tendances.

Tableau 3

Fréquence moyenne d'utilisation (en %) de chaque méthode faisant partie des coordonnées et des opérations (1)

	Famille de méthodes de dessin											
	Coordonnées				Opérations							
	cartésiennes		polaires		copie	création	symétrie	rotation	translat.	transfor.	réunion	intersec.
	CCA	CCR	CPA	CPR								
Fréquence moyenne d'utilisation (en %)	59	17	1	41	7.5	3	5.5	11	9	18	4	1
	70 (2)		42									
Différences inter-groupes	Import. gr. 2 < gr.1,3	Import. gr.2 > gr.1,3	—	Légères gr.3 < gr.1 et 2	Fortes gr.3 > gr.1,2	Idem (3)	Légères	Fortes gr.3 > gr.1,2	Idem	Idem	Légères	Nulles

(1) Les % ont été calculés de la même façon que pour le tableau précédent.

(2) On ne retrouve pas ici la somme des fréquences d'utilisation des CCA et des CCR puisque les deux types de coordonnées peuvent avoir été utilisés pour dessiner une même construction géométrique.

(3) Idem à la case gauche.

Il en ressort les principaux résultats suivants :

Coordonnées

. De façon générale, les coordonnées cartésiennes ont été plus souvent utilisées que les coordonnées polaires, par tous les groupes. Cela peut s'expliquer vraisemblablement par des raisons d'économie et de facilité d'utilisation : il n'y a pas d'angle à mesurer, ni d'orientation (de l'angle) à définir.

- Au niveau des coordonnées cartésiennes :
  . Les coordonnées absolues ont été plus souvent utilisées que les coordonnées relatives, par tous les groupes. Il existe des différences inter-groupes : les dessinateurs traditionnels ont moins souvent utilisé les coordonnées absolues que les deux autres groupes (44% vs 65,5 et 67,5%) et ont plus souvent utilisé les coordonnées relatives que ces deux groupes (27% vs 12,5 et 11%).
- Au niveau des coordonnées polaires :
  . Les coordonnées relatives ont été beaucoup plus souvent utilisées que les coordonnées absolues (presque pas utilisées) par tous les groupes.

  Il existe aussi des différences inter-groupes : les dessinateurs par informatique ont moins souvent utilisé les coordonnées relatives que les deux autres groupes (32,5% vs 43 et 47%).

Opérations

. Certaines opérations ont été effectuées beaucoup plus souvent que d'autres : ex. : transformation (18%) vs intersection (1%). Bien que ces résultats soient spécifiques au dessin fait ici, cela donne à penser que certaines opérations seraient d'utilisation plus courante que d'autres.

. Il existe de fortes différences inter-groupes au niveau des opérations "copie", "création", "rotation", "translation" et "transformation" : les dessinateurs par informatique ont effectué ces dernières plus souvent que les autres groupes. A noter qu'il s'agit des cinq opérations que les dessinateurs par informatique ont effectuées le plus souvent.
. Il existe des différences inter-groupes importantes au niveau des hiérarchies de fréquence d'utilisation des opérations. On retrouve cependant deux exceptions : l'opération "transformation" qui vient au premier rang chez tous les groupes et l'opération "intersection" qui se classe au dernier rang.

Conclusions

On retiendra les principales conclusions suivantes de l'ensemble de ces résultats :

. 15 méthodes de dessin ont pu être distinguées.
. Elles sont plus ou moins générales selon le nombre de situations différentes où elles peuvent être utilisées.

- Au niveau des coordonnées (pour chaque groupe) :
  . les coordonnées cartésiennes ont été utilisées plus souvent que les coordonnées polaires ;
  . les coordonnées cartésiennes absolues ... plus souvent que les coordonnées cartésiennes relatives ;
  . les coordonnées polaires relatives ... beaucoup plus souvent que les coordonnées polaires absolues.

Les différences inter-groupes portent sur les fréquences d'utilisation à ces divers niveaux.

- Au niveau des autres méthodes :
  - les dessinateurs par informatique (groupe 3) ont plus souvent effectué les opérations que les deux autres groupes : on peut alors faire l'hypothèse que les systèmes informatiques encouragent l'utilisation des opérations pour dessiner ;
  - ces mêmes dessinateurs tendant à utiliser moins souvent la méthode des constructions pour dessiner : on peut faire l'hypothèse que l'utilisation de systèmes informatiques réduit la nécessité de faire appel à cette méthode pour dessiner.

C. Procédures et stratégies adoptées pour dessiner chaque type de constructions géométriques

On se rappellera que la stratégie a été définie comme une manière d'agir générale pour dessiner une construction géométrique alors que la procédure est une façon particulière de traduire une stratégie donnée.

Deux remarques s'imposent concernant ces stratégies :

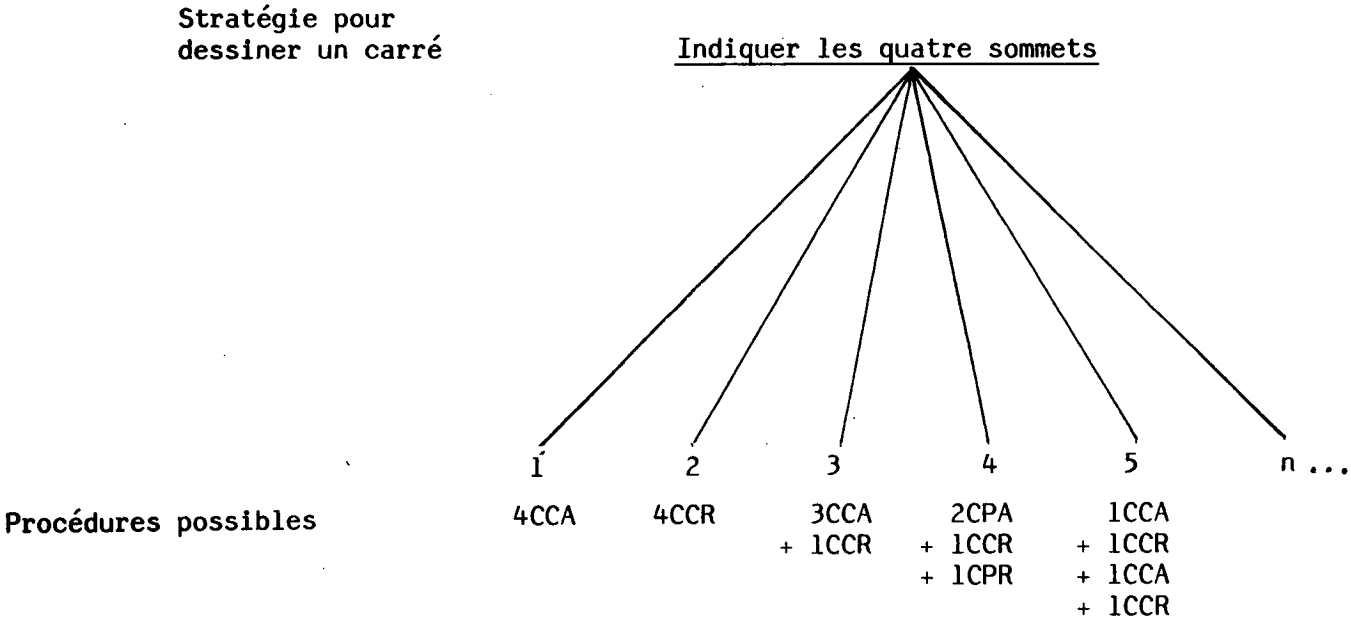
- Celles identifiées ne sont pas nécessairement les seules possibles : il est vraisemblable que d'autres sujets confrontés à la même tâche de dessin adoptent des stratégies différentes. En particulier, des utilisateurs d'autres systèmes informatiques graphiques.
- Le degré de différenciation de celles-ci est variable selon les paires de stratégies comparées ; deux stratégies pourront ainsi apparaître plus rapprochées l'une de l'autre que chacune d'elles par rapport à une troisième.

Pour des raisons de longueur, nous avons convenu de présenter ces stratégies en annexe 3, ainsi que divers renseignements sur chacune d'elles.

Quant aux procédures par lesquelles elles se traduisent, elles se caractérisent comme on l'a vu, par quatre facteurs :

- le choix de méthodes de dessin,
- l'ordre suivant lequel on les utilise,
- la fréquence d'utilisation de chacune,
- les informations transmises en rapport avec chacune (il s'agit des informations transmises par le sujet à l'expérimentateur).

Exemple :



On voit ainsi que chaque procédure se traduit par :

- un choix de méthodes : CCA, CCR, CPA, CPR ;
- un ordre d'utilisation de celles-ci : par exemple, dans la procédure 3, on utilise d'abord les coordonnées cartésiennes absolues, puis les coordonnées cartésiennes relatives ;
- une fréquence d'utilisation de chacune : la procédure 1 donne lieu quatre fois à l'utilisation de CCA, la procédure 4 donne lieu deux fois à l'utilisation des CPA, une fois aux CCR et une fois aux CPR.

Quant aux informations transmises, elles peuvent simplement consister ici par exemple, à lier les points définis par des segments afin de former un carré.

Chaque procédure se traduit ainsi soit par l'utilisation d'une méthode de dessin unique (Ex. : procédures 1 et 2), soit par des allers-retours entre deux méthodes (Ex. : procédure 5), soit par une série de cheminements entre plusieurs méthodes (procédure 4).

Parce qu'elles sont très nombreuses, nous avons omis de présenter la composition des procédures : on s'est contenté de les définir "en compréhension", et nous avons présenté globalement à l'annexe 3, quand nécessaire, les différents types de procédures traduisant une même stratégie.

