

Pierre RABARDEL, Annie WEILL-FASSINA

**Fonctionnalités et compétences :
dans la mise en oeuvre de systèmes graphiques
techniques**

L'explosion actuelle des images sur les supports médiatiques les plus variés interroge le psychologue, l'ergonome et le formateur sur leur conception, leur réalisation, l'acquisition des connaissances nécessaires à leur production et à leur compréhension, leurs utilisations et leur adaptation, en situation de travail, de formation et dans la vie quotidienne. Répondre à ces questions suppose une analyse du statut des graphismes d'un triple point de vue fonctionnel, sémiologique et cognitif. Les images et les graphismes scientifiques et techniques dont il sera question ici constituent *des objets sémiotiques* intégrés dans les tâches complexes. Nous les désignerons sous le nom de *figurations graphiques* pour ne pas entretenir de confusion par rapport aux images et représentations mentales. En tant qu'objets sémiotiques, inscrits dans l'espace graphique, une de leurs caractéristiques essentielles, pour reprendre l'expression de KLAUE (1985), est la dualité des figurations : "Premièrement une figuration est un objet matériel occupant un lieu dans l'espace d'action du sujet et offrant une surface limitée [...] qui laisse apparaître son contenu spécifique. Généralement située devant le sujet, à l'échelle de la main, la figuration peut être aisément manipulée dans un plan stable et orienté. Deuxièmement, une figuration est un objet représentant, qui renvoie à un

autre espace que celui qu'elle occupe en tant qu'objet physique (ou à un autre concept). Elle est le support concret qui rend visible au delà de sa propre matérialité un univers différent". En ce sens, ce sont des représentations externes qui figurent (*portray*), remplacent (*stand for*) et transmettent des représentations mentales concernant un monde réel ou virtuel, présent ou absent.

En tant qu'intégrées à la tâche, ces configurations ont *un caractère fonctionnel par rapport au travail à accomplir* : elles transmettent prioritairement les aspects des objets et des phénomènes utiles à l'action ; par exemple, forme, dimension, matière dans le dessin technique classique, fonctionnement ou structure dans les schémas. L'action désigne ici à la fois des transformations opérées sur la matière (usinage, montage, fabrication) et des opérations mentales de traitement et de création d'informations (résolution de problème, diagnostic, conception). On suppose que, du fait même de leur finalisation, ces actions organisent et sont organisées par les représentations mentales des "opérateurs" (au sens de celui qui opère, qui agit).

La diversité fonctionnelle est à l'origine d'une diversification des systèmes graphiques qui, dans leur contenu et leur expression, s'adaptent aux besoins de l'action et aux représentations mentales qui leur sont liées. Les graphismes ne seront donc jamais copies du "réel" mais transcriptions plus ou moins symboliques ou arbitraires par le jeu d'un double filtre : la nécessité de traduire une représentation mentale sélective et/ou en cours d'élaboration, la nécessité de se soumettre à des règles d'écriture structurées au sein du système sémiotique, compatibles avec une inscription dans un plan, donc dans un espace bidimensionnel.

Dans cette perspective, *il s'agira moins d'exhaustivité que de pertinence par rapport au but poursuivi*, les graphismes étant à la fois supports des représentations et instruments de pensée : "Les graphismes doivent permettre de comprendre la situation de manière fonctionnelle sous l'angle d'une conduite d'utilisation" (OMBREDANE et FAVERGE

1955). Il s'agit donc de transmettre "l'information utile", c'est à dire de répondre "à une question en conservant les données pertinentes à l'action" (BERTIN 1977). On pourrait dire des graphismes ce que PRIETO (1975) dit de la langue : "La structure qui détermine une façon de connaître n'est jamais une structure déterminant simplement cette façon de connaître, mais une structure qui, comme la langue, rend possible en même temps une certaine pratique". En ce sens, les graphismes constituent de véritables langages opératifs dont les caractéristiques seront fonction des domaines, des périodes, des tâches et des individus.

Aussi, l'écriture, la lecture et l'utilisation de tels graphismes ne peuvent se limiter aux formes perceptibles incrites dans l'espace de la feuille ou de l'écran. Ils exigent de la part des opérateurs l'élaboration de compétences spécifiques qui, à leur tour, vont moduler la mise en oeuvre des graphismes et être source de variabilité dans leur compréhension et leurs utilisations.

Notre objectif ici est donc de montrer comment la diversité des contextes, des buts et des expériences convergent vers la création de systèmes graphiques extrêmement divers dont la conception et l'utilisation sont modulées par les besoins de l'action sur le réel ¹.

1. Fonctionnalité des figurations graphiques dans le travail

La fonctionnalité est une caractéristique essentielle des figurations graphiques dans le travail, qui les distingue des figurations illustratives. Les plans, les documents graphiques sont créés et utilisés par un opérateur en tant que sources d'informations nécessaires à la réalisation des tâches. Graphismes d'illustration et graphismes techniques peuvent avoir en commun de représenter des objets ou systèmes techniques. Ce qui les distingue (comme l'a bien montré Y. DEFORGES 1981) c'est que

¹ Cette analyse est essentiellement fondée sur des travaux français, car il n'existe à notre connaissance que peu de travaux étrangers dans ce domaine.

les uns contiennent des informations permettant la réalisation d'une tâche technique alors que les autres en sont dépourvus. Cela ne signifie pas que les graphismes d'illustration sont non-fonctionnels (par exemple dans une perspective commerciale) mais que cette fonctionnalité n'est pas centrée sur la réalisation de tâches techniques sur l'objet figuré dans un cadre de travail ou de formation.

L'analyse de la fonctionnalité de documents graphiques procède d'une double référence (RABARDEL, VERILLON 1987) :

- l'adéquation en fonction des périodes et des domaines, aux tâches techniques à réaliser ,
- l'adéquation aux caractéristiques, aux compétences de leurs utilisateurs.

1. L'évolution des figurations vers une meilleure adaptation au travail scientifique et technique

A un niveau macroscopique, l'évolution des documents graphiques dans divers domaines scientifiques et techniques va dans le sens d'une adaptation fonctionnelle. Pour un domaine donné, l'orientation des contenus des figurations évolue en même temps que leur expression pour donner des indications utiles à l'action. Nous en prendrons deux exemples, l'un dans un domaine scientifique, la chimie, l'autre dans un domaine technique, la mécanique.

a. ARNAUD (1984) illustre un processus d'abstraction progressive des graphiques présentés dans *des manuels de chimie* :

Depuis la fin du 19^{ème} siècle, les figurations descriptives et réalistes des situations de laboratoire font place à des schémas : le décor y disparaît progressivement au profit des appareils et de la manipulation, sans apporter plus de renseignements sur la réaction chimique proprement dite.

Puis les dessins ombrés se simplifient, remplacés par des dessins au trait, accompagnés de quelques mots désignant en langage naturel les produits en cause dans la réaction. En ce sens, la figuration tend à se centrer sur les aspects fonctionnels.