1. Importance relative des stratégies adoptées pour dessiner

Les stratégies présentées à l'annexe 3 sont hiérarchisées sur la base des quatre principaux facteurs suivants :

. le nombre de procédures par lesquelles chacune se traduit,
. le nombre de groupes ayant adopté chaque stratégie,
. le nombre de sujets l'ayant adoptée,
. et le nombre total d'adoptions par l'ensemble des sujets.

Ces facteurs vont généralement dans le même sens de telle sorte qu'une stratégie adoptée par plusieurs groupes et sujets donnera un plus grand nombre d'adoptions et se traduira par un plus grand nombre de procédures différentes. Quant au rang moyen suivant lequel une stratégie a été proposée, il ne va pas toujours dans le sens de ces facteurs. A partir de ces hiérarchies, on peut se faire une idée de l'importance relative de chaque stratégie au niveau de chaque type de constructions géométriques.

De l'examen de ces hiérarchies, il ressort une nette prépondérance de certaines stratégies par rapport à d'autres :

Exemple : les stratégies 1 au niveau de plusieurs constructions géométriques (tirées de l'annexe 3) :

Constructions géométriques	Stratégies	Nb de procédures	Groupes	Nb de sujets	Nb d'adoptions	Rang moyen
- segments de droite	indiquer directement les 2 points-limites	11	1-2-3	12	59	1,08
- arcs de cercle	indiquer le point central du cercle correspondant à l'arc et les 2 points-limites de l'arc	8	1-2-3	12	30	1,08
- cercles	indiquer le point central du cercle et la valeur numérique du rayon	5	1-2-3	11	15	1,00
- triangles	indiquer directement les 3 sommets	11	1-2-3	11	26	1,18
- ...	...					

Ces stratégies ont été adoptées par les trois groupes de sujets et peuvent en ce sens être qualifiées de générales par opposition aux stratégies spécifiques (adoptées par un seul groupe) ou intermédiaires (adoptées par deux groupes). Un certain nombre d'entre elles, adoptées par tous les sujets ou presque, semblent même correspondre à de véritables stéréotypes de la population : par exemple, les stratégies pour dessiner les segments de droite, arcs de cercle, cercles, etc. (voir ci-dessus). L'écart entre ces dernières et les autres peut être considérable, de même qu'entre plusieurs stratégies prises deux à deux :

Exemple : les stratégies adoptées pour dessiner les arcs de cercle (voir annexe 3) :

Stratégies	Nb de procédures	Groupes	Nb de sujets	Nb d'adoptions	Rang moyen
1. indiquer le point central du cercle correspondant à l'arc et les 2 points-limites de l'arc	8	1-2-3	12	30	1,08
2. indiquer plusieurs points situés sur l'arc dont les 2 points limites	7	1-2-3	8	10	2,38
3. indiquer trois points situés sur l'arc dont les 2 points-limites	2	1-2-3	4	5	3,00
4. indiquer le point central du cercle, 1 point-limite de l'arc et la valeur d'angle de l'arc	1	1-3	2	2	2,00
5. ...					

Quant aux stratégies adoptées par un seul groupe, il est difficile de dire si elles sont véritablement spécifiques à celui-ci, vu notre faible échantillon de sujets et puis aucun élément particulier ne peut porter à croire que la stratégie ne pourrait être adoptée par d'autres groupes. Seulement les quelques stratégies ou procédures suivantes, adoptées exclusivement par le groupe 3, laissent penser qu'elles sont bien spécifiques à ce groupe (dessinateurs par informatique) :

- copier de façon à obtenir un double superposé au dessin initial, puis faire pivoter, déplacer, ... cette copie. Exemple : on obtient les côtés d'un polygone en copiant et faisant pivoter la copie du premier côté tracé.
- dessiner une construction géométrique au point de coordonnées (0,0) (ce point correspondant à un sommet du polygone par exemple), puis déplacer, faire pivoter, ... la construction géométrique.
- dessiner une ellipse en ne définissant que trois points dont deux correspondent aux points-limites du grand axe et l'autre, à un point-limite du petit axe.

On retiendra de ces résultats qu'au niveau de plusieurs types de constructions géométriques, certaines stratégies sont plus générales que d'autres. Celles-ci devraient être considérées en premier lieu et de façon privilégiée lors de la réalisation de systèmes informatiques graphiques.

Deux grandes remarques s'imposent cependant à propos des hiérarchies de stratégies présentées à l'annexe 3 :

- Ces hiérarchies ne peuvent être considérées comme indépendantes les unes des autres parce que les consignes ne permettaient pas aux sujets de faire abstraction des stratégies et procédures proposées jusqu'à ce moment : la façon de faire proposée à un moment donné était donc tributaire de l'ensemble de celles proposées jusque là. Ce qui ne veut pas dire que les consignes n'ont pas été respectées si on retrouve la même stratégie au niveau de plusieurs types de constructions géométriques (voir l'exemple ci-après) puisqu'une stratégie peut se traduire,

comme on sait, par plusieurs procédures différentes.
On peut cependant penser que les sujets ont interprété les consignes en se référant à deux niveaux différents, celui des stratégies et celui des procédures. Ce qui expliquerait pourquoi par exemple un moins grand nombre de sujets au niveau du dessin du rectangle (N=5) qu'à celui du dessin du carré (N=9)(1) a proposé la stratégie consistant à indiquer directement les quatre sommets de la figure, alors qu'on a toutes les raisons de croire que comme pour le carré, la grande majorité des sujets aurait choisi cette stratégie pour dessiner le rectangle.

. Ces hiérarchies ne reflètent pas nécessairement les coûts d'utilisation des stratégies (quantités d'informations utilisées) pour l'une et/ou l'autre des raisons suivantes :

a. les consignes ne demandaient pas aux sujets de s'en tenir à la règle des seules informations nécessaires et suffisantes, de telle sorte qu'un certain nombre de stratégies peuvent comprendre une part d'informations redondantes ou inutiles ;
b. elles ne demandaient pas non plus de procéder de la façon la plus économique à la moins économique : à remarquer que de telles consignes auraient pu paraître difficiles à respecter si l'on tient compte du fait que les sujets étaient placés dans une véritable situation de recherche de "solutions" tout au long de l'expérimentation et que par le fait même, les stratégies et procédures que chacun a proposées n'étaient pas nécessairement toutes connues a priori ;
c. un manque de connaissances des sujets peut faire en sorte que des stratégies faciles et économiques à utiliser soient adoptées par peu de sujets et donc peu souvent.

Exemple de stratégie comprenant des informations inutiles ou redondantes : la stratégie 5 pour dessiner un cercle : on dessine le cercle à partir d'un point (central) et de deux droites auxquelles le cercle est tangent.

---

(1) Le rectangle a été dessiné après le carré.

Il est certain qu'une seule droite suffit, et même un seul point de cette dernière.

Exemples de stratégies plus économiques mais se retrouvant à un niveau hiérarchique inférieur (par rapport aux facteurs nous ayant permis de construire ces hiérarchies) :

1. les stratégies 2 et 3 pour dessiner un arc de cercle (voir annexe 3) :
   Stratégie 2 : indiquer plusieurs points (>3) dont les 2 points-limites de l'arc ;
   Stratégie 3 : indiquer 3 points sur l'arc dont les 2 points-limites.

La stratégie 2 a été adoptée deux fois plus souvent que l'autre et a été proposée plus tôt, en moyenne, au cours du dessin.

2. la stratégie 7 pour dessiner un cercle (voir annexe 3) : dessiner le cercle à partir de trois points sur la circonférence.

Cette stratégie se situe au dernier rang de la hiérarchie des stratégies adoptées pour dessiner cette figure mais s'avère pourtant plus économique que plusieurs d'entre elles, en l'occurence que la stratégie 2 (dessiner un cercle à partir de nombreux points (>3)) adoptée quatre fois plus souvent.

Stratégies communes pour dessiner plusieurs types de constructions géométriques

Parmi l'ensemble des stratégies présentées à l'annexe 3 (N total = 56), neuf permettent de dessiner plusieurs types de constructions géométriques (voir tableau 4) ; elles sont ainsi plus générales que les stratégies spécifiques à un seul type de constructions.

Parmi ces neuf, certaines sont prépondérantes par le nombre de types de constructions auxquelles elles s'appliquent et le nombre de groupes les ayant proposées : en particulier la stratégie 1 adoptée par des sujets de chaque groupe et ayant servi à dessiner tous les types de constructions. Il s'agit en ce sens de la stra-

Tableau 5

Nombre total de stratégies et procédures différentes adoptées pour dessiner chaque type de constructions géométriques (1)

Types de constructions géométriques	Nb de sujets les ayant dessinés	Nb de stratégies différentes	Nb de procédures différentes
segments de droite	12	6	27
arcs de cercle	12	7	21
cercles	12	7	13
triangles	12	5	21
carrés	12	6	28
rectangles	11	7	19
pentagones irréguliers	10	3	16
figure mixte	10	2	13
trapèzes	6	4	7
parallélogrammes	3	2	3
ellipses	12	4	15
ovales	10	3	12

(1) Tenir compte du nombre de sujets et de l'ordre du dessin

L'examen des données du tableau 6 révèle qu'il ne semble pas exister de différences inter-groupes importantes au niveau du nombre de stratégies et procédures différentes adoptées pour dessiner l'ensemble des constructions géométriques.