Enfin, le dessin est réduit au symbole d'un tube à essai, complété par les formules chimiques, indiquant l'essentiel de la réaction, ce qui suppose des connaissances sur la signification des symboles, les procédures d'exécution, les précautions à prendre.

b. *Dans le domaine de la mécanique*, de manière analogue, des figurations de machines évoluent lentement, de la forme extérieure vers des plans fonctionnels utiles à leur construction ; le but final est alors d'assurer une continuité entre les activités de conception, de préparation et d'exécution (POITOU 1984). DEFORGES (1981) date de 1780, "la première manifestation avérée d'une construction à distance" par le truchement d'un dessin ; "il s'agit d'une machine à feu" conçue par Watt et Boulton en Angleterre et montée en France par les frères Perrier. Cette évolution s'est poursuivie aux 19^e et 20^e siècles par un ensemble de modifications des règles d'écriture du dessin allant dans le sens de la mise en place d'un code graphique socialement fixé par des normes, permettant aux concepteurs, aux producteurs de dessins et aux utilisateurs de communiquer entre eux (SERFATY 1985).

Pour prendre un exemple plus précis, l'apparition et l'évolution des modes d'écriture de la cotation et des tolérances sont liées aux transformations des exigences techniques et sociales de l'exécution du travail (RABARDEL 1980) :

Au 19^e siècle l'ouvrier mesurait les cotes² qui lui étaient nécessaires directement sur le trait dessiné.

Au 20^e siècle, la cotation apparaît mais les principes restent flous mêlant cotes fonctionnelles, de fabrication, de contrôle.

En 1930, les règles de cotation s'imposent comme moyen de faire connaître à l'utilisateur les limites de la tolérance affectée à une dimension : "il faut mettre les cotes dont l'ouvrier a besoin pour usiner la pièce sans qu'il ait à calculer ou à chercher" (DEFORGES 1981). Pour coter, les pièces sont divisées en solides élémentaires ; les cotes de chacun d'eux sont précisées sur le dessin, et affectées de tolérances dimensionnelles. Le dessinateur indique les cotes en fonction d'un mode opératoire qu'il présuppose pour la fabrication de la pièce. En retour, le respect des cotes induit le mode opératoire de l'ouvrier. Les choix de cotation de l'objet font du dessin un guide d'action.

Cependant les pièces doivent s'ajuster au moment du montage. Or l'ajustage est un procédé coûteux, incompatible avec la production en série. D'où, enfin, l'idée d'une "cotation fonctionnelle" où les tolérances sont définies non seulement par rapport à la précision de l'usinage mais par référence à des exigences compatibles avec le fonctionnement de l'objet.

De ce rapide aperçu historique, nous retiendrons que pendant fort longtemps, l'image de l'objet était le véhicule unique ou quasi-unique des renseignements techniques ; le géométrique primait sur le technologique et le fonctionnel. A l'heure actuelle, au contraire, la prépondérance du technicien sur le géomètre semble définitivement établie au point que l'image peut, dans certains cas, sembler seconde par rapport aux indications techniques dont elle n'est plus le véhicule, mais seulement un support auxquelles elles sont rattachées.

² Une *cote* est un terme de métier désignant une dimension de la pièce à réaliser.

La forme perceptible perd sa prépondérance par rapport aux propriétés fonctionnelles qu'elle signifie.

2. La diversification des graphismes en fonction du domaine d'activité

Cette évolution des graphismes est aussi marquée par leur différenciation en fonction des objectifs dominants dans les différents secteurs d'activités professionnelles, notamment dans les phases de conception et de fabrication ; ce sont des "documents pour définir, pour réaliser, pour expliquer, pour rendre intelligibles des relations idéales" (DEFORGES 1976). Ainsi en électricité, les systèmes graphiques utilisés en fonction des phases de la production (WEILL-FASSINA 1969) :

Les diagrammes par blocs, indiquant les principaux modules, les croquis simplifiés, les figurant sous forme de signes avec leurs principales liaisons, sont l'outil nécessaire à l'ingénieur de conception.

Le schéma de principe indiquant les éléments sous forme de signes arbitraires et leurs liaisons, permet au technicien d'analyser et de décrire dans le détail le fonctionnement de l'appareil.

Le schéma de câblage et le plan de câblage présentant sous forme symbolique tous les éléments, leurs liaisons et leur disposition, sont destinés à ceux qui implanteront les composants et feront le câblage.

La remarque de BRESSON (1968) à propos des différentes figurations possibles d'une permutation, pourrait s'appliquer à ces différents systèmes graphiques. "Pour un même objet, elles sont équivalentes d'un certain point de vue, elles sont des figurations possibles de cet objet, mais elles diffèrent toutefois en ce qu'elles ne mettent pas en évidence les mêmes traits". Ce ne sont pas les mêmes propriétés qui demeurent implicites. D'un point de vue cognitif, la mise en correspondance de tels systèmes graphiques n'est pas sans poser des problèmes en terme de coordinations des représentations mentales des différents aspects de l'objet ou du système figuré.

3. Adéquation de documents graphiques aux tâches à réaliser par les opérateurs

Au niveau de l'opérateur, une première dimension de la fonctionnalité concerne la correspondance et la cohérence entre les propriétés de la "réalité technique" retenues dans les documents graphiques et celles à propos desquelles l'opérateur a besoin de s'informer pour accomplir sa tâche (RABARDEL, VERILLON 1987). Ainsi, pour une tâche habituelle en formation, telle que : "à partir de deux vues d'un objet, dessinez une troisième vue", les

propriétés prises en compte dans la tâche (production d'une troisième vue) et dans le document graphique (deux vues en projection) sont de même nature: les formes et dimensions de l'objet. Il y a cohérence, adéquation entre document et tâche, donc fonctionnalité du document.

Par contre, pour une tâche telle que l'identification des mouvements relatifs des pièces d'un système mécanique, les documents graphiques habituellement utilisés sont de type dessin d'ensemble : ils fournissent des informations sur les formes, dimensions et position des pièces alors que la tâche est centrée sur les mouvements. Il y a donc une certaine inadéquation fonctionnelle entre documents graphiques et tâches. On a pu montrer (AUSSENAC et coll. 1987), dans le cas de programmation de machines à commandes numériques, que ces décalages supposaient des activités de transformations des informations perçues en définitions de trajectoires d'outil : ces transformations sont suffisamment complexes pour que les opérateurs créent d'autres graphismes comme aide à l'anticipation des opérations d'usinage.

Ainsi, la recherche d'adéquation des graphismes par rapport à l'action a contribué à leur évolution et à leur diversification ; l'objet et le travail sur l'objet en sont les fils directeurs mais ils supposent, pour atteindre à l'opérationnalité, des compétences de la part de ceux auxquels ils s'adressent.

4. Adéquation des graphismes aux compétences des utilisateurs

Une autre dimension de la fonctionnalité est liée à l'adaptation des graphismes aux compétences supposées du "récepteur", de l'utilisateur auquel il est destiné. Par "compétence", nous entendons ici des ensembles de savoirs et de savoir-faire, de conduite types, de procédures standards, de type de raisonnements que l'on peut mettre en oeuvre sans apprentissage nouveau. Ce sont des structures mentales où s'articule tout ce avec quoi l'opérateur réalise une tâche considérée sous ses aspects cognitifs : les connaissances sur le fonctionnement et l'utilisation des machines, les représentations, les savoir-faire, les schémas stratégiques de planification des activités (DE MONTMOLLIN 1984). Mais compétence ne signifie pas expertise. L'adéquation par rapport aux compétences se manifeste alors tant au niveau des contenus que de l'expression des informations figurées.

a. En ce qui concerne *le contenu*, on a pu montrer par exemple que dans une tâche de construction d'un mur, une esquisse et quelques dimensions suffisent à celui qui est capable de lire des vues orthogonales, de les coordonner, d'en déduire des formes et de calculer de nouvelles côtes, à partir de celles déjà indiquées ; mais d'autres détails devront être fournis à des personnes moins qualifiées pour éviter ces opérations sous peine d'échec de leur part (RACHEDI 1987).

b. Au plan *des signifiants*, l'une des caractéristiques des graphismes scientifiques et techniques est la diversité de leurs modes d'expression possibles dans l'espace graphique : les icônes, les symboles et les signes, traduisent différents types de relations entre les signifiés, les signifiants et leur référent, allant d'une recherche de ressemblance jusqu'à la mise en place de signes parfaitement arbitraires (WEILL-FASSINA 1979). Les liens entre ces unités dans un espace graphique bidimensionnel peuvent mettre en oeuvre des propriétés topologiques, projectives ou métriques de cet espace, plus ou moins difficiles à maîtriser sur le plan cognitif. Ces différents modes d'expression n'ont pas la même pertinence fonctionnelle en fonction du récepteur. Ainsi sur le même exemple que précédemment, on a pu montrer que la présentation de plans et d'élévation en vues orthogonales, qui exigent le calcul de la troisième dimension, ne permet pas à des ouvriers de bas niveau de qualification de construire effectivement un mur ; par contre, la figuration du même objet en perspective cavalière permet l'exécution correcte du travail : fournir une vue d'ensemble évite des mises en relation et des calculs dans l'espace projectif ; enfin dessiner les briques que l'on peut compter sur la perspective au lieu d'y porter des cotes facilite encore l'interprétation de ce qu'il y a à faire (RACHEDI 1985). Ce n'est pas seulement une question de "lisibilité" des informations, mais "d'intelligibilité" : les relations explicitées par le graphisme ne sont pas les mêmes. Dans un cas, le contenu du graphisme met l'accent sur ce qui est "su", dans l'autre sur ce qui est "vu" (GUILLERMAIN, 1987).

Nous reviendrons ultérieurement sur les activités cognitives liées à l'exploitation du graphisme. Mais, dès à présent, l'étude de la fonctionnalité des figurations graphiques dans le travail fait apparaître la diversité des représentations mentales qu'ils peuvent exprimer, l'impossibilité de les séparer de l'objet référent sur lesquelles on souhaite agir, et des types d'action que l'on souhaite effectuer. D'autre part elle montre la nécessité, pour que les graphismes soient correctement utilisés, de tenir compte des compétences des utilisateurs, quant à leur contenu, à leur expression et à leur insertion dans l'action.

II. Les graphismes comme instruments sémiotiques

Ces aspects de la fonctionnalité des documents graphiques conduisent à en analyser le système sémiotique, comme celui d'un langage graphique opératif, qui en permet à la fois la production par les dessinateurs et concepteurs et l'utilisation de ces documents par les opérateurs. Cette analyse comporte deux volets : l'analyse du système sémiotique proprement dit et l'analyse des champs conceptuels de référence.

1. Quelques caractéristiques du système sémiotique utilisé dans un graphisme technique : le dessin industriel

L'analyse sémiologique du dessin industriel est une tâche complexe. Il s'agit en effet d'un système sémiotique d'origine fort ancienne (2 000 ans avant J.-C. pour les premières traces) et qui s'est développé et a évolué fortement dans le temps. Les analyses réalisées à l'heure actuelle, sont donc loin d'être exhaustives. Elles ont cependant permis d'en dégager certaines des caractéristiques essentielles (RABARDEL 1980).

a. La première de ces caractéristiques est *le caractère systémotique du code*. Le code peut être défini comme un ensemble d'éléments (des unités sémiotiques associant signifiants et signifiés) qui se différencient et s'opposent les uns les autres au sein du système d'ensemble.

Ainsi, les traits (au sens d'éléments graphiques) se distinguent au plan du signifiant par leur épaisseur (trait fin ou trait fort), leur segmentation (trait continu, interrompu court, mixte, etc.) et, au plan du signifié, par les types de contenus exprimés (arêtes, contours vus ou cachés, axes de symétrie, pièces voisines etc.). Cet ensemble est complété par des règles d'écriture et de composition qui permettent de produire les messages graphiques relatifs aux objets et systèmes techniques.

b. Une deuxième caractéristique est *la complémentarité du système de représentation graphique et des systèmes numériques et textuels*. Elle permet la production de messages complétant et spécifiant les informations portées par les graphismes en élucidant ou en aidant à l'élucidation d'une image polysémique (par exemple, les noms des pièces fixent une partie du signifié du graphisme) ; en relayant le graphisme pour exprimer ce qu'il ne peut exprimer (spécification, matière, type d'élément standardisé etc.).

c. Une troisième caractéristique est enfin que, parallèlement aux unités concernant la description des objets, *des unités spécifiques relatives au fonctionnement du code lui-même* existent au sein du système sémiotique. Elles permettent par exemple de produire des messages de mise en relation des messages technologiques au sein du document graphique, de spécifier les règles du code appliquées localement dans une zone du document etc. Ces "Messages de Code" sont essentiels pour l'interprétation des "messages technologiques" portés par le document.

L'approfondissement de l'analyse (RABARDEL, RAK, VERILLON 1988) a permis de distinguer, au sein du code, une structure des fonctions très stables qui se distingue de la structure des solutions (qui permettent d'accomplir les fonctions) susceptible de fortes variations dans le temps et l'espace. Cette structure des fonctions apparaît comme l'élément le plus stable du dessin technique, en particulier dans la situation actuelle, où les évolutions technologiques rapides induisent de fréquentes évolutions de solutions que la normalisation s'épuise à suivre et à codifier.

2. La pluralité des champs conceptuels de référence : technologie, géométrie, code

L'importance de la pluralité des champs conceptuels de référence des graphismes a progressivement émergé des analyses sémiotiques et de leurs exploitations. En effet, les conceptualisations qui fondent les recherches sur les processus d'apprentissage et d'utilisation du dessin technique ont beaucoup évolué (cf. pour plus de détails RABARDEL 1989) depuis les recherches exploratoires menées en formation d'adultes par LEPLAT et PETIT (1965) qui tentaient de répondre à la question: "un travail préalable en dessin est-il un facteur d'accroissement de la réussite en atelier". Une première conceptualisation est développée par FASSINA et PETIT (1968) en s'appuyant sur la théorie de l'information. Mais les résultats de l'entraînement à la lecture développés dans ce cadre en

remettront en cause la pertinence. WEILL-FASSINA proposera donc en 1973, une réinterprétation des résultats dans le cadre des travaux piagétien sur l'espace, approche qui sera ensuite complétée par la théorie des registres de fonctionnement de VERMERSCH (1976, voir note 3). Cependant, le graphisme technique ne se réduit pas à ses caractéristiques spatiales. Des travaux relatifs aux dimensions technologiques et sémiologiques ont donc été développés (RABARDEL 1980).

Les conceptions dominantes à l'heure actuelle intègrent ces différentes approches : apprentissage et utilisation des dessins techniques sont conçus comme mettant en jeu *trois champs conceptuels : la technologie, la géométrie et le code*. Ils sont pensés comme étant en interaction dans des conduites elles-mêmes finalisées par des tâches qui ne sont pas uniquement graphiques : *le dessin est un outil, un instrument* que le sujet utilise pour résoudre des problèmes techniques ou professionnels. Les champs conceptuels sont également pensés comme structurellement articulés (RABARDEL, VERILLON 1987). Le statut du code apparaît ainsi particulier, dans la mesure où il constitue le cœur du système :

Du côté de la géométrie, l'articulation existe au niveau des concepts (en particulier de la géométrie euclidienne) qui permettent au sujet de penser les formes des objets représentés analogiquement dans le dessin. Elle existe également au niveau de la géométrie du système de projection qui donne lieu à un codage dans le sous-système de représentation des formes.