Tableau 6

Nombres moyens de procédures et de stratégies différentes adoptées dans chaque groupe pour dessiner l'ensemble des constructions géométriques

Groupes	Sujets naïfs	Dessin tradit.	Dessin par infor.
Nb moyens de procédures différentes	2.75	2.49	2.71
Nb moyens de stratégies différentes	1.88	1.58	2.06

tégie la plus générale d'autant que toutes les stratégies comportent la définition de points (90% des procédures débutent par la définition de points). Il convient de noter cependant qu'il s'agit en fait d'une "super-stratégie" regroupant toutes les stratégies qui consistent à définir des points : les 2 points-limites des segments de droite, 2, 3 ou plusieurs points pour un cercle, etc. (voir la note infrapaginale 1 se rapportant au tableau 4). Les autres stratégies ont servi à dessiner différents nombres de types de constructions géométriques et ont été adoptées par peu de sujets de chaque groupe. Elles apparaissent ainsi plus ou moins générales ou spécifiques.

On remarquera que le tableau 4 ne présente pas des résultats théoriques ; si tel était le cas, on verrait que certaines stratégies peuvent servir à dessiner un plus grand nombre de types de constructions. Par exemple, la stratégie 2 : on peut dessiner par copie ou création tous types de constructions.

1. Nombre de stratégies et de procédures différentes adoptées pour dessiner chaque type de constructions géométriques

Les données de l'annexe 3 montrent que plusieurs stratégies et procédures ont été adoptées pour dessiner chaque type de constructions géométriques ; le tableau 5 construit à partir des données de cette annexe regroupe ces nombres. Il en ressort une importante diversité des façons de faire pour dessiner chaque type de constructions.

Conclusions

Les principales conclusions suivantes émergent de ces résultats :

- On retrouve une hiérarchie de plusieurs stratégies pour dessiner chaque type de constructions géométriques (hiérarchie basée sur la fréquence d'utilisation et le nombre de procédures traduisant chaque stratégie).
- Certaines stratégies semblent beaucoup plus générales que d'autres parce qu'adoptées par un plus grand nombre de groupes et de sujets (certaines paraissent correspondre à de véritables stéréotypes de la population) ou encore parce que pouvant servir à dessiner plusieurs types de constructions géométriques.
- Une stratégie se détache nettement des autres par son caractère très général : celle qui consiste à définir n points à partir desquels on dessine la construction géométrique. Les autres stratégies sont plus spécifiques à certains types de constructions.
- Il ne semble pas que la fréquence d'utilisation d'une stratégie soit nécessairement liée à un critère d'économie (évaluée en termes de quantité d'informations utilisées).

D. Référentiels

Ce terme désigne l'ensemble des éléments utilisés pour définir l'emplacement d'une construction géométrique par rapport au cadre de la feuille et s'il y a lieu, préciser ses caractéristiques (ex. : délimiter la longueur d'un segment compris dans une droite de longueur indéfinie que l'on vient de tracer). On cherchera ici à répondre aux questions suivantes :

- quels sont les éléments de référence utilisés ?
- quelle est la fréquence d'utilisation de chacun ?
- est-ce que le référentiel est fixe pour un sujet donné tout au long du dessin, ou au contraire, change-t-il au fur et à mesure que le dessin progresse ?
- existe-t-il des différences inter- groupes au niveau du nombre de référentiels différents utilisés et de la fréquence d'utilisation de chacun ?

Rappelons qu'une recherche antérieure (Robert 1980 c) (1) a montré que les référentiels utilisés par des dessinateurs traditionnels se composent de plusieurs éléments différents (éléments de structure, figures, traits de cote) et changent pour chaque sujet au fur et à mesure que le dessin progresse en fonction de l'emplacement de la nouvelle entité à dessiner. On s'attend donc à ce qu'il en soit de même, du moins pour les dessinateurs traditionnels.

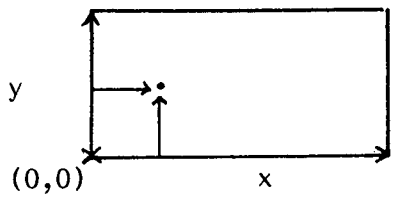
1. Présentation des référentiels

L'analyse des protocoles révèle que plusieurs éléments différents ont été utilisés comme référentiels par chaque sujet et que ceux-ci sont non exclusifs pour une même construction géométrique. Deux raisons principales semblent expliquer cette non exclusivité:

- on peut considérer séparément les éléments qui définissent une construction géométrique donnée, et utiliser divers référentiels pour chacun d'eux ;
- un référentiel peut servir à indiquer l'emplacement de l'élément tandis que d'autres peuvent servir à préciser ses caractéristiques.

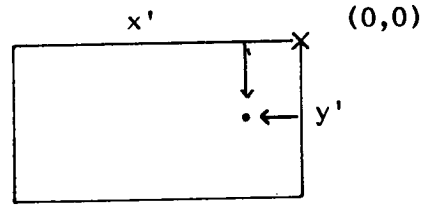
Les référentiels utilisés ici sont les suivants :

- Axes
  - axes X Y : ces deux axes sont définis par la limite inférieure horizontale (X :abscisse et la limite gauche verticale (Y : ordonnée) de la feuille de dessin, le point d'origine (0,0) étant le coin gauche inférieur. On situe alors un point de la façon suivante, en donnant des coordonnées positives (à noter que le tout premier point du dessin doit obligatoirement être défini au moyen de ce référentiel) :

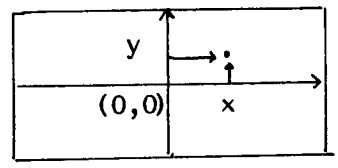


(1) op. cit.

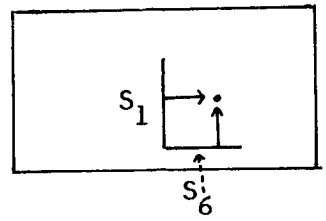
. axes X' Y' : ce sont les côté de la feuille de dessin opposés aux axes XY i.e. définis par la limite supérieure horizontale et la limite droite verticale de la feuille de dessin, le point d'origine étant le coin droit supérieur. On situe alors un point de la façon suivante, en donnant aussi des coordonnées positions :



. axes centraux X Y : ces axes coupent la feuille de dessin en deux parties égales dans le sens de la longueur et de la largeur, le point d'origine (0,0) étant le centre du dessin. On situe un point de la façon suivante, en donnant des coordonnées positives ou négatives :

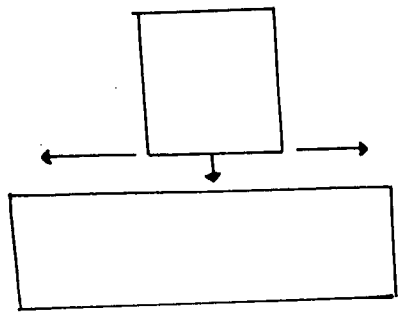


- Eléments de structure : ces entités graphiques définissent la structure ou le cadre de référence du dessin à reproduire (éléments S_1 à S_7 et A_1 à A_4 : voir figure 1). Les éléments de structure utilisés ici comme référentiels sont exclusivement les segments de droite S_1 à S_7 ; chacun a été utilisé plus ou moins souvent par chaque sujet. Ils permettent de situer un point de la façon suivante en indiquant des valeurs positives :

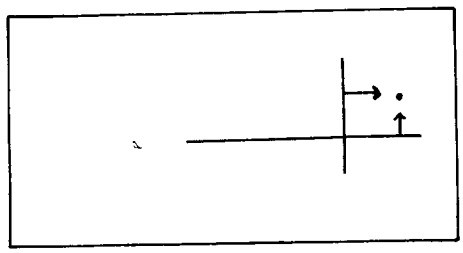


- Figures : ce sont toutes les constructions géométriques apparaissant sur la feuille de dessin originale à l'exception des éléments de structure. On définit l'emplacement d'une figure donnée par rapport à l'un et/ou l'autre composant d'une figure déjà tracée, en indiquant des valeurs positives :

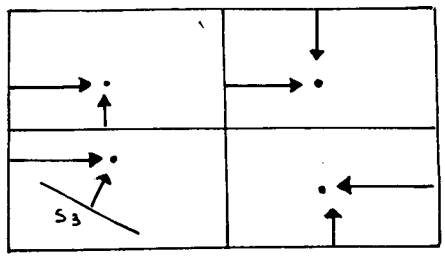
Exemple : un côté du rectangle est parallèle à un côté du carré et situé à 4 mm au-dessous de celui-ci ; la longueur du rectangle est définie par rapport aux sommets du carré.



- Constructions : il s'agit de toute entité graphique ayant été dessinée par les sujets mais ne correspondant pas aux constructions géométriques faisant partie du dessin original (voir les méthodes de dessin). Elles permettent de situer un point de la façon suivante, en indiquant des valeurs positives :



- Référentiel mixte : ce référentiel est constitué de deux éléments pris parmi les précédents, définissant une abscisse et une ordonnée. Toutes les combinaisons d'éléments pris 2 à 2 sont possibles. On indique un point de la façon suivante, en donnant toujours des valeurs positives :



Au total, sept types de référentiels ont donc été utilisés. Parmi eux, trois sont fixes tout au long du dessin, soit les axes (XY, X'Y', XY centraux) et quatre changent au fur et à mesure que le dessin progresse en fonction de l'emplacement de la construction géométrique à dessiner, soit les éléments de structure, les figures, les constructions et le référentiel mixte.

Déjà, on peut affirmer que les résultats de l'étude précédente relatifs aux référentiels sont confirmés puisque plusieurs ont été utilisés par chaque sujet et ceux-ci changent au fur et à mesure que le dessin progresse.

2. Fréquence d'utilisation des référentiels selon les groupes

Les référentiels ont été utilisés suivant des fréquences fort différentes par l'ensemble des sujets. Ils s'ordonnent de la façon suivante (ordre décroissant d'importance) :

. éléments de structure (44%) (1) . axes XY (40%)	très fréquents
. référentiel mixte (9%) axes XY centraux (8%) axes X'Y' (7%)	peu fréquents
. figures (2%) constructions (1,33%)	très peu fréquents

(1) Du nombre total de constructions géométriques reproduites par l'ensemble des sujets.