Du côté de la technologie, l'articulation se fait au niveau des signifiés de nombreuses unités sémiotiques, ainsi qu'à celui du sens créé par le sujet qui va au-delà des seuls messages admis par les signaux du code.

Ainsi, un message géométrique donne le plus souvent lieu à une interprétation technologique comme nous allons le voir dans la suite de ce texte.

La complexité des caractéristiques des graphismes techniques a conduit à développer des recherches sur les activités cognitives liées à leur compréhension et leurs utilisations.

III. Quelques caractéristiques des activités cognitives relatives aux graphismes techniques

L'étude des fonctionnalités des graphismes techniques, et leur analyse sémiotique conduit à les considérer comme des langages opératifs permettant :

- une production de figurations graphiques, la plupart du temps liée à des tâches de conception ;
- une utilisation des graphismes dans des tâches relatives à l'objet (fabrication, montage, maintenance), ou relatives à une transformation de l'information (produire un autre dessin, transcrire l'information dans un autre code).

Les activités cognitives sollicitées réfèrent à la "compréhension" des graphismes, selon trois composantes complémentaires :

- la représentation de ce que veut transmettre l'émetteur sur la forme ou le fonctionnement de l'objet ;
- les transformations nécessaires pour produire un autre graphisme, déduire des modes opératoires, usiner, monter l'objet correspondant, planifier ou programmer la fabrication ;
- la production de figurations originales susceptibles de traduire dans le plan les représentations mentales d'un objet virtuel en cours de création.

Des multiples études concernant ces activités cognitives liées aux exploitations, trois caractéristiques essentielles ressortent :

- l'assimilation progressive des propriétés des systèmes graphiques ;
- la différenciation des informations retenues selon les modalités d'organisation de l'action des opérateurs ;
- la diversification de la palette graphique dans les activités de conception.

1. *L'assimilation progressive des propriétés des systèmes graphiques*

L'utilisation des systèmes graphiques nécessite un véritable apprentissage, c'est-à-dire *la construction par le sujet d'un ensemble de schèmes et de représentations* relatif à la structure du système, à la nature et aux propriétés des opérations qu'il autorise, aux caractéristiques même des objets sur lesquels il permet d'opérer : objets matériels, objets graphiques et objets de pensée. Cette construction, qui fait *la compétence* des opérateurs s'avère être un processus lent d'assimilation (ou d'intériorisation) concernant à la fois les relations/graphismes — objets figurés/graphismes — opérateurs/ opérateurs-objets sur lesquels portent l'action.

Nous prendrons ici en exemple, l'assimilation de deux champs de référence dont nous avons parlé précédemment : le champ géométrique et le champ technologique.

1. Dans *le champ géométrique*, les observations font ressortir des étapes caractéristiques de cette construction.

1. BALDY et CHATILLON (1985), s'appuyant au départ sur les hypothèses de SHEPARD et COOPER (1982), ont mis en évidence chez des adultes trois types de stratégies de comparaison *de dessins de solides en perspective* en rotation, en fonction de leur niveau de formation initiale :

- Les sujets les plus faibles ne réfèrent pas le dessin à un objet et comparent directement les propriétés des dessins entre eux en termes de ressemblance et de dissemblance basée sur une recherche de communauté d'indices. Le dessin n'est pas compris en tant qu'instrument sémiotique.
- Les moyens différencient les plans inscrits dans le dessin c'est-à-dire qu'ils le reconnaissent comme figurant un objet en trois dimensions, mais les représentations mentales qu'ils élaborent ne peuvent supporter les transformations spatiales comme les rotations et les transformations de points de vue.
- Les plus performants parviennent à se représenter les propriétés spatiales d'ensemble et effectuent des comparaisons en procédant à des coordinations de points de vue ou en retournant mentalement les objets dessinés.

2. De même, en ce qui concerne *le système de projection en vues orthogonales* propre au dessin technique, on a pu décrire, en s'appuyant sur la théorie des registres de fonctionnement³, le développement de l'apprentissage comme le passage d'une lecture guidée par les aspects figuratifs statiques du matériel à des aspects opératifs permettant les modifications exigées par la tâche ; un tel développement a pu être constaté dans la lecture de formes simples en vues orthogonales :

- Au début, les vues figurant deux aspects d'un même objet sont interprétées comme le dessin de deux objets différents.
- Ensuite, les indices pertinents pour les élèves et les stagiaires sont des formes caractéristiques directement perceptibles (entailles, biseaux) dont ils ne peuvent transformer l'apparence en fonction des changements de points de vue.

Ce n'est que progressivement qu'apparaît la compréhension de consignes relatives au changement de point de vue ; ceci se traduit en un premier temps, dans la production graphique, par des changements de la position relative des éléments de la figure ou des changements du code (trait discontinu à la place du trait continu).

- Enfin, la mise en œuvre du changement de point de vue ne devient efficace que lorsque la coordination des vues et la conservation des formes sont construites. Encore la possibilité de telles transformations est-elle progressive. Elles s'appuient d'abord sur des données perceptibles, faciles à transformer; les inférences qui supposent de véritables "calculs" figuraux n'apparaissent que plus tard (ARTAUD, DOLLE, LARDEUX 1984 ; WEILL-FASSINA, VERMERSCH 1985; WEILL-FASSINA, ZOUGGARI, VERMERSCH 1987 ; COURTY 1987).

Les étapes de l'apprentissage du système projectif ne sont donc pas tant marquées par des changements quantitatifs que par des changements qualitatifs des propriétés prises en compte et des transformations effectuées. Nous allons voir maintenant que le champ

³ Très rapidement, la théorie des registres de fonctionnement (VERMERSCH 1976,.1985) vise à adapter à l'adulte, l'analyse du développement cognitif tel que PIAGET l'a décrite dans la théorie opératoire de l'intelligence : l'adulte confronté à des problèmes spécifiques pourrait mettre en oeuvre les outils cognitifs différents construits au cours de l'enfance correspondant à des modes de fonctionnements différents (registre agi, registre figural, registre opératoire concret ou formel). L'apprentissage serait alors considéré comme une microgenèse, un processus progressif d'assimilation et d'accommodation visant une meilleure adaptation aux situations. Les conduites peuvent être caractérisées par le degré d'abstraction maîtrisé par le sujet, l'extension du champ spatial pris en considération, l'extension du champ des possibles et du champ temporel (mémorisation- anticipation) la résistance aux perturbations (stabilité). Pour l'application de cette théorie à la lecture de forme voir VERMERSCH et WEILL-FASSINA (1985)

technologique interfère avec le champ géométrique pour permettre à l'opérateur d'élaborer une représentation de l'objet figuré.

2. *Dans le champ conceptuel technologique* des processus de lecture fondées sur l'utilisation des concepts, propriétés, régularité du domaine technique ont été mis en évidence. L'information du dessin insuffisante pour l'utilisateur est complétée et interprétée à la lumière de ses connaissances du sujet, pour en produire la représentation interne.