En moyenne, les deux premiers référentiels ont donc été utilisés beaucoup plus souvent que les autres et les deux derniers l'ont été très peu. Ces résultats valent pour chaque groupe comme le montrent les hiérarchies suivantes basées sur les fréquences d'utilisation.

Sujets naïfs	Dessinateurs traditionnels	Dessinateurs par informatique
Axes XY (37,5%)	Eléments de struc. (57,5%)	Axes XY (58,5%)
Eléments de struc. (37%)	Axes XY (23%)	Eléments de struc. (38%)
Axes XY centraux (17%)	Axes X'Y' (12,5%)	Axes XY centraux (6,5%)
Référentiel mixte (13%)	Référentiel mixte (12%)	Axes X'Y' (2%)
Axes X'Y' (7,5%)	Figures (2%)	Figures (2%)
Figures (2%)	Constructions (1%)	Constructions (1%)
Constructions (2%)	Axes XY centraux (0%)	Référentiel mixte (1%)

Ces hiérarchies mettent en évidence plusieurs différences inter-groupes importantes aux divers niveaux suivants :

- Des fréquences d'utilisation des référentiels
  - les deux premiers référentiels : les sujets naïfs se situent dans une position intermédiaire par rapport aux deux autres groupes dont les résultats sont inverses : ils ont utilisé ces deux référentiels suivant des fréquences équivalentes alors que les dessinateurs traditionnels ont plus souvent utilisé les éléments de structure que les axes XY et inversement pour les dessinateurs par informatique.

. les référentiels "axes" :

- les axes centraux sont moyennement utilisés par les sujets naïfs, peu par les dessinateurs par informatique et aucunement par les dessinateurs traditionnels.
- les axes X'Y' sont peu utilisés par les sujets naïfs, très peu par les dessinateurs par informatique et moyennement par les dessinateurs traditionnels.

. le référentiel mixte : les dessinateurs par informatique ont très peu utilisé ce référentiel contrairement aux deux autres groupes.

- Du nombre de référentiels principalement utilisés
  Si l'on considère les référentiels dont la fréquence d'utilisation est supérieure à 10% (des constructions géométriques dessinées), on voit que les dessinateurs par informatique en utilisent principalement deux alors que les autres groupes en utilisent quatre chacun.

- Du type de référentiels principalement utilisés :
  Contrairement aux dessinateurs par informatique, les deux autres groupes utilisent des référentiels peu formels tels que les axes X'Y' et le référentiel mixte.
  Si l'on considère les axes XY centraux comme une référentiel formel, il appert alors que les dessinateurs traditionnels utilisent le plus les référentiels non formels.

Ces résultats nous autorisent à faire l'hypothèse que l'utilisation des systèmes informatiques graphiques entraîne des changements de fonctionnement des dessinateurs quant à l'utilisation des référentiels : on assiste à une diminution du nombre de référentiels différents principalement utilisés et à l'utilisation de référentiels plus formels (dont une plus forte utilisation des axes XY).

Conclusions

Les principales conclusions suivantes peuvent être tirées de l'ensemble de ces résultats :

- Sept types de référentiels ont été utilisés au cours de la reproduction du dessin : les axes XY , les axes X'Y' les axes XY centraux, les éléments de structure, les figures, les constructions, le référentiel mixte.
- Certains sont fixes tout au long du dessin (les trois systèmes d'axes) les autres changent au fur et à mesure que le dessin progresse : les éléments de structure, les figures, les constructions et le référentiel mixte.
- Deux types de référentiels ont été nettement plus utilisés que les autres par les groupes, soit les éléments de structure et les axes XY , et deux autres types l'ont été très peu, soit les constructions et les figures.
- L'analyse des différences inter-groupes existant au niveau de la fréquence d'utilisation des référentiels met en lumière un résultat qui semble particulièrement intéressant : l'utilisation de systèmes informatiques entraînerait des modifications dans le fonctionnement des dessinateurs, se traduisant par une diminution du nombre de référentiels principalement utilisés et l'utilisation de référentiels plus formels (dont une plus forte utilisation des axes XY).

CRITIQUE ET CONCLUSION

Cette étude avait pour but d'identifier et analyser les moyens pouvant être mis en oeuvre pour dessiner,de définir leur statut et de mettre en lumière les modes de fonctionnement particuliers des divers groupes de sujets.

Même s'il faut être prudent pour tirer des conclusions à cause du faible échantillon de sujets, l'étude n'en apporte pas moins plusieurs données intéressantes sur le processus d'écriture du dessin.

Elle a permis d'identifier trois niveaux d'analyse dans les façons de faire des sujets pour dessiner, soit du plus général au plus particulier, les stratégies (manière d'agir générale pour des-

siner un type donné de constructions géométriques), les procédures (façon particulière de traduire une stratégie) et les méthodes de dessin (outils de base pouvant être utilisés et permettant la mise en oeuvre des procédures et stratégies).

Quinze méthodes de dessin ont pu être distinguées. Elles sont plus ou moins générales quant au nombre de situations différentes où elles peuvent être utilisées. L'analyse de leur fréquence d'utilisation met en lumière deux résultats qui semblent particulièrement intéressants : les dessinateurs par informatique effectuent plus souvent les opérations que les deux autres groupes, et recourent à la méthode "constructions" moins souvent que ces derniers. On peut voir dans ces résultats une influence de l'utilisation de systèmes informatiques graphiques qui modifieraient les modes de fonctionnement des dessinateurs.

L'étude a aussi permis d'identifier les stratégies et procédures adoptées pour dessiner chaque type de constructions géométriques. On voit que plusieurs stratégies ont été adoptées ainsi que de nombreuses procédures : le nombre de procédures possibles peut être considérable si l'on considère toutes les combinaisons possibles des 15 méthodes de dessin, mis à part l'ensemble des informations pouvant être transmises en rapport avec ces méthodes. L'étude a aussi permis de hiérarchiser les stratégies d'après leur fréquence d'utilisation et le nombre de procédures par lesquelles elles se traduisent. Il en ressort que certaines stratégies sont beaucoup plus générales que d'autres parce qu'adoptées par un plus grand nombre de groupes et de sujets (certaines correspondent même en ce sens à de véritables stéréotypes de la population) ou encore parce que pouvant servir à dessiner plusieurs types de constructions géométriques. Une stratégie se distingue nettement des autres par son caractère très général : celle qui consiste à définir n points à partir desquels on dessine l'entité graphique, d'autant que toutes les stratégies passent par la définition de points. Les stratégies générales doivent être considérées en premier lieu ou de façon privilégiée lors de la réalisation de systèmes informatiques graphiques. Enfin, il ne semble pas que la fréquence d'utilisation d'une stratégie soit liée à un critère d'économie (évaluée en termes de quantité d'informations utilisées).

Enfin, l'étude a permis de distinguer sept types de référentiels utilisés pour situer une construction géométrique par rapport au cadre de la feuille ou définir ses caractéristiques. Trois de ces référentiels sont fixes tout au long du dessin alors que les quatre autres changent au fur et à mesure que le dessin progresse en fonction de l'emplacement de l'entité à dessiner. L'analyse des fréquences d'utilisation de ces derniers a mis en évidence d'une part que deux référentiels (axes XY et éléments de structure) ont été plus fréquemment utilisés que les autres par chaque groupe, et d'autre part qu'il existe des différences inter-groupes importantes. Un résultat semble particulièrement intéressant : les dessinateurs par informatique semblent utiliser un moins grand nombre de référentiels différents que les autres ainsi que des référentiels plus formels.

A partir de ces résultats, on peut d'ores et déjà définir quelques besoins du dessinateur devant être satisfaits par des systèmes informatiques interactifs d'aide à l'élaboration de dessins. Ces besoins sont définis en annexe 4.

Les résultats de cette recherche suggère quelques voies de recherche :

- Vérifier les différentes hypothèses formulées au cours de la présentation des résultats.
- Vérifier l'existence d'autres méthodes de dessin auprès d'échantillons de sujets plus importants et confrontés à d'autres problèmes de dessin.
- Analyser finement les modalités de choix et d'utilisation de trois (familles de) méthodes de dessin en particulier : les opérations, les constructions et le calcul.

Et par ailleurs :

- Analyser le travail de dessinateurs utilisant divers systèmes informatiques interactifs d'aide à l'élaboration de dessin ; recencer et analyser les possibilités et contraintes relatives à ces systèmes.
- Vérifier les résultats de cette étude relatifs aux méthodes de dessin utilisées dans des tâches d'élaboration de dessins tridimensionnels.

REFERENCES

Chevalier, A. (1980). - Guide du dessinateur industriel. Hachette Technique, Paris.

Delebecque, R., Chevalier, A., Cluzel, R. (1978). - Dessin de bâtiment 1. Delagrave, Paris.

Muchielli, R. (1978). - Communication et réseaux de communications. Entreprise Moderne d'Edition. Librairies techniques. Les Editions ESF.

Norbert, M., Philippe, R. (1976). - Aide-mémoire de l'élève dessinateur et du dessinateur industriel. Edition nouvelle. La Capitelle, Uzès.

Prenzel, R. (1978). - Dessin d'architecture et technique de représentation. Karl Krämer verlag, Stuttgart.

Ribérol, H. (1973). - Aide-mémoire. Dessin industriel. Delagrave, Paris.

Robert, J.M. (1980a). - Description d'un processus de conception et du travail des dessinateurs. Rapport INRIA-ENSTA, n° EC 8006 R02.

- (1980b). - Expérimentation sur le processus d'élaboration du dessin et les comportements mis en jeu. Rapport INRIA-ENSTA n° EC 8010 R03.

- (1980c). - Expérimentation sur l'écriture du dessin technique. Rapport INRIA-ENSTA, n° EC 8010 R04.

ANNEXE 1

Les consignes

. Vous devez faire reproduire de façon identique le dessin d'une vue de dessus de plusieurs rues et bâtiments définissant quelque partie d'une agglomération urbaine (1). Ce dessin doit être reproduit

. à la même échelle,
. à un emplacement équivalent,
. et selon la même position.

On devrait pouvoir retrouver une correspondance parfaite en superposant le dessin obtenu au dessin original.

. Pour ce faire, vous devrez me transmettre sous une forme uniquement verbale toutes les informations que vous jugerez nécessaires pour assurer la reproduction identique du dessin.

. Je vais traduire graphiquement sur le tableau les commandes que vous me transmettrez.

---

(1) Le sujet a la feuille de dessin originale entre les mains (Fig. 1) et l'expérimentateur lui indique les entités graphiques définissant les rues et bâtiments en question.

ANNEXE 2

Présentation des méthodes de dessin utilisées

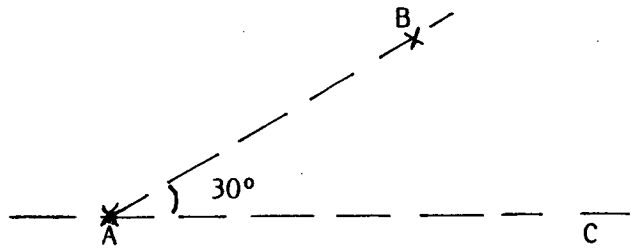
1. Coordonnées

Deux systèmes de coordonnées permettent de définir l'emplacement de tout point et de dessiner de ce fait différentes constructions géométriques :

- le système des coordonnées cartésiennes
- le système des coordonnées polaires

Le premier est bien connu et se passe donc de présentation. Les coordonnées cartésiennes peuvent être absolues ou relatives : elles sont absolues si définies par rapport aux deux axes fixes, l'abscisse et l'ordonnée, et relatives si elles le sont par rapport à une entité déjà dessinée (point, segment, ...).

Selon le second système, l'emplacement d'un point est défini par rapport à un point d'origine appelé pôle ou centre de rotation. Il faut préciser ce point d'origine, la valeur de l'angle (éventuellement trigonométrique : expliqué ci-dessous) que forme le point à tracer par rapport à celui-ci et la distance entre ces deux points. L'exemple suivant illustre l'utilisation de ces coordonnées :



A : pôle ou centre de rotation

B : point à tracer

C : droite de référence fictive ou réelle

30°: valeur de l'angle trigonométrique (positif) c'est-à-dire calculé dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à partir de la droite de référence horizontale.

A remarquer que tous les sujets ont donné des valeurs d'angles positives et négatives, à partir de droites ayant toutes sortes de positions (verticale, horizontale, inclinée).

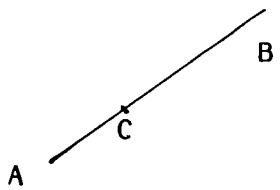
Les coordonnées polaires peuvent aussi être absolues ou relatives.

2. Point de référence (PR)

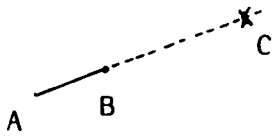
Cette méthode permet aussi de définir l'emplacement d'un point, ce point étant rattaché à une entité graphique déjà existante (segment de droite, polygone, arc de cercle, ...) dessinée au moyen de diverses méthodes.

Le point ainsi défini peut appartenir à cette entité (par ex. : il s'agit d'un point d'un segment) tout comme il peut se situer dans son prolongement. Il peut être désigné par simple référence à celle-ci (par ex. : prendre le point de l'extrêmité supérieure du segment) ou par l'utilisation d'une mesure à partir d'un de ses points (par ex. : prendre le point situé à 12mm de l'extrêmité X du segment). Si le prolongement de l'entité est vertical ou horizontal, le point n'est plus défini par la méthode "point de référence" mais par la méthode "coordonnées cartésiennes relatives".

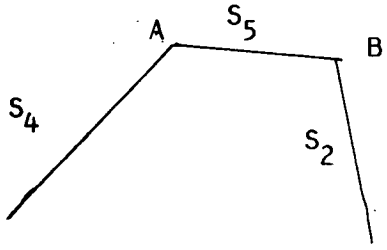
Exemples :



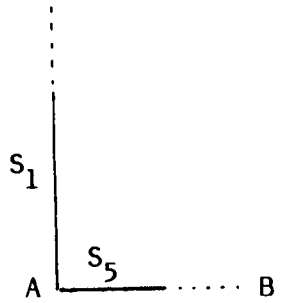
Soit le segment AB. On veut définir le point C appartenant à celui-ci et situé à 12mm du point A : on utilise alors une mesure à partir du point A. C est donc obtenu par la méthode "point de référence".



Soit le segment AB. On veut définir le point C situé à 20mm de B, dans le prolongement de AB : C est obtenu par l'utilisation d'une mesure à partir de B, au moyen de la méthode "point de référence".



Soit les segments S_2 et S_4 déjà tracés. Pour dessiner S_5, il suffit de joindre les extrêmités supérieures de ces derniers par un segment de droite. A et B sont alors obtenus sans l'utilisation de mesure au moyen de la méthode "point de référence".
S_5 est donc défini par 2 PR.



Soit le segment S_1 déjà tracé. Pour dessiner S_5, on peut identifier son point d'origine sur S_1, soit A (PR), et définir le point B par une autre méthode. A est obtenu sans l'utilisation de mesure au moyen de la méthode "point de référence". S_5 sera défini par PR + coord.

3. Equation mathématique

Cette méthode consiste à dessiner une construction géométrique au moyen d'équation(s) mathématique(s) : celle-ci permet alors d'obtenir une série de coordonnées qui une fois reliées, forment une droite, une courbe, un cercle, etc.

Quatre sujets (S_1, S_5, S_6, S_{12}) ont eu recours chacun une fois à cette méthode pour dessiner les deux constructions géométriques suivantes : un segment de droite (1 sujet) et une ellipse. Pour le segment, le sujet a tracé deux nouveaux axes orthogonaux pour définir des coordonnées et a donné l'équation ($Y = aX + b$). Pour l'ellipse, les sujets ont défini l'équation et la valeur de ses termes ($S + S'$ = constante = $2a$) après avoir dessiné le grand axe de la figure et situé deux points fixes correspondant aux deux foyers. L'équation donne la valeur de la somme des distances (S et S') de chacun des points du périmètre de l'ellipse à ses deux foyers.

4. Constructions

En plus de dessiner les constructions géométriques faisant partie du dessin original, tous les sujets ont tracé un nombre plus ou moins important d'entités graphiques supplémentaires qui sont ou peuvent être supprimées, en tout ou en partie, une fois le dessin des constructions géométriques originales achevé. Ces éléments construits qui sont désignés par le terme "constructions" au cours de ce travail peuvent être les mêmes que les constructions géométriques faisant partie du dessin original : droite, segment de droite, cercle, arc de cercle, polygone, etc. Ils peuvent constituer un véritable échafaudage pour le dessin d'une entité et font partie en ce sens des moyens mis en oeuvre par le sujet. L'étude ne per-

met pas cependant de définir leur rôle avec précision : dans certains cas, ces constructions semblent nécessaires pour dessiner une entité graphique donnée (par ex. : pour rechercher le point central d'un cercle dont on ne connaît que deux tangentes), alors que dans d'autres cas, elles semblent en faciliter le dessin.

Quelques exemples de constructions :

- un cercle dans lequel on va tracer un polygone inscrit (ou inversement);
- deux axes perpendiculaires définissant le grand et le petit axe d'une ellipse, à partir desquels on élabore le dessin de cette ellipse ;
- deux arcs de cercle qui se coupent et dont le point d'intersection définit le sommet d'une entité ;
- un point (central par exemple) à partir duquel on définit les sommets d'un polygone ;
- une droite horizontale ou verticale servant de base de référence pour calculer des angles.

Ces constructions sont elles-mêmes dessinées au moyen de l'une et/ou l'autre méthode de dessin, y compris d'autres constructions. Elles sont donc tributaires de l'utilisation d'autres méthodes pour exister et ne constituent pas en ce sens une méthode de dessin autonome (voir tableau 1).

5. Opérations

A. Copie

Cette opération consiste à reproduire le dessin d'une entité donnée un certain nombre de fois et de façon identique. Le sujet doit donc définir l'entité à copier, le nombre de copies à faire, la localisation de chaque nouvelle copie ou le pas de reproduction (par ex. : tous les 15cm).

Dans l'étude réalisée ici, les copies (en un seul exemplaire) portent sur des points, des segments de droite et des polygones ; elles peuvent porter sur toute entité ou groupe d'entités définies par le sujet.

B. Création

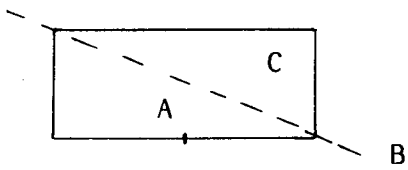
Cette opération consiste à faire apparaître le dessin d'une construction géométrique donnée sur la feuille de dessin en ne tenant pas compte de son emplacement et de sa position, comme s'il s'agissait de "dessiner dans l'absolu", pour utiliser les termes de quelques sujets. Elle correspond à la demande suivante : "Soit la figure X" dont on définit les caractéristiques essentielles : par exemple, la longueur du côté pour le carré, de deux côtés pour le rectangle, de trois côtés pour le triangle, etc. Le sujet qui effectue cette opération suppose donc connu le mode de construction de la figure.