1. Dans le domaine *des schémas électriques*, des études sur la catégorisation des circuits en série et en parallèle ont fait ressortir l'existence chez les élèves de deux types de *catégorisation* ; l'une est fondée sur les aspects perceptifs du matériel, l'autre sur ses caractéristiques de fonctionnement (CAUZINILLE, DUBOIS, MATHIEU 1990). Les résultats rejoignent les analyses antérieures concernant *l'évolution des représentations* liées aux graphismes menées auprès de stagiaires et d'étudiants en cours d'apprentissage. La structuration est d'abord guidée par les "traits de surface" ; les éléments sont alors reliés entre eux selon des rapports topologiques sous-tendus par la "métaphore de fluide en mouvement" (le courant va, passe etc.). Ce n'est que progressivement qu'apparaît une lecture guidée par les connaissances électroniques (différence de potentiel, induction) et que les relations causales sont établies. Elles leur permettent d'expliquer le fonctionnement (WEILL-FASSINA 1969 ; AMIGUES et coll. 1987, JOSHUA 1987, WEILL-FASSINA et coll. 1989).

2. *En dessin technique*, l'influence de la nature de l'information présentée (technologique ou géométrique) sur les *mécanismes de prise d'information* a été analysée à partir d'enregistrements des directions de regard (RABARDEL, NEBOIT, LAYA 1985). Les sujets étaient confrontés au dessin d'une pièce percée de deux trous (cf. figure 1) : un trou "fileté" (c'est-à-dire ayant une signification technologique) et un trou géométrique en U (dont la signification est géométrique) ; ces trous étaient choisis de telle façon que les graphismes les représentant soient identiques dans l'une des vues afin de contrôler les effets potentiels d'une différence dans la complexité des figures.

Quel que soit le niveau de compétence des sujets, l'exploration des éléments graphiques relatifs au trou géométrique est systématiquement plus importante que celle du trou fileté (respectivement environ 60% et 40% des fixations).

On observe d'autre part des différences dans la production de la troisième vue. Au plan quantitatif, six élèves sur dix représentent correctement le trou fileté, tandis qu'un seul dessine le trou en U sans erreur. Ces écarts traduisent les différences de difficulté des tâches relatives aux deux trous. Le trou fileté est en effet un "objet" connu des élèves à la fois dans sa réalité matérielle et dans ses modalités systématiques de représentation graphique. Au plan cognitif, il constitue un "objet" qui peut être manié comme une totalité ; la tâche de lecture consiste donc à identifier l'objet trou fileté et à définir ses dimensions et

positions relatives. Pour le trou en U, la tâche est très différente ; il s'agit d'un "objet" inconnu des élèves ; ils vont donc devoir le reconstruire à partir des éléments qu'ils peuvent identifier : les surfaces et les relations entre ces surfaces. Le trou en U, pour devenir une unité susceptible d'être maniée comme une totalité, doit donc d'abord être reconstruit, le problème de la position et des dimensions relatives n'étant pas alors fondamentalement différent de celui d'un trou fileté.

Les stratégies de recherche d'information évoluent d'autre part en fonction de la compétence des sujets.

3. *Les connaissances technologiques guident l'interprétation des graphismes et en complètent les informations* : Il est possible d'induire les mouvements relatifs des pièces d'un mécanisme pourtant représenté statiquement. Bien entendu, la qualité des inférences dépend beaucoup de l'expérience des sujets et évolue donc avec l'apprentissage. Ainsi, nous avons montré (RABARDEL 1982) que les dessins de deux mécanismes (système câble-gaine) identiques du point de vue des fonctions et des éléments constitutifs, mais différents par l'agencement de ces éléments donne lieu à des performances de lecture très différentes : 20% de réussite pour l'un des dessins et plus de 80% pour l'autre. Cette différence tient à la distance plus ou moins grande des solutions technologiques constitutives des objets représentés par rapport à celles déjà connues des lecteurs. Mais dans tous les cas, la lecture du dessin est le produit d'une interprétation technologique du graphisme.

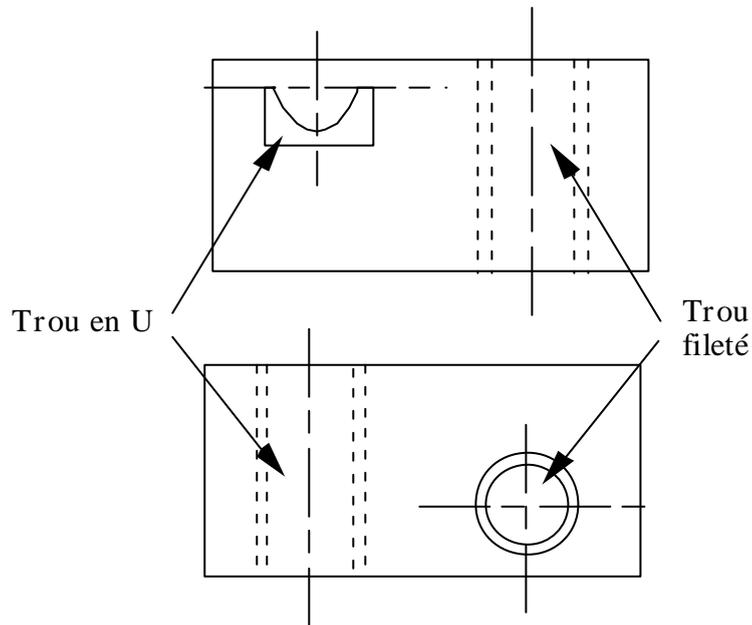


Figure 1. Dessin d'une pièce percée d'un trou à signification technologique (trou fileté) et d'un trou à signification géométrique (trou en U).

Cette analyse de la construction progressive de la signification accordée au graphisme et des transformations qu'il est susceptible de supporter fait apparaître que la problématique de l'image mentale (définie comme une évocation intérieure des qualités perceptives de l'objet en son absence) est insuffisante pour rendre compte des activités de compréhension des graphismes techniques. Même lorsque la lecture fonctionne par identification, celle-ci suppose toujours des représentations opératoires qui guident l'exploration, la reconnaissance ou l'interprétation. D'autre part, les transformations faites sur les graphismes ne résultent pas seulement d'un traitement analogique et holistique mais supposent des traitements analytiques.

2. La différenciation des informations retenues selon les modalités d'organisation de l'action

Les activités de lecture des graphismes, telles que nous venons de les décrire, se différencient aussi lorsque leur utilisation est intégrée dans les tâches technologiquement motivées. Les graphismes ne sont plus seulement considérés comme descripteurs d'un objet mais utilisés *comme guides d'action*, ce qui suppose des opérations de transformation telles que déductions de relations logiques et temporelles, coordinations avec d'autres sources d'information qui peuvent à leur tour exiger d'autres traitements (changement de points de vue ou d'échelle etc.).

Les activités d'élaboration des représentations mentales à partir des graphismes vont alors être modulées à la fois par le but recherché la tâche, par la compétence des opérateurs dans la tâche et les systèmes graphiques, et la façon dont ils organisent leur action.

A. *L'utilisation des graphismes par les opérateurs dépend d'abord du type de tâche auxquels ils sont confrontés :*

1. *Dans les tâches de montage, où ils disposent à la fois du dessin et des pièces, les complémentarités de forme peuvent sembler suffisantes pour guider le travail, sans avoir recours au dessin. Mais dès qu'il s'agit de définir un ordre de montage qui respecte des relations d'interdiction (telle pièce doit être montée avant l'autre), l'analyse du dessin s'avère indispensable pour identifier la relation d'interdiction et planifier l'activité, en évitant les essais et les erreurs, (sauf bien sûr si les connaissances de l'opérateur sur l'objet technique sont suffisantes pour établir une procédure). Par ailleurs de telles relations d'interdiction peuvent s'avérer plus ou moins difficiles à identifier à la fois selon la présentation du dessin et selon la compétence des sujets (VERGNAUD 1968, RABARDEL 1984, BENDIB 1985).*

2. *Ce n'est que dans des tâches où la planification constitue elle-même un objectif du travail (programmation, LEBAHAR 1987) ou si l'opérateur ne dispose pas d'autres sources d'information (construction d'un mur par exemple, RACHEDI 1987) que les graphismes seront utilisés plus ou moins systématiquement comme guide d'action. L'observation des opérateurs fait alors apparaître une évolution progressive en fonction des compétences, des représentations mentales construites à partir des graphismes. Cette évolution est caractérisée par le niveau de formalisation, l'élargissement des domaines de*

connaissances pris en considération. La programmation, par exemple, est exigeante à cet égard, elle suppose la lecture du dessin mais aussi la connaissance de la matière à usiner, de l'outillage disponible et de ses caractéristiques, des règles liées au langage informatique etc.) et l'extension du champ d'anticipation : usiner avec une machine classique peut se faire au coup par coup; avec une machine à commande numérique, les mouvements de la pièce, les changements d'outils doivent être prévus à l'avance, et ce, dans un espace de coordonnées qui n'est plus seulement celui de la pièce mais celui de la machine et des relations pièces-machine (LEBAHAR 1987 ; RABARDEL et coll. 1988).

B. *Cette utilisation des graphismes dans les tâches techniquement motivées se différencie en fonction de la compétence des opérateurs.*

1. Ainsi, pour des opérateurs de *faible niveau de qualification* ou en formation, l'ensemble des observations tend d'abord à montrer *leur centration presque unique sur l'objet de l'action défini par la consigne*. Par exemple, dans des tâches de repérage d'un local sur un plan, la réponse est donnée d'abord au hasard sur le plan, sans tentative de mise en relation de l'espace concret et du plan ; celle-ci fait, par la suite, l'objet d'une lente construction (RACHEDI 1986). Au contraire, dans les tâches de dépannage, les stagiaires laissent de côté les graphismes et cherchent de manière préférentielle, les informations sur un matériel (moteur d'auto) qui n'est pourtant pas transparent quant à son fonctionnement (WEILL-FASSINA et coll. 1989).

2. Pour des opérateurs *plus qualifiés*, les graphismes sont plutôt utilisées *pour résoudre les difficultés particulières rencontrées dans le déroulement de l'action*. L'information y est alors recherchée de manière très sélective traduisant la multiplicité des rôles possibles que les opérateurs leur attribuent en fonction de leur besoin et de leur compétence. Dans une tâche de dépannage (motrice de métro), ils peuvent être "support à l'élaboration" d'hypothèses, aide à l'intelligibilité du fonctionnement, aide à la planification des contrôles, instrument de vérification de la démarche, guide topographique, répertoire des points de contrôle. Les opérateurs qui formulent des diagnostics erronés utilisent plutôt les deux premiers rôles ; ceux qui "réussissent" recourent surtout aux derniers (BERTRAND et coll. 1989).

Ainsi reliée à l'action, l'exploitation des graphismes suppose donc non seulement de décoder la signification littérale du message mais aussi de pouvoir lui donner son sens, c'est-à-dire de l'intégrer dans un système de connotations. Il s'agit de les interpréter en fonction des différents champs conceptuels de référence, de les mettre en relation avec d'autres sources

d'information (provenant de l'environnement de la machine, des objets, des autres documents), de concevoir les opérations à exécuter.

3. La diversification de la palette graphique dans les tâches de conception

Jusqu'à présent, nous nous sommes situés du côté de l'utilisateur de figurations graphiques. Nous examinons maintenant quelques aspects de la production des figurations, lorsque celles-ci sont intégrées à des tâches de conception. La conception⁴ est considérée ici comme un processus créatif d'objet virtuel, par élaboration progressive et intriquée d'une représentation mentale et de la figuration de cet objet.

Dans ce cas, *les graphismes servent à anticiper l'objet*. Ils intègrent progressivement sur le plan spatial, toutes les préoccupations esthétiques, économiques, techniques, physiques et fonctionnelles liées à l'objet. Par rapport à la représentation de l'objet virtuel, ils ont à la fois un rôle de simulation et de réduction d'incertitude. Les systèmes graphiques utilisés changent de caractéristiques au fur et à mesure de l'avancement du projet : la dominance des rapports topologiques projectifs et euclidiens se modifie d'une phase à l'autre de la conception, de la phase de diagnostic à la phase d'exécution (LEBAHAR 1983).

De manière plus détaillée, l'analyse des processus de conception en architecture (POY 1991) a mis en évidence *une palette extrêmement riche de systèmes graphiques disponibles* caractérisés par la figuration de deux ou trois dimensions des objets sous différentes formes (coupe, plan, élévation, différents types de perspectives), différents degrés d'élaboration des graphismes (schémas, esquisse, croquis, dessin au propre), les contenus (détail, parties, ensemble...), soit au total environ 80 possibilités que les architectes utilisent différemment en fonction de la

⁴ La bibliographie est volontairement limitée à quelques exemples traitant des aspects cognitifs des tâches de conception architecturale.

conception, à dominante esthétique ou fonctionnelle, qu'ils ont du processus créatif et du moment de l'élaboration de leur projet. Le suivi des traces graphiques fait en effet apparaître des processus d'extraction et d'inclusion de détails, de parties, par rapport à l'ensemble que suivent les formes d'expression des dessins : ainsi se dégage de l'analyse une planification opportuniste analogue à celle déjà mise en évidence dans d'autres processus de conception (VISSER- FALZON 1988). Enfin, le rôle des dessins varie d'un architecte à l'autre : pour l'un, c'est l'expression d'une possibilité parmi d'autres, d'une hypothèse qu'il simulera et sur laquelle il permettra de réfléchir ; pour l'autre, c'est la figuration d'une image, la représentation d'un objet à un moment donné avec toutes ses contraintes ; il aura plutôt un rôle de vérification.

V. En conclusion

1. D'un point de vue théorique, l'analyse de la fonctionnalité des graphismes et leur caractérisation en termes sémiotiques, leur modalité de lecture et d'utilisation soulignent que leur complexité n'est pas seulement figurale (WEILL-FASSINA 1988) : les contenus, les transformations qu'ils supportent sont essentiels. Les graphismes techniques sont le support de représentations fonctionnelles faisant appel à des processus de schématisation, de symbolisation, d'abstraction et de transformation. Cela tient d'une part aux opérations cognitives mises en oeuvre pour la sélection, l'organisation et la présentation des informations qu'ils expriment, et d'autre part aux transformations et aux inférences qu'exigent leur utilisation.

Insérés dans une pratique, les problèmes que posent les graphismes techniques ne se limitent pas à une identification des formes, mais sont essentiellement liés à leur interprétation et à leur modulation en fonction des exigences de l'action et des compétences diversifiées de ceux qui s'en servent.

Les études faites montrent qu'il n'y a pas de lois générales en matière de compréhension et d'interprétation des graphismes ; elles ouvrent au contraire la possibilité de comparaisons différentielles entre des populations d'âge, de niveau scolaire et d'expérience différent, pour des tâches similaires quant aux processus cognitifs mis en oeuvre. Cela permet de dépasser certaines des distinctions traditionnelles de la psychologie : enfant-adulte / formation-travail.

2. *Dans le champ de l'ergonomie*, les analyses du travail produisent des concepts qui permettent d'organiser un certain nombre de résultats obtenus empiriquement, et concernant l'aménagement des dispositifs (WEILL-FASSINA 1979).

Ainsi il apparaît clairement que l'ergonomie de l'image ne se limite pas à sa lisibilité ou à sa qualité technique. L'aide ou la gêne que peuvent apporter les graphismes dans le travail semblent dépendre des propriétés du système sémiotique qu'ils mettent en jeu, des traitements qu'ils exigent et des conflits et interférences qu'il peut y avoir entre aspects figuratifs et opératifs du graphisme (VERMERSCH, WEILL-FASSINA 1981, RABARDEL, RAK, VERILLON 1988).

Les résultats obtenus semblent aussi productifs et heuristiques pour l'analyse d'autres systèmes sémiotiques, dans d'autres contextes de travail: cartes synoptiques, images vidéo et informatiques.

Enfin, en conception assistée par ordinateurs⁵, la richesse, la diversification de la palette graphique en fonction de représentations mentales évolutives, répondant à des activités différentes, impose des conditions difficiles à remplir telles que la possibilité d'aller-retours entre deux et trois dimensions, du détail à l'ensemble du schéma, la mise au propre, la possibilité de faire différentes perspectives qui ne soient pas

⁵ Pour une approche psycho-sociologique et socio-technique des évolutions liées au développement de la DAO-CAO, voir par exemple MERCHIER 1984, PIQUET, POITOU et TASSE 1990, SERFATY 1985.

seulement normées mathématiquement mais qui correspondent à des points de vue esthétiques ou fonctionnels souhaités à un moment donné. L'objectif serait de produire des dispositifs de CAO adaptés à une conception créative et ne réduisant pas ce processus à une combinatoire d'éléments prédéterminés. Encore faudrait-il davantage développer l'analyse du travail de l'architecte.

3. *Dans le champ de la formation*, ces résultats orientent vers les recherches didactiques qui insistent sur l'apprentissage des "langages graphiques" en liaison avec les contenus de référence et les actions sur les graphismes ou les objets. Certaines des recherches didactiques entreprises dans cette perspective constituent une rupture profonde avec les pratiques et conceptions antérieures. C'est le cas de l'apprentissage des opérations projectives, préalable à la formation au dessin proprement dit (HIGELE 1990). Il est destiné aux élèves susceptibles de rencontrer des difficultés du fait d'une maîtrise conceptuelle de l'espace insuffisante. Il n'a pas pour objectif d'apporter des connaissances mais de donner aux élèves la possibilité d'utiliser les opérations projectives lors de la résolution de problèmes relevant de la représentation spatiale, et ainsi de préparer à l'apprentissage du dessin proprement dit. Cet apprentissage s'appuie sur les diagnostics psychologiques formulés en termes opératoires au sens piagétien du terme.

C'est aussi le cas des travaux sur l'apprentissage des langages graphiques comme systèmes sémiotiques qui renouvelle la conception même des contenus enseignés et des objectifs à atteindre en s'appuyant sur les recherches à caractère sémiologique et psycho-sémiologique. Ainsi, des enseignements de schématique électrique ont été fondés sur une approche en termes d'outil-signes dont le code est motivé et structuré en système (CUNY et BOYE 1981).

De même, dans le domaine du dessin industriel, des travaux visent le processus d'intériorisation du système sémiotique, la construction de

l'instrument sémiotique par le sujet, c'est-à-dire l'élaboration et la structuration en un système, des schèmes d'actions, des opérations et représentations, relatifs aux fonctions du système sémiotique, à la nature et aux propriétés des actions et des transformations qu'il autorise, aux caractéristiques même des objets sur lesquels il permet d'opérer : objets matériels, objets graphiques et objets de pensée (RABARDEL, RAK, VERILLON 1988 ; BAL et coll. 1987).

Pierre RABARDEL

G.I.C.

Laboratoire d'Ergonomie et Neurosciences appliquées au Travail

CNAM

41, rue Gay-Lussac, 75005 Paris

Annie WEILL-FASSINA

EPHE/CNRS

Laboratoire d'Ergonomie Physiologique et Cognitive

41, rue Gay-Lussac, 75005 Paris

Bibliographie

- AMIGUES R, CAZALET E., GONET A., (1987) Raisonnement spatial et inférence fonctionnelle dans l'activité. *La compréhension de schémas électriques et électroniques*. Paris, in RABARDEL P. et WEILL-FASSINA A., éd. *Le dessin technique*, Paris, Hermès, pp. 243-250.
- ARNAUD P. (1984) Schémas et représentations en chimie dans leurs rapports à la didactique, in GIORDAN A. et MARTINAND éd. *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifiques*. Sixièmes journées internationales sur l'éducation scientifique, pp. 107-116.
- ARTAUD J., DOLLE J.-M., LARDEUX P. (1984) Difficultés dans l'apprentissage et l'utilisation des aspects géométriques du dessin en L.E.P. in ARTAUD J. et al., *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique des constats d'échec et des moyens de réussite*", INRP, Collection Rapports de recherches, n° 10, pp. 207-280.
- AUSSENAC P., BESSARD B., CARLO C., COLIN D., LEBAHAR J.-C. (1987) *Des erreurs significatives de la compétence graphique des techniciens sur machine-*

- outils à commande numérique en situation de formation* in RABARDEL P., WEILL-FASSINA A., éd. *Le dessin technique*, Paris, Hermès.
- BAL J.-J. et al. (1987). *Utilisation de l'approche sémiologique pour un enseignement fonctionnel du Dessin*, in RABARDEL P. et WEILL-FASSINA A., éd. *Le dessin technique*, Paris, Hermès, pp. 189-196.
- BALDY R., CHATILLON J.-F. (1985). La reconnaissance de dessins d'objets en perspective cavalière : les procédures développées par des adultes migrants dans des exercices de recherches de forme. *Le Travail Humain*, 48, 4 [n° spécial. *Apprentissage et utilisation du dessin technique*], pp. 306-320.
- BENDIB Z. (1985) *Tâche d'assemblage d'un objet technique et aides au travail. Analyse des difficultés et de l'organisation des élèves de LEP*. Thèse de 3ème cycle, Université de Paris X, Nanterre.
- BERTIN J. (1977) *La graphique et le traitement graphique de l'information*. Paris, Flammarion, Nouvelle bibliothèque scientifique.
- BERTRAND L. et LEPLAT J. (1989) Rôles du schéma dans un diagnostic de panne sur une motrice de métro. *Performances*, 41, pp. 16-24.
- BRESSON F. (1968) Le particulier du général ou il ne faut rien prendre à la lettre, *Enseignement programmé*, 4, pp. 27-35.
- CAUZINILLE-MARMECHE E., DUBOIS D., MATHIEU J. (1990) Catégories et processus de catégorisation, in NETCHINE GRYMBERG G. éd. *Développement et fonctionnement cognitif chez l'enfant*, Paris, PUF, pp. 93-119.
- COURTY D. (1987) Calculs images et théorèmes en figures sous les homomorphismes de R^3 dans R^2 , Paris, in RABARDEL P., WEILL-FASSINA A. éd. *Le dessin technique*, Paris, Hermès, pp. 93-100.
- CUNY X., BOYE M. (1981) L'apprentissage des outils-signes. *Communications*, 33.
- DEFORGES Y. (1976) *Le graphisme technique*. Lille, Atelier de reproduction des thèses.
- DEFORGES Y. (1981) *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement*. Paris, Champvallon.
- DE MONTMOLLIN M. (1984) *L'intelligence de la tâche. Éléments d'ergonomie cognitive*. Berne, Peter Lang.
- GUILLERMAIN H. (1987) Approche cognitive de la genèse de la représentation graphique en perspective, Paris, in RABARDEL et WEILL-FASSINA A. éd. *Le dessin technique*, Hermès, pp. 43-50.
- HIGELE P. (1990) *Les ateliers de raisonnements spatiaux*, Paris, Dunod.
- JOSHUA J. (1987) Sens et signifiants : un exemple d'interaction dans la schématisation électrique, in RABARDEL P., WEILL-FASSINA A. éd. *Le dessin technique*, Paris, Hermès, pp. 235-242.
- KLAUE K. (1985) *Le rôle de l'échelle dans les figurations de l'espace chez l'enfant*, Berne, Peter lang.

- LEPLAT J. et PETIT R. (1965) Relations entre le dessin et les exercices pratiques dans l'apprentissage d'un métier manuel. *Bull. CERP*, XIV, 1-2, pp. 117-124.
- MERCHERS J. (1984) L'automatisation dans les industries de biens d'équipement, 1, *L'informatisation des activités d'étude*. Paris, CEREQ.
- OMBREDANE A. et FAVERGE J.-M. (1955) *L'analyse du travail*, Paris, PUF.
- PIQUET F., POITOU J.-P., TASSE J.-C. (1989) *La CFAO concevoir et produire autrement*, Paris, Nathan.
- PRIETO L.J. (1975) *Pertinence et pratique: essai de sémiologie*. Paris, Éditions de Minuit.
- POY M. (1991) *Elaborations de projets et productions graphiques dans la conception architecturale; études de cas dans la réhabilitation d'immeubles*. Paris, Diplôme de l'EPHE.
- LEBAHAR J.-C. (1983) *Le dessin d'architecte: simulation graphique et réduction d'incertitude*. Marseille, éd. Parenthèses.
- LEBAHAR J.-C. (1987) Influence de l'apprentissage de MOCNC sur la représentation de l'usinage et ses niveaux de formalisation. *Le Travail Humain*, 50, 3.
- POITOU J.-P. (1984) Dessin technique et Division du travail. *Culture technique*, 12, pp. 197-207.
- RABARDEL P. (1980) *Contribution à la lecture du dessin technique*, Paris, Thèse de 3ème cycle, EHESS.
- RABARDEL P. (1982) Influence des représentations préexistantes sur la lecture du dessin technique, *Le Travail Humain*, 45, 2, pp. 251-266.
- RABARDEL P. (1982) *Intérêt du dessin technique pour l'acquisition des compétences en montage démontage in Psychologie du travail Perspectives 1990*. Paris, Actes du 2ème congrès de Psychologie du Travail de Langue Française, pp. 236-246.
- RABARDEL P. (1984) Eléments pour une analyse des tâches d'assemblage et de montage, *Le Travail Humain*, 47, pp. 50-59.
- RABARDEL P. (1989) Recherches en psychologie et en didactique : un exemple d'interaction dans l'enseignement technique. *Revue Française de Pédagogie*, 89.
- RABARDEL P., NEBOIT M., LAYA (1985) Les stratégies visuelles dans la lecture du dessin technique : effets des objets représentés et de la compétence des sujets, *Le Travail Humain*, 48, 4, pp. 359-371.
- RABARDEL P., RAK I. VERILLON P. (1988) *Machines outils à Commande numérique*. Paris, *Approches didactiques INRP*.
- RABARDEL P., VERILLON P. (1987) Approches fonctionnelles du dessin technique: réflexions pour un cadre d'analyse. in RABARDEL P., WEILL-FASSINA A. *Le dessin Technique*, Paris, Hermès, pp. 209-217.
- RACHEDI Y. (1985) La lecture de plans dans le bâtiment. Représentations au cours du processus réalisation, *Le Travail Humain*, 4, 2, pp. 31-41.

- RACHEDI (1986) *Les modalités de compréhension et d'utilisation des intermédiaires graphiques: l'exemple de la lecture de plans dans le bâtiment*, Thèse de 3ème cycle Université Paris V-EPHE.
- RACHEDI Y. (1987) Modalités d'utilisation des plans dans la construction d'un ouvrage en maçonnerie : Représentation et Planification, Paris, in RABARDEL P., WEILL FASSINA A. édts, *Le dessin technique*,. Paris, Hermès , pp. 227-234.
- SERFATY E. (1985) *Quelques chiffres récents sur les dessinateurs : évolution 1975-1982*, Document de travail n° 5, Paris, CEREQ.
- SHEPARD R.N., COOPER L.A. (1982) *Mental images and their transformations*. Cambridge (Mass.), MIT Press.
- VERGNAUD G. (1968) *La réponse instrumentale comme solution de problèmes : contribution*. Paris, Thèse de 3ème cycle.
- VERMERSCH P. (1976) *Une approche de la régulation de l'action chez l'adulte. Régistre de fonctionnement, déséquilibre transitoire et microgenèse*. Thèse de 3ème cycle Paris V-EPHE.
- VERMERSCH P., WEILL FASSINA A. (1981) Image opérative ou représentation fonctionnelle ? in *Image opérative*, Université de Paris I.
- VERMERSCH P., WEILL-FASSINA A. (1985) Les registres de fonctionnement cognitif. Application à l'étude des conduites de lecture et d'écriture du dessin technique élémentaire, *Le Travail Humain*, 48, pp. 331-340.
- VISSER W., FALZON P. (1988) Recueil et Analyse de l'expertise dans une activité de conception : questions de méthode. *Psychologie Française*, n°spécial *Psychologie de l'expertise*, pp. 1-13.
- WEILL-FASSINA A., PETIT R. (1968) Les erreurs dans le dessin industriel. *Bull. du CERP*, 18, 1, pp. 1-11.
- WEILL-FASSINA A. (1969) *Un intermédiaire dans les systèmes Homme Travail : Lecture et écriture des schémas explicatifs*. Thèse de 3ème cycle, Université Paris V.
- WEILL-FASSINA A. (1979). Présentation spatiale des données de travail et traitement des informations. Points de vue et hypothèses *Psychologie française*, 24, 3-4.
- WEILL-FASSINA A. (1973) La lecture du dessin industriel. Perspectives d'études, *Le Travail Humain*, 38, 1, pp. 121-139.
- WEILL-FASSINA A. (1988) Complexité figurale et complexité opératoire dans la compréhension et l'utilisation de graphisme technique, *Bull. de Psychologie*, 41, 386, pp. 645-651.
- WEILL-FASSINA A., FILLEUR C., FOREST-POULIER M.-H. (1989) Représentations et fonctionnements cognitifs dans ma recherche de panne en mécanique auto. *Journal Européen de Psychologie de l'Education*, IV, 1, pp. 83-102.
- WEILL-FASSINA A., VERMERSCH P. (1985) Un diagnostic opératoire dans des tâches élémentaires de lecture de formes en dessin : les cohérences des modalités de fonctionnement, *Le Travail Humain*, 48, 4, pp. 341-358.

WEILL-FASSINA A., ZOUGGARI G., VERMERSCH P. (1987) L'évolution des compétences dans la lecture de formes élémentaires présentées en vues orthogonales, in RABARDEL et WEILL-FASSINA eds . *Le dessin Technique apprentissage, utilisations évolutions*, Paris, Hermès, pp. 101-108.