L'emplacement et la position de la figure sont définis dans un deuxième temps.

C. Symétrie

Cette opération consiste à dessiner des entités graphiques identiques (forme, dimensions) mais opposées par rapport à un point, un axe ou un plan donné. Le sujet doit définir l'entité graphique initiale (servant de base à la symétrie) puis le point, l'axe ou le plan de symétrie.

Exemple :



A : entité graphique initiale

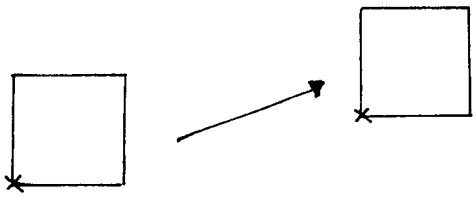
B : axe de symétrie

C : construction géométrique obtenue par symétrie

D. Translation

Cette opération consiste à déplacer une entité (graphique) donnée pour la situer en un nouvel emplacement. Pour ce faire, le sujet doit définir l'entité, un (des) point(s) de référence de celle-ci (par ex. : un point correspondant à un sommet du polygone) et son nouvel emplacement. La translation s'effectue alors en conservant la position initiale de l'entité.

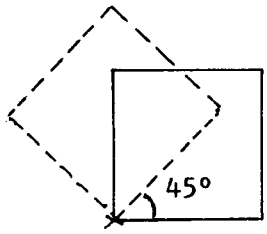
Exemple :



E. Rotation

Cette opération consiste à faire pivoter une entité (graphique) autour d'un point ou d'un axe donné. Pour ce faire, le sujet doit définir l'entité qu'il veut faire pivoter, le point ou l'axe de rotation, le sens et la valeur d'angle de rotation.

Exemple :



L'angle de rotation peut être positif (sens inverse des aiguilles d'une montre) ou négatif.

F. Transformation

Cette opération consiste à modifier la forme et/ou les dimensions d'une construction géométrique par un processus de construction déterminé (homothétie, inversion, rotation, translation, suppression, ajout, etc.) afin de passer à une autre construction géométrique (1). C'est donc dire qu'on ne respecte pas du premier coup la forme et/ou les dimensions du dessin. A noter que la simple suppression du dessin d'une entité graphique sera aussi considérée, par extension, comme une transformation.

Ces modifications ont plusieurs caractéristiques :

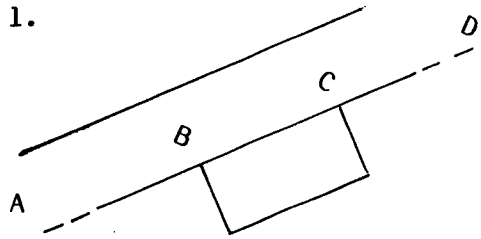
- elles peuvent être plus ou moins nombreuses concernant une construction géométrique donnée ;
- elles peuvent être apportées dès la fin d'un premier dessin ou plus tard au cours de la séance de dessin, en une ou plusieurs étapes ;
- leur degré de complexité peut varier largement, allant par exemple, de la simple suppression d'une entité à la modification de courbure d'un arc de cercle ;

(1) La rotation et la translation portent ici sur des éléments qui composent la construction géométrique que l'on veut transformer et non pas sur la construction géométrique considérée comme un tout.

. elles peuvent porter directement sur des éléments qui forment une figure tout comme elles peuvent toucher des éléments quelque peu externes à celle-ci (voir le premier exemple).

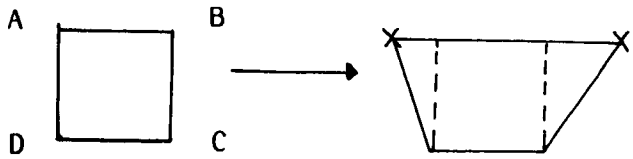
Quelques exemples :

1.



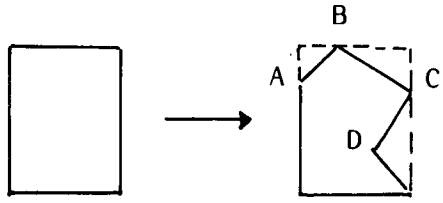
Fréquent. Le sujet trace une droite A de longueur indéfinie et parallèle à un segment donné. Il définit ensuite deux points B et C correspondant à la longueur du côté d'un rectangle et complète le dessin de cette figure. Il supprime enfin les deux segments AB et CD.

2.



Elaborer le dessin d'une figure plus grande et plus complexe à partir de celui d'une figure plus simple. On a pu par exemple, déplacer les sommets A et B de X et Y mm vers la droite et vers la gauche comme si on étirait le carré par ses sommets supérieurs, ou encore faire pivoter les côtés AD et BC de X et Y degrés par rapport aux points C et D.

3.



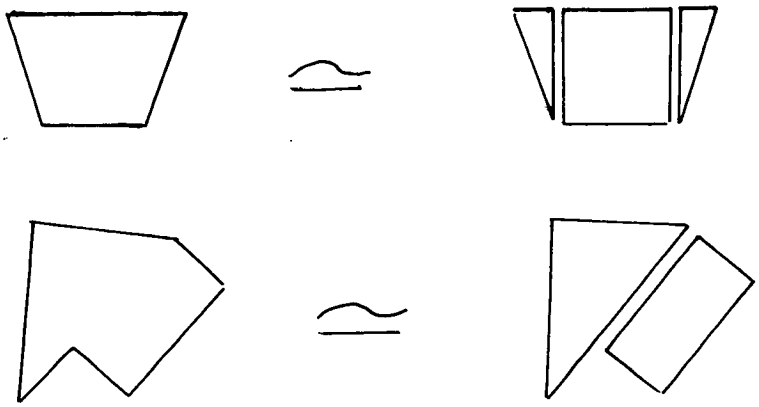
Inversement, élaborer le dessin d'une figure plus petite (cependant plus complexe) à partir de celui d'une figure plus grande comme si on découpait une surface. On a pu par exemple, définir trois points de référence (PR) sur les côtés du rectangle, qui correspondent à des sommets de la nouvelle figure (A,B,C), définir le point D, lier les sommets par des segments de droite et supprimer les parties marquées en pointillées.

G. Réunion

Cette opération consiste à dessiner une construction géométrique donnée en réunissant d'une façon particulière un certain nombre de constructions géométriques plus simples. En ce sens, des polygones plus ou moins complexes peuvent être considérés comme le résultat de la réunion de polygones ou de figures plus simples tels que triangles, carrés, rectangles,...

Par exemple, un trapèze pourra ainsi être fait à partir d'un carré auquel viennent se raccorder deux triangles droits, un hexagone irrégulier à partir de la réunion d'un rectangle et d'un triangle.

Exemples :

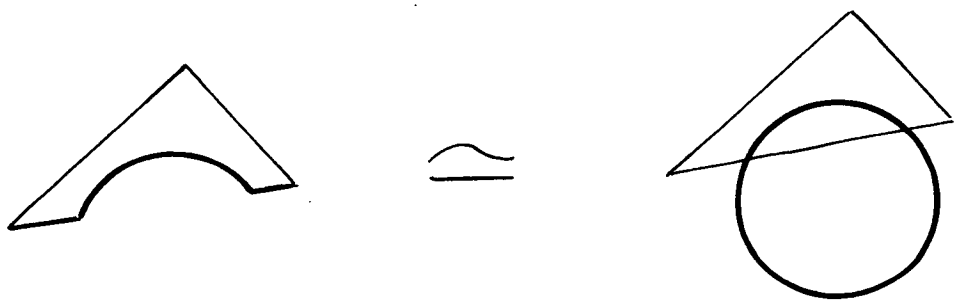


Pour ce faire, le sujet doit définir au moyen d'autres méthodes les figures "de base" servant à composer la construction géométrique recherchée, organiser celles-ci (ex. : par translation, rotation, ...) de manière à obtenir une configuration particulière, puis supprimer éventuellement (donc transformer) les entités graphiques en trop : par exemple, une cloison intérieure de la nouvelle figure obtenue, correspondant à deux côtés de polygones réunis.

H. Intersection

En contre-partie de la réunion existe l'intersection qui consiste à dessiner une figure donnée à partir des dessins de deux ou plusieurs constructions géométriques qui se coupent. A l'instar de l'opération précédente, le sujet doit définir au moyen d'autres méthodes les figures "de base" servant à élaborer le dessin de la construction géométrique recherchée, puis organiser celles-ci (les mêmes opérations que pour la réunion) de manière à obtenir la configuration voulue, et supprimer les parties en trop des figures initiales.

Exemple :



ANNEXE 3

Les stratégies adoptées pour dessiner
chaque type de constructions géométriques

Nous présentons ici les stratégies adoptées pour dessiner chacun des 12 types suivants de constructions géométriques faisant partie du dessin original :

- segments de droite
- arcs de cercle
- cercles
- triangles
- carrés
- rectangles
- pentagones irréguliers
- trapèzes
- parallélogrammes

} Divers polygones

- figure mixte (plusieurs côtés dont un arc de cercle)
- ellipses
- ovales

Nous indiquons pour les stratégies concernées, les différents types de procédures qui traduisent ces dernières.

Tableau 7

Stratégies adoptées pour dessiner les segments de droite

Segments de droite (S)

Il s'agit ici des sept segments de droite définissant la structure du dessin (S_1 à S_7) et ayant été tracés en tout premier lieu.

Stratégies	Nb de procéd.	Groupes	Nb de sujets	Nb adopt.	Rang moyen
1. Indiquer directement les deux points-limites du segment	11	1-2-3	12	59	1.08
2. Indiquer les deux points-limites mais après avoir dessiné un premier segment trop long, devant être transformé	8	1-2-3	6	11	2.16
3. Copier le dessin d'un segment	5	1-2-3	6	10	2.00
4. Faire le dessin symétrique d'un dessin	1	1	2	2	2.50
5. Définir le point central du segment, dessiner des constructions à partir de celui-ci (une droite horizontale, un cercle), donner deux valeurs d'angle à partir de cette horizontale, tracer le segment délimité par la circonférence du cercle	1	1	1	1	3.00
6. Indiquer un point-limite du segment, donner la valeur de l'angle partant de ce point et tracer une droite de longueur indéfinie comprenant le segment recherché ; le deuxième point est obtenu par une droite de longueur indéfinie qui coupe la première droite tracée	1	2	1	1	2.00
	Σ = 27			84	

Stratégie 2

Deux procédures consistent à définir un point par coordonnées, tracer une droite (verticale) de longueur indéfinie passant par celui-ci et définir deux autres points par coordonnées sur cette droite, délimitant un segment de longueur donnée.

Six procédures consistent à indiquer deux points-limites qui définissent un segment trop long, d'où le besoin de définir un ou deux autres points qui délimitent un segment de la longueur voulue.

Stratégie 3

Trois procédures consistent à copier le dessin d'un segment au point de coordonnées (X,Y).

Deux procédures consistent à copier et faire pivoter le dessin du segment autour d'un point-limite de celui-ci (groupe 3 seulement).

A remarquer que tous les dessins de segments obtenus par copie doivent être transformés pour correspondre à la longueur du segment recherché.

Arcs de cercle (A)

Il s'agit ici des quatre arcs de cercle complétant la structure du dessin (A1 à A4) et ayant été tracés après les sept segments de droite.

Tableau 8

Stratégies adoptées pour dessiner les arcs de cercle

Stratégies	Nb de procéd.	Groupes	Nb de sujets	Nb d'adopt.	Rang moyen
1. Indiquer le point central du cercle correspondant à l'arc et les 2 points-limites de l'arc	8	1-2-3	12	30	1.08
2. Indiquer plusieurs points situés sur l'arc, dont les 2 points-limites	7	1-2-3	8	10	2.38
3. Indiquer 3 points situés sur l'arc dont les 2 points-limites	2	1-2-3	4	5	3.00
4. Indiquer le point central du cercle, 1 point-limite de l'arc et la valeur d'angle de l'arc	1	1-3	2	2	2.00
5. Copier le dessin d'un arc, le déplacer, faire pivoter, transformer au besoin	1	1-3	2	2	3.00
6. Indiquer le point central du cercle, la valeur du rayon du cercle et 2 valeurs d'angles qui délimitent les extrêmités de l'arc	1	3	1	2	2.00
7. Indiquer les 2 points-limites de l'arc, la valeur du rayon du cercle correspondant, la zone approximative où se situe le point central du cercle et préciser que les 2 segments déjà tracés sont tangents à l'arc	1	3	1	2	1.00
	21			53	

Stratégies 1 - 2 - 3 - 4 - 6

Les divers points correspondant au point central du cercle et à l'arc proprement dit sont définis soit au moyen de différentes combinaisons de méthodes de dessin, soit par tâtonnement.

Quant aux deux points-limites des arcs, ils sont définis par la méthode des points de référence.

Tableau 9

Stratégies adoptées pour dessiner les cercles

Stratégies	Nb de procéd.	Groupes	Nb de sujets	Nb d'adopt.	Rang moyen
1. Indiquer le point central du cercle et la valeur numérique du rayon	5	1-2-3	11	15	1.00
2. Indiquer plusieurs points sur la circonférence	2	1-2-3	4	4	2.25
3. Indiquer le point central du cercle et un point sur la circonférence	1	2-3	3	3	1.66
4. Dessiner le cercle à partir de 3 droites tangentes à celui-ci	1	1-3	2	2	3.5
5. Indiquer le point central du cercle et dessiner deux droites tangentes au cercle	2	1	2	2	3.5
6. Dessiner le cercle à partir d'un carré circonscrit à celui-ci	1	3	1	1	2.00
7. Dessiner le cercle à partir de 3 points sur la circonférence	1	1	1	1	2.00
	13			28	

Stratégies 4 - 5

Les tangentes sont des droites de longueur indéfinie, verticales ou horizontales.

Triangles (T)

Tableau 10

Stratégies adoptées pour dessiner les triangles

Stratégies	Nb de procéd.	Groupes	Nb de sujets	Nb d'adopt.	Rang moyen
1. Indiquer directement les trois sommets du triangle	11	1-2-3	11	26	1.18
2. Indiquer les coordonnées de 2 sommets du triangle et compléter le dessin par d'autres moyens	4	1-2-3	4	4	1.75
3. Indiquer les 3 sommets du triangle après avoir dessiné une droite de longueur indéfinie comprenant un côté du triangle	3	2-3	3	3	1.33
4. Copier le dessin d'un triangle ou dessiner par création puis déplacer, faire pivoter, etc.	2	2-3	3	3	2.66
5. Dessiner le triangle en traçant 3 droites de longueur indéfinie, ayant différentes pentes et qui se coupent donc	1	2	1	1	2.00
	21			37	

Stratégie 2

Ces moyens sont les suivants : deux procédures consistent à donner les valeurs des deux angles dont les points d'origine sont les extrémités du premier côté tracé.

Deux procédures consistent à copier et faire pivoter le dessin du côté tracé (groupe 3 seulement).

Tableau 11

Stratégies adoptées pour dessiner les carrés

Stratégies	Nb de procéd.	Groupes	Nb de sujets	Nb d'adopt.	Rang moyen
1. Indiquer directement les 4 sommets du carré	9	1-2-3	9	11	1.66
2. Copier le dessin d'un carré ou dessiner par création puis déplacer et faire pivoter le dessin	5	1-2-3	6	7	1.83
3. Définir les coordonnées de 3 sommets du carré et compléter ainsi le dessin, ou définir les coordonnées de 2 sommets et donner l'orientation d'un angle du carré	4	1-2-3	4	4	2.25
4. Dessiner un carré à partir d'un cercle inscrit ou circonscrit	4	1-2	4	4	2.00
5. Indiquer les coordonnées de 2 ou 3 sommets du carré (tracer ainsi 1 ou 2 côtés), et compléter le dessin par d'autres moyens	4	2-3	2	4	1.5
6. Dessiner le carré à partir de segments tracés à l'intérieur de celui-ci	2	1-2	2	2	1.5
	28			32	

Stratégie 1

Une procédure consiste à dessiner le carré au point de coordonnées (0,0), puis à le déplacer et le faire pivoter (groupe 3 seulement). Elle reflète une utilisation d'un système informatique graphique.

Stratégie 2

Les procédures consistant à dessiner par création donnent lieu à la définition de la longueur du côté du carré.

Stratégie 4

Dans le cas du carré inscrit, on a aussi tracé les diagonales pour indiquer les sommets du carré. Dans le cas du carré circonscrit, on a défini un point sur la circonférence du cercle ou en-dehors de celle-ci pour indiquer un des sommets du carré, et on a dessiné quatre tangentes au cercle.

Stratégie 5

Certaines procédures consistent à définir les coordonnées de trois sommets du carré, tracer ainsi un triangle et faire le dessin symétrique de celui-ci.

D'autres procédures consistent à définir les coordonnées de deux sommets du carré, tracer ainsi un premier côté, puis :

- dessiner un segment parallèle et identique à ce côté ;
- élever un segment perpendiculaire au point milieu du premier côté, et à partir de son extrémité, tracer un segment parallèle et identique au premier côté ;
- copier et faire pivoter à deux reprises le dessin du premier côté par rapport à chaque point extrême de celui-ci.

Stratégie 6

Une procédure consiste à tracer le carré à partir de ses diagonales et l'autre, à partir de deux segments perpendiculaires coupant les côtés du carré en deux parties égales.

Tableau 12
Stratégies adoptées pour dessiner les rectangles

Stratégies	Nb de procédu.	Groupes	Nb de sujets (1)	Nb d'adopt.	Rang moyen
1. Indiquer directement les quatre sommets du rectangle	6	1-2-3	5	7	1.6
2. Copier le dessin d'un rectangle ou dessiner par création, puis déplacer et faire pivoter le dessin	5	1-3	4	6	1.5
3. Indiquer les coordonnées de 2 ou 3 sommets (tracer ainsi 1 ou 2 côtés), et compléter le dessin par d'autres moyens	3	2-3	3	3	1.33
4. Dessiner un rectangle à partir d'un cercle circonscrit	2	1	2	2	1.5
5. Définir les coordonnées de 3 sommets seulement et compléter ainsi le dessin	1	1	1	1	1.00
6. Dessiner le rectangle à partir de ses diagonales	1	1	1	1	2.00
7. Dessiner 2 droites parallèles de longueur indéfinie et correspondant aux grands côtés du rectangle, indiquer les coordonnées de 2 sommets du rectangle sur une de ces droites et compléter le dessin	1	1	1	1	3.00
	19			21	

Il s'agit des mêmes stratégies que pour dessiner les carrés, sauf la stratégie 7.

Stratégie 2

Les procédures consistant à dessiner par création donnent lieu à la définition des deux dimensions du rectangle.

(1) Un sujet (S_{10}) n'a pas dessiné cette figure.

Pentagones irréguliers (P)

Tableau 13

Stratégies adoptées pour dessiner
les pentagones irréguliers

Stratégies	Nb de procédu.	Groupes	Nb de sujets (1)	Nb d'adopt.	Rang moyen
1. Indiquer directement les 5 sommets du pentagone	10	1-2-3	7	15	1.00
2. Dessiner le pentagone à partir du dessin d'une figure plus simple circonscrite (carré, rectangle,...) que l'on transforme	5	1-3	5	5	1.4
3. Dessiner le pentagone en réunissant les dessins de plusieurs figures plus simples	1	3	1	1	2.00
	16			21	

(1) Deux sujets (S_7 et S_{10}) n'ont pas dessiné cette figure.

Figure mixte (FM)

Tableau 14

Stratégies adoptées pour dessiner la figure mixte

Stratégies	Nb de procédu.	Groupes	Nb de sujets (1)	Nb d'adopt.	Rang moyen
1. Indiquer directement les sommets de la figure	12	1-2-3	10	13	1.00
2. Dessiner la figure à partir du dessin d'une figure plus simple circonscrite (carré, rectangle, parallélogramme, ...) que l'on transforme	1	1	1	1	2.00
	13			14	

Stratégie 1

Huit procédures consistent à indiquer directement les sommets de la figure, puis le point central du cercle correspondant à l'arc ou un point situé sur ce dernier, en utilisant une méthode de dessin unique (1 procédure : 9 CCA) ou une combinaison de méthodes (par ex. : 1 CCA + 8 CPR, 1 CCA + 2 CPR + Constr. + 2 PR + 4 CPR,...) (7 procédures).

Une procédure consiste à définir les coordonnées des sommets de la figure et de plusieurs points sur l'arc de cercle (total : 12 CCA).

3 procédures consistent à dessiner la figure au point de coordonnées (0,0), puis la déplacer et la faire pivoter (groupe 3 seulement).

(1) Deux sujets (S_6 et S_{12}) n'ont pas dessiné cette figure.

Trapèzes (TA)

Tableau 15

Stratégies adoptées pour dessiner les trapèzes

Stratégies	Nb de procéd.	Groupes	Nb de sujets (1)	Nb d'adopt.	Rang moyen (2)
1. Indiquer directement les sommets du trapèze	2	1-2	3	3	1.33
2. Dessiner le trapèze à partir des dessins de plusieurs figures plus simples (carrés, rectangles, triangles) que l'on réunit	2	1-3	2	2	1.00
3. Dessiner le trapèze à partir du dessin d'une figure plus simple (carré ou rectangle) que l'on transforme	2	3	2	2	1.5
4. Tracer deux droites parallèles de longueur indéfinie comprenant les 2 bases du trapèze, définir 2 sommets du trapèze sur l'une d'elles et donner les valeurs des deux angles dont les points d'origine sont ces deux sommets	1	2	1	1	1.00

(1) Au total, six sujets (deux par groupe) ont dessiné les trapèzes.

(2) Quatre des six sujets ayant dessiné cette figure n'ont adopté qu'une seule stratégie.

Parallélogrammes (PA)

Tableau 16

Stratégies adoptées pour dessiner les
les parallélogrammes

Stratégies	Nb de procédu.	Groupes	Nb de sujets (1)	Nb d'adopt.	Rang moyen (2)
1. Indiquer les sommets du parallélogramme	2	2-3	2	2	1.00
2. Dessiner le parallélogramme à partir du dessin d'une figure plus simple (rectangle) que l'on transforme	1	1	1	1	1.00
	3			3	

Stratégie 1

Une procédure consiste à définir les coordonnées des quatre sommets du parallélogramme (4CPR).

L'autre procédure consiste à définir les coordonnées de deux sommets du parallélogramme, à tracer deux droites verticales de longueur indéfinie passant par ces deux points et à indiquer deux points sur ces deux droites correspondant aux deux autres sommets de la figure. On supprime ensuite les segments de droite en trop et on fait pivoter la figure.

(1) Trois sujets seulement (S_3, S_7, S_{12}) ont dessiné cette figure.

(2) Les trois sujets n'ont adopté qu'une seule stratégie chacun.

Ellipses (E)

Tableau 17

Stratégies adoptées pour dessiner les ellipses

Stratégies	Nb de procéd.	Groupes	Nb de sujets	Nb d'adopt.	Rang moyen
1. Tracer les deux axes de l'ellipse et indiquer une série des points définissant le périmètre de celle-ci	9	1-2-3	7	9	1.14
2. Indiquer directement plusieurs points définissant le périmètre de l'ellipse	2	1-2-3	5	6	1.6
3. Dessiner l'ellipse à partir d'une figure circonscrite (rectangle)	3	1-2-3	3	3	1.33
4. Dessiner l'ellipse à partir de 3 points correspondant aux 2 points-limites du grand axe de celle-ci et à 1 point-limite du petit axe	1	3	3	3	1.33
	15			21	

Stratégie 1

Les points dont il est question ont été définis par les divers moyens suivants :

- par coordonnées polaires relatives, le pôle étant le point de croisement des deux axes de l'ellipse (quatre procédures) ;
- en utilisant une équation mathématique (on a alors situé les deux foyers de l'ellipse) (trois procédures) ;
- en dessinant une série de constructions telles que cercles, droites parallèles ou perpendiculaires aux deux axes de l'ellipse (deux procédures).

Stratégie 2

Une procédure consiste à définir les coordonnées de toute une série de points (plusieurs CCA).

L'autre procédure consiste à définir les coordonnées de huit points à partir de points de référence situés sur un segment (élément de structure).

Stratégie 3

Deux procédures consistent à dessiner l'ellipse à partir d'un rectangle circonscrit à celle-ci.

Une procédure consiste à la dessiner à partir d'un carré circonscrit à un cercle, que l'on transforme en rectangle : le cercle inscrit se transforme simultanément en ellipse. Cette façon de procéder reflète une utilisation d'un système informatique graphique.

Stratégie 4

Cette stratégie suppose donc connu le mode de construction de l'ellipse à partir de ces quelques données (3 points). A remarquer que seuls les dessinateurs par informatique l'ont adoptée : la stratégie reflète donc une utilisation d'un système informatique graphique.

Ovales (O)

Tableau 18

Stratégies adoptées pour dessiner les ovales

Stratégies	Nb de procéd.	Groupes	Nb de sujets (1)	Nb d'adopt.	Rang moyen (2)
1. Tracer l'axe de l'ovale, situer les points centraux des cercles correspondant aux extrémités de l'ovale, etc.	7	2-3	6	7	1.00
2. Indiquer directement une série de coordonnées sur le périmètre de l'ovale	4	1-3	4	4	1.25
3. Tracer l'axe de l'ovale, dessiner une série de droites perpendiculaires à cet axe et indiquer deux points sur chacune de ces droites, qui définissent le périmètre de l'ovale	1	1	1	1	1.00
	12			12	

Stratégie 1

Cinq procédures consistent à définir ensuite les quatre points de rencontre des quatre arcs de cercle formant l'ovale et à tracer les cercles correspondant aux arcs recherchés.

Deux procédures consistent à dessiner ensuite les deux cercles annoncés par les points centraux et tracer divers segments permettant de rechercher les points centraux des deux cercles correspondant aux deux grands arcs de l'ovale.

(1) Deux sujets (S_6 et S_{11}) n'ont pas dessiné cette figure.

(2) Huit sujets sur les 10 ayant dessiné cette figure n'ont adopté qu'une seule stratégie.

Stratégie 2

Une procédure consiste à définir les coordonnées de toute une série de points situés sur le périmètre de l'ovale (12 CCA).

Une autre consiste à définir les coordonnées de huit points choisis "au hasard" sur ce périmètre.

Une autre consiste à définir aussi huit points mais non "au hasard": quatre points correspondent aux points de rencontre des quatre arcs formant l'ovale et les quatre autres points se répartissent entre ces arcs, définissant ainsi un troisième point sur chaque arc.

Une autre enfin consiste à définir quatre points seulement correspondant aux points de rencontre des quatre arcs formant l'ovale.

ANNEXE 4

Besoins du dessinateur devant être satisfaits par des systèmes informatiques interactifs d'aide au dessin

1. Pouvoir utiliser chacune des 15 méthodes de dessin.

   Exemples de possibilités requises :

   - les coordonnées :
     - tracer tout point au moyen des quatre types de coordonnées : CCA, CCR, CPA, CPR ;
     - indiquer les angles aussi bien dans le sens positif que négatif(pour les coordonnées polaires) ;
     - connaître instantanément les coordonnées de tout point qui est désigné.
   - les points de référence :
     - indiquer rapidement la distance entre deux points ;
     - indiquer rapidement le point milieu d'une construction géométrique : ici par exemple, le point milieu d'un segment a souvent été recherché ;
     - indiquer au fur et à mesure que le dessin progresse la longueur de l'entité que l'on est en train de tracer.
   - les opérations :
     - rotation : faire pivoter toute entité graphique aussi bien dans le sens positif que négatif ;
     - transformation : possibilités de rotation, translation, inversion, symétrie, homothétie, ... des entités appartenant à une même construction géométrique.
   - les équations mathématiques :
     - utiliser une (ou des) équation(s) mathématique(s) pour dessiner l'une ou l'autre construction géométrique : droite, ellipse, parabole, hyperbole, ...
   - les constructions :
     - idem au dessin de n'importe quelle construction géométrique que l'on peut supprimer en tout ou partie une fois le dessin terminé de la partie qui intéresse le sujet.

2. Faire une série d'allers-retours ou de passages rapides entre ces ces diverses méthodes.

3. Dessiner une même construction géométrique en adoptant plusieurs procédures et stratégies différentes (procédures qui incluent souvent le dessin d'entités graphiques ayant des propriétés telles que parallèle, perpendiculaire, vertical, horizontal, tangent, ...).

4. Utiliser plusieurs référentiels différents dont certains changent au fur et à mesure que le dessin progresse.

Imprimé en France
par
l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique