

APPROCHES PSYCHOLOGIQUES ET DIDACTIQUES EN TECHNOLOGIE : l'exemple du dessin technique

Pierre Vérillon

À la différence d'autres objets d'enseignement du champ technologique, le dessin technique bénéficie d'une tradition de recherche déjà longue. Cet article évoque d'abord les principales étapes de cette histoire qui ont conduit à concevoir l'activité de lecture du dessin comme résultant de la maîtrise progressive et solidaire de trois champs conceptuels : géométrique, sémiologique et technologique. Ensuite, au plan didactique, une approche psychologique des compétences spatiales initiales des apprenants et une analyse fonctionnelle du code de représentation analogique des formes et dimensions propre au dessin technique sont présentées comme pouvant contribuer à l'élaboration de savoirs à enseigner. À titre d'illustration, quelques propositions issues d'une progression destinée à une formation à la communication technique sont détaillées.

La didactique en tant qu'étude scientifique des phénomènes et processus d'enseignement a, actuellement, encore peu investi le domaine des enseignements techniques et professionnels, même si l'émergence, depuis peu, de différents lieux de recherche permet d'espérer qu'à terme cette situation évolue.

Il est, cependant, un domaine dans lequel ce constat ne se vérifie pas : c'est celui du dessin technique.

le dessin
technique, objet
de nombreux
travaux de
recherche

En effet, en tant qu'objet d'enseignement en formation professionnelle initiale et continue, celui-ci a donné lieu, depuis plusieurs décennies, à de nombreuses recherches et expérimentations, ainsi qu'à un ensemble important de publications visant tant la communauté enseignante que celle des chercheurs.

Cet article (1) se propose, dans un premier temps, de dégager brièvement les grandes lignes d'évolution de ces travaux. Nous évoquerons notamment la façon dont les recherches de l'INRP se situent dans cet ensemble et comment, pour notre part, nous analysons les tâches et activités de lecture. Ensuite, nous présenterons des propositions didactiques, dérivées de ces analyses, et destinées à favoriser chez les élèves le développement de compétences pour une utilisation générative des graphismes techniques.

(1) Ce texte reprend une communication prononcée lors du colloque "Perception 3D" organisé par l'Association des Professeurs de Technologie de l'Enseignement Public, les 24 et 25 novembre 1995 au Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris.

1. RECHERCHES EN PSYCHOLOGIE ET DIDACTIQUE : ÉVOLUTIONS ET CARACTÉRISTIQUES

Les recherches et innovations pédagogiques reflètent à la fois une conception du contenu enseigné - sa nature, sa structuration, ses propriétés - et une conception de l'apprenant - fonctionnement cognitif, difficultés prévisibles, etc. Aussi, dans cette première partie, dans laquelle nous présentons rapidement l'évolution des recherches sur la lecture du dessin, l'objectif sera moins de détailler les résultats trouvés par les auteurs que de tenter de repérer, au sein de leur approche, les conceptions successives qui ont dominé les interprétations et hypothèses.

des problèmes
issus du terrain

La difficulté de l'apprentissage et de la maîtrise du dessin technique est soulignée de manière récurrente par les enseignants qui évoquent les échecs nombreux et durables des élèves ainsi que par les industriels qui se plaignent des performances insuffisantes des sortants du système éducatif dans ce domaine. Aussi les premiers travaux, de nature pédagogique et méthodique, traduisent-ils, tout naturellement, des préoccupations de terrain. Leurs auteurs, enseignants confrontés directement aux difficultés des élèves, ont avant tout cherché à élaborer des stratégies visant à réduire ou à contourner celles-ci. Ces tentatives se distinguent par le caractère très global, tant de la caractérisation des obstacles supputés, que des solutions proposées. Le souvenir des nombreuses méthodes auxquelles elles ont donné lieu, celui des débats vigoureux qu'elles ont soulevés, sont encore vivants : méthode de la cale entaillée, méthodes indirecte, directe, de l'observateur projeteur, etc.

Avec le recul, il apparaît que **ce qui fait fondamentalement défaut, à la fois au niveau de la conception et de l'évaluation de ces méthodes, c'est un cadre de compréhension fine du fonctionnement cognitif des sujets dans les tâches d'apprentissage et d'utilisation du dessin technique.** Aussi, les premières manifestations d'intérêt pour le domaine, de la part de psychologues du travail et de la formation professionnelle, marquent-elles un tournant important dans l'histoire de la didactique des graphismes techniques.

un détour par la
psychologie

Les premiers travaux des psychologues se distinguent de ceux des pédagogues surtout en ce qu'ils introduisent une instrumentation méthodologique pour étayer leurs diagnostics et évaluations. Par une expérimentation systématique, ils visent d'abord à mettre en évidence des données (faits, régularités, relations, etc.) fiables et mesurées.

Cependant, si en ce sens ils présentent un réel progrès par rapport aux tentatives précédentes, la formulation des questions de recherche demeure encore très globale. C'est ainsi que Spencer (1965) cherche à comparer les performances de lecture de sujets néophytes selon que les vues d'une pièce

sont disposées selon la norme américaine ou européenne. Il compare également les performances de lecture selon différents modes de projection : vues orthogonales, vues sous différentes perspectives : conique, cavalière, isométrique. Les effets sont mesurés en terme de délai de réalisation du montage simple demandé. Leplat et Petit (1965) s'interrogent sur l'effet que peut avoir une activité préalable de dessin sur la réalisation d'une tâche de fabrication en atelier. Fassina et Petit (1969) cherchent à *"vérifier dans quelle mesure l'apprentissage de l'écriture du dessin favorise l'apprentissage de la lecture"*.

Les constats effectués restent très généraux et, de fait, ne font pas avancer significativement la connaissance des processus cognitifs à l'œuvre. A-théoriques et empiriques, ces recherches **s'attachent davantage à documenter des problèmes encore formulés de manière très proche des questions issues du terrain qu'à interpréter et rendre compte des phénomènes à travers un modèle.**

un cadre
d'analyse
des erreurs

Par rapport à cette situation, une évolution méthodologique et épistémologique décisive intervient lorsque Fassina et Petit (1969) sont conduits à s'intéresser aux erreurs de lecture de leurs sujets, non plus au titre de variable ou indicateur global d'un effet d'apprentissage, mais comme objet d'étude en soi. L'analyse des erreurs et l'élaboration de modèles pour en rendre compte vont dès lors s'imposer comme une voie dominante et féconde de la recherche sur le dessin.

La tâche consistait à détecter un certain nombre d'erreurs introduites dans des dessins de pièces : traits absents ou en surnombre, erreurs de ponctuation des traits, erreurs de cotation. Les auteurs constatant qu'une activité préalable d'écriture n'élimine pas les erreurs de lecture, concluent à la nécessité d'une formation spécifique à la lecture. Un retour sur les protocoles pour analyser plus finement les erreurs révèle, chez les élèves, un manque de précision dans l'observation et une difficulté à mettre en relation de manière cohérente les observations effectuées. Pour rendre compte de ces difficultés et élaborer des épreuves d'entraînement à la lecture, la théorie de l'information, qui connaît alors un certain succès en psychologie comme modèle du traitement cognitif des afférences perceptives, s'impose comme le cadre conceptuel le plus indiqué. Le dessin est alors conçu comme le support perceptif d'informations, chaque trace ou "événement" graphique constituant un signal ou un indice qui requiert de la part du sujet une activité de recherche, de saisie et de traitement.

La progression mise au point par les auteurs s'avère effectivement efficace mais **la hiérarchie des difficultés prévue par les auteurs en référence à la théorie de l'information se trouve dans les faits infirmée.** L'analyse des résultats fait apparaître l'existence de difficultés de nature différente entre épreuves et même à l'intérieur de certains groupes

des références
théoriques
piagésiennes

d'épreuves considérées comme identiques. L'hypothèse initiale d'une progression linéaire des difficultés en fonction du nombre d'indices perceptifs traités au cours de la résolution du problème doit être rejetée.

En 1973, Weill-Fassina va procéder à une réinterprétation de ces résultats dans le cadre théorique élaboré par Piaget et Inhelder (1948) pour rendre compte de la construction de l'espace représentatif chez l'enfant. Elle propose de classer les épreuves en fonction du type d'espace représentatif géométrique requis pour les résoudre :

- **espace topologique**, fondé sur des relations de voisinage et d'ordre, des rabattements dans les plans horizontal et vertical ou des rotations ;
- **espace projectif**, impliquant la coordination des différents points de vue sous lesquels sont représentés les objets.

En confrontant ces catégories avec les conduites des sujets, elle met en évidence deux types de stratégies :

- **une stratégie "figurative"**, inadéquate à l'espace projectif car fonction d'une représentation topologique conduisant par exemple à juxtaposer les différentes vues orthogonales pour en déduire une vue d'ensemble ;
- **une stratégie "opératoire"**, consistant à exécuter les transformations nécessaires pour coordonner les différents points de vue et conduisant à la réussite, dans la mesure où les transformations sont réalisées de manière complète.

La formulation de ces hypothèses marque le passage d'une conception de la tâche de lecture considérée comme le traitement d'une combinatoire d'indices perceptifs hiérarchiquement indifférenciés à une conception en terme de l'adéquation de registres de fonctionnement cognitif à des problèmes graphiques différenciés selon leurs caractéristiques spatiales (Vermersch, 1976). En d'autres termes, à une hiérarchie structurelle des problèmes correspond une hiérarchie fonctionnelle des modalités de résolution.

Ces travaux initiaux de Weill-Fassina ont été décisifs à plusieurs points de vue :

- **ils ont pour la première fois permis de situer correctement le dessin technique comme signifiant spatial de contenus spatiaux et d'élaborer un modèle correspondant du traitement cognitif ;**
- ils ont permis la mise au point d'instruments de diagnostic de déficits opératoires (le test TDI) et de stratégies de remédiation (Higelé, 1984 ; Georges et Higelé, 1990) ;
- ils ont stimulé la recherche théorique permettant d'articuler les travaux piagésiens et la psychologie de l'apprentissage chez l'adulte (Vermersch et Weill-Fassina, 1985) ;
- ils ont été à l'origine d'une lignée féconde de recherches qui a donné lieu à de nombreux travaux, notamment doctoraux (par exemple : Bendib et Weill-Fassina, 1987 ; Rachedi, 1987).

le dessin comme
signifiant spatial

une conception
déficiente
des difficultés

Néanmoins les approches qui relèvent trop exclusivement de ce courant se heurtent à certaines limites. En premier lieu, en se centrant sur les aspects géométriques du dessin, elles évacuent d'autres dimensions dont on peut se demander quels sont les effets sur les apprentissages. Notamment, dans les épreuves de diagnostic et d'entraînement, les objets représentés (solides géométriques) et les modalités de leur représentation sont assez éloignés des objets référents habituels du dessin technique, ainsi que de ses normes de représentation graphique. Ceci pose le problème de la valeur écologique de ces épreuves et de la question du sens relativement aux connaissances qu'elles visent à constituer. Enfin, ces travaux ont comme point commun de s'inscrire dans une perspective déficiente : la source des difficultés que rencontre l'apprenant est un déficit opératoire. En conséquence, dans ce cadre, les voies d'approche des difficultés ne peuvent être que remédiatives : on aide l'élève à élaborer les moyens opératoires qui lui manquent (Higelé, *op. cit.*), ou prothétiques : on aide l'élève à construire un outil de résolution non spatiale de problèmes spatiaux (par exemple : un outil graphique : cf. Blin, Duron et Giriat, 1984).

Les travaux menés à l'INRP ont conduit à proposer une image moins réductrice du dessin technique en tant qu'objet d'apprentissage et à restituer dans sa complexité l'activité de lecture du dessin lorsqu'elle se déroule dans un contexte fonctionnel lui conférant du sens.

trois champs
conceptuels sont
concernés :
l'espace...

Tout d'abord, ces recherches ont montré que si effectivement le dessin technique était porteur de significations spatiales, les objets décrits ne sont pas pour autant technologiquement neutres. Les propriétés géométriques des objets techniques sont, de par leur nature, surdéterminées par des significations fonctionnelles :

- elles sont (au moins virtuellement) contraintes par des conditions de fabrication : elles doivent pouvoir être générées par des dispositifs matériels existants ;
- elles sont contraintes par des conditions de conservation et de comportement interne (fonctionnement) et externe (finalité) de l'objet technique.

... mais aussi,
la technologie...

Ces régularités technologiques propres aux référents habituels du dessin technique influent sur la lecture du dessin, notamment en fonction des connaissances techniques du lecteur. Elles facilitent par exemple le décodage d'un dessin lorsqu'une forme n'a pu être complètement décrite géométriquement (Bal *et al.*, 1984). Inversement, Rabardel (1982) montre que des "représentations préexistantes" à contenu technologique particulièrement prégnantes peuvent induire des lectures erronées. Ainsi, ces travaux mettent en évidence que parallèlement aux processus de lecture mettant en œuvre l'analyse et la coordination de données spatiales, il existe des stratégies fondées sur des représentations relatives aux aspects technologiques.

Cependant, outre cette dimension technologique, il convient de tenir compte d'une troisième dimension intervenant dans les processus de lecture du dessin technique qui relativise encore le poids des aspects purement spatiaux : c'est la dimension sémiotique.

... et
la sémiologie

Les analyses sémiologiques conduites par Rabardel (1980) ont mis en évidence le caractère systémique du code graphique du dessin technique : il comporte un ensemble complexe d'unités sémiques associant à des traces graphiques différenciées (signifiants), des contenus de signification également différenciés (signifiés). Cet ensemble d'unités sémiques est muni de règles d'écriture et de composition qui permettent de produire des "messages" relatifs aux objets décrits mais aussi relatifs au fonctionnement du code lui-même et nécessaires pour conduire l'activité de décodage. Plus récemment, Rabardel, Rak et Vérillon (1988) montrent que le code reflète une structure des fonctions assurées par le dessin, elle-même associée à une structure des solutions. La structure des fonctions apparaît comme très stable à travers les champs professionnels et le temps. En revanche, la structure des solutions qui permettent d'accomplir ces fonctions est susceptible de variation. Ainsi, par exemple, la fonction de coordination des vues est assurée différemment sous les normes européenne et américaine.

La prise en compte du rôle des connaissances d'ordre technologique et sémiotique dans l'apprentissage du dessin a permis d'élargir les cadres conceptuels et problématiques tant en psychologie qu'en didactique au delà des seuls aspects spatiaux. **L'apprentissage est dorénavant conçu comme la maîtrise progressive et solidaire par l'apprenant de trois champs conceptuels : le code, la géométrie et la technologie.**

2. UN ENSEMBLE DE PROPOSITIONS DIDACTIQUES

Les propositions didactiques formulées par l'équipe de l'INRP et destinées aux enseignants exerçant au lycée professionnel ou en technologie au collège dérivent de cette conception élargie du dessin (Vérillon et Rabardel, 1993). Nous présentons, dans cette seconde partie, la philosophie générale de ces propositions ainsi qu'une analyse du savoir de référence et des cadres de compréhension des apprenants. Ensuite nous donnons un aperçu détaillé d'un des modules de formation. Enfin, pour un module différent, nous relatons une expérience de validation de la démarche.

une approche
instrumentale et
fonctionnelle

Nous considérons le dessin technique comme un instrument, c'est-à-dire comme un dispositif qui a été conçu dans des conditions socio-techniques données pour opérer un

certain traitement du réel, finalité que reflètent ses propriétés structurelles et fonctionnelles.

À la différence des instruments matériels, les traitements qu'il permet d'opérer sont de nature symbolique, ce qui nous conduit à le caractériser, de manière générique avec l'ensemble des moyens de représentation graphique, comme un **instrument sémiotique**.

Comme pour tout instrument, son appropriation par l'utilisateur nécessite que celui-ci élabore les schèmes nécessaires à sa mise en œuvre. Ces schèmes d'utilisation peuvent résulter de la mémorisation de procédures existantes. Les règles et normes sont alors apprises comme des choses en soi, assorties d'un ensemble de prescriptions portant sur les procédures à appliquer dans tel ou tel cas. Néanmoins, l'évolution des compétences, s'opérant en extension par accumulation, interdit toute adaptation à des changements rapides du contexte.

acquérir une
maîtrise
générative du
dessin

Or, à l'évidence, dans un environnement socio-technique en forte évolution, les futurs ouvriers et techniciens devront posséder **une maîtrise dynamique et générative d'une pluralité de moyens de représentation graphique** ; c'est-à-dire d'une maîtrise capable, à l'opposé d'une maîtrise procédurale, d'engendrer elle-même des solutions nouvelles à un problème inédit. La question des conditions de la formation d'une telle maîtrise par les élèves s'avère donc cruciale pour la didactique de la communication technique.

Nous faisons l'hypothèse qu'une de ces conditions passe par l'acquisition par les élèves d'une connaissance fonctionnelle des instruments graphiques techniques. Nous entendons par là un ensemble de représentations mentales, plus ou moins élaborées, plus ou moins solidaires, relatives aux caractéristiques propres de l'instrument (finalité, structure, règles de fonctionnement), à la nature du traitement opéré par l'instrument, ainsi qu'aux propriétés des objets et situations de référence pertinentes par rapport à ce traitement.

L'ensemble du dispositif de formation à la communication technique élaboré par l'équipe de l'INRP est composé de quatre modules.

des modules de
formation...

Le premier, intitulé "**Communiquer les informations nécessaires à l'action technique**" propose un cadre conceptuel pour penser et nommer les processus et les instruments de communication (notion d'information, de code, distinction référent/signifié/signifiant, distinction fonction/solution...). L'accent est mis sur la dimension fonctionnelle des dispositifs de communication, notamment dans des contextes techniques (pluralité des tâches et, corrélativement, spécificité fonctionnelle des codes techniques).

...centrés sur des
problèmes

Les trois autres modules traitent, à partir de la fonction globale assignée au dessin technique, des solutions apportées à trois ensembles de problèmes :

mettre en avant
la dimension
fonctionnelle
des codes
techniques

- la représentation analogique des formes et dimensions des objets (module 2),
- la représentation des formes cachées (module 3),
- les limites de la représentation analogique et le recours à des moyens symboliques (module 4).

Dans chaque cas, les propriétés fonctionnelles des solutions apportées par l'instrument sémiotique sont mises en relation avec les caractéristiques des objets et tâches de référence ainsi qu'avec les contraintes d'utilisation (lecture et écriture).

Le module 2, que seul nous présenterons plus loin en détail, s'intitule "**Communiquer des informations relatives aux formes extérieures et aux dimensions des objets**" et introduit le système projectif du dessin technique, à la base de son mode de représentation analogique.

Les options que nous avons prises au niveau de l'organisation du contenu à enseigner ont pour source à la fois **les savoirs de référence relatifs au dessin**, c'est-à-dire sa géométrie et sa sémiologie, et les connaissances que nous avons **des cadres cognitifs que peuvent mettre en œuvre des élèves** de formation initiale à l'âge du collège ou du lycée professionnel.

2.1. Les savoirs de référence

la sémiologie
des codes
graphiques de
communication
technique

Les savoirs de référence concernant les caractéristiques fonctionnelles et structurales d'un instrument sémiotique tel que le dessin technique relèvent de la sémiologie des codes graphiques de communication technique. Nous avons vu qu'elle met en évidence l'existence d'une stabilité relative des fonctions qui lui sont assignées : **représenter graphiquement les données concernant la forme, les dimensions, la matière, les positions relatives des objets ou ensembles d'objets décrits**. En revanche, les solutions qui réalisent ces fonctions, ont connu des évolutions importantes au cours de l'histoire du dessin.

Le tableau 1 montre comment ces différentes fonctions (en colonnes) sont prises en charge au plan des solutions graphiques (en lignes) dans le dessin de définition d'une pièce d'aujourd'hui. Il met notamment en évidence la pluralité des systèmes (symboliques, numériques, langagiers, etc.) mis en œuvre dans un même dessin.

la représentation
analogique
des formes et
des dimensions

Le système figurant à la première ligne du tableau constitue la clé de voûte du dessin technique : le code de représentation analogique des formes et dimensions. Celui-ci permet, grâce à l'articulation d'un dispositif géométrique et d'un dispositif d'expression graphique, un codage "figuratif" de l'information.

**Tableau 1. Analyse d'ensemble des relations fonctions/solutions
dans le dessin de définition**

Fonctions : contenus à exprimer	Formes	Positions	Dimensions	Matière
	Nature de la forme	Écart à la forme ou position théorique		
Solutions : moyens d'expression				
Projection avec signifiant analogique	Formes des contours et intersection de surfaces		Condition de vraie grandeur : parallélisme de la forme au plan de projection	
Projection avec signifiant symbolique	Formes technologiques (filetages, engrenages...) Symétries		Mêmes conditions si le signifiant est analogique pour les dimensions	
Entités graphiques symboliques		Symboles et données numériques associés à une représentation graphique		Hachurage conventionnel des zones de la représentation en coupe
Données numériques			Cotation au tableau de coordonnées rattachées à une représentation graphique	
Indications langagières	Exemple : sphère diamètre x associée à une représentation graphique			Indication en clair dans la nomenclature reliée à la représentation graphique par n° de pièce

• **Le dispositif géométrique du dessin technique**

La géométrie intervient essentiellement à trois niveaux dans le dessin technique.

- Elle fournit les concepts pour penser les formes des surfaces élémentaires rencontrées en fabrication mécanique et donc susceptibles d'être codées en dessin technique.
- Elle fournit le principe de description des objets référents : la projection orthogonale qui détermine les invariants fondamentaux du système :
 - les formes, les dimensions, les angles de l'objet restent invariants lorsqu'ils sont situés dans un plan parallèle au plan de projection (propriété de "vraie grandeur") ;
 - les variations de forme, de dimension, d'angle sont systématiques et sont fonction de leur inclinaison par rapport au plan de projection ;
 - une rotation de l'objet - ou du plan de projection autour de l'objet - maintient invariantes les dimensions parallèles à l'axe de rotation.
- Elle règle le problème du positionnement relatif du sujet, (dessinateur ou lecteur), de l'objet référent et des plans de projection.

• **Le dispositif d'expression graphique**

Le dispositif de description géométrique des objets est codé dans le dessin technique, ce qui a pour conséquence de déterminer un **espace graphique**, bidimensionnel, distinct mais en relation avec l'espace 3D.

Ce codage graphique est réalisé par un système assez complexe comportant un ensemble d'unités sémiotiques se différenciant tant au niveau des **signifiants** (les traces graphiques) qu'au niveau des **signifiés** (les types d'informations véhiculés). Pour ce qui concerne la fonction qui nous intéresse - la représentation analogique des formes et des dimensions - ce code associe à des descripteurs d'objet (limite de matière et intersection de surfaces), et à des valeurs possibles de ces descripteurs (existence ou non de matière entre la partie de l'objet décrite et sa projection), des traits de segmentation et d'épaisseur différents.

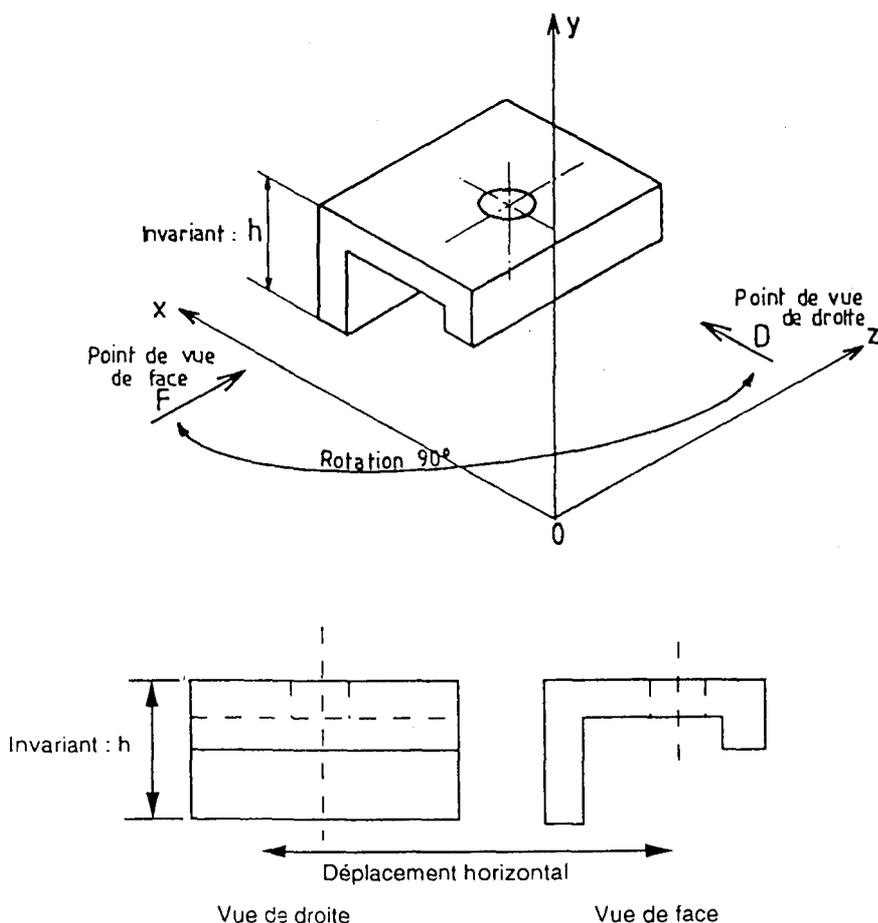
Articulé avec le système projectif, ce code permet d'obtenir des **représentations graphiques d'objets munies de propriétés conservantes de la projection orthogonale**.

Mais le système de positionnement relatif objet/plans de projection trouve également son expression dans l'espace 2D du dessin. Ainsi la position conventionnelle, l'orientation et l'alignement des six vues dans l'espace graphique constituent l'expression de la position relative de l'objet et des plans de projection dans l'espace 3D. Cette convention permet de faire correspondre à une transformation dans l'espace tridimensionnel une transformation dans l'espace graphique qui lui soit équivalente dans la mesure où elle conserve les mêmes invariants.

un système
sémiotique
assez complexe

conserver dans
l'espace 2D ...

Figure 1. Exemple de correspondance entre l'espace 3D et l'espace graphique



... des invariants
de l'espace 3D

Par exemple, à une rotation de 90° sur un axe vertical de l'objet (fig. 1), correspond une translation horizontale dans l'espace graphique de la vue de face à la vue de droite. Ces deux transformations conservent les mêmes invariants : toutes les dimensions conservées par la rotation (celles qui sont parallèles à son axe) sont également conservées par le déplacement dans le dessin (celles qui sont perpendiculaires à la translation).

• Les codes symboliques

La représentation analogique des formes et des dimensions constitue la fonction la plus caractéristique du dessin technique mais tous les traits dans une vue ne participent pas, loin s'en faut, de cette fonction. À l'instar de nombreux

autres graphismes techniques, une partie des informations est véhiculée de manière symbolique.

C'est le cas, par exemple, des hachures de plan de coupe qui ne représentent pas une forme. Inversement, et c'est un aspect souvent ignoré dans l'enseignement, toutes les formes d'objet ne sont pas en dessin technique représentées de manière analogique. C'est notamment le cas des parties filetées. Leur représentation figurative serait à la fois coûteuse en travail graphique et extrêmement redondante. En outre, la lisibilité de dessins de pièces comportant de nombreux filetages serait amoindrie en raison du nombre élevé de traits nécessaire à leur représentation. Leur représentation symbolique par un signifiant particulier (le couple trait fort/trait fin) s'est donc imposée comme la solution la plus économique.

la représentation
symbolique
constitue
une rupture

Cependant, **ce mode de représentation constitue dans le dessin une rupture par rapport au code analogique dominant**, qui, à défaut d'être signalée et justifiée dans sa fonctionnalité aux élèves, est à l'origine de difficultés nombreuses et durables.

2.2. Les cadres cognitifs des élèves

Le travail de construction des propriétés géométriques et sémiotiques du système projectif du dessin que nous proposons aux élèves s'appuie sur les travaux de psychologie génétique de Piaget et Inhelder (*op. cit.*).

construire
les rapports
projectifs

Ceux-ci ont montré que l'intériorisation des rapports projectifs nécessite au moins au départ la participation du sujet à des activités exploratoires et transformatrices. C'est la raison pour laquelle nous avons développé, à chaque étape de la formation, des activités engageant la motricité et la sensorialité des élèves : manipulations d'objets et de maquettes, projections d'ombres, déplacements réglés d'objets, du corps propre, de mannequins, etc. Nous attendons de ces activités que chaque nouveau contenu de formation puisse s'ancrer sur des constats empiriques, des prises de conscience et des raisonnements explicites effectués par l'élève à l'occasion de transformations conduites par lui.

partir des
relations
subjectives
sujet-objet

Toujours en tenant compte des enseignements de la psychologie génétique, nous avons choisi de présenter le système projectif du dessin à partir des relations sujet-objet plutôt qu'à partir de relations inter-objets comme le font nécessairement les approches par des projections indépendantes du sujet.

Au plan didactique, pour rendre compte du processus de construction des vues, nous avons adopté une approche géométrique mettant en œuvre un système articulé de points de vue sur un objet.

Nous présentons donc le dispositif géométrique du dessin technique comme étant l'ensemble des relations, opérations et propriétés invariantes (ou systématiquement variation-

un système
articulé de points
de vue

nelles) d'un système composé d'un objet de référence et d'un observateur dont les directions de regard sont parallèles entre elles et perpendiculaires à son plan visuel. En outre, le couple objet-observateur est orienté dans l'espace à l'intérieur d'un référentiel tridimensionnel (verticale/horizontale/profondeur), ce que traduisent les valeurs "dessus", "dessous", "gauche", "derrière".

Cette présentation a l'avantage d'être cohérente non seulement avec les données de la psychologie génétique mais aussi avec les pratiques sociales et langagières de référence : on parle de "vue", d'opposition "vu/caché", etc. En outre, elle est formellement équivalente à une approche dérivée de la descriptive (Bal *et al.*, *op. cit.*).

Dans ces conditions, on appelle **direction du regard de l'observateur**, la direction de ses rayons visuels, et **point de vue de l'observateur**, la zone théorique de l'espace où se trouve l'observateur telle que ses rayons visuels ont tous la même direction. On distingue deux points de vue opposés sur chaque direction de regard ce qui permet dans les cas conventionnels d'obtenir les six vues du dessin.

prendre
conscience du
point de vue
propre

Les tâches proposées aux élèves dans la séquence consistent à décrire, représenter ce qu'ils perçoivent sous leur point de vue. Par exemple il s'agira de dessiner à main levée un solide géométrique exposé dans un lieu de la salle, ou d'identifier parmi des vues de ce solide celle qui correspond à son point de vue.

Ces données sont relativisées ensuite par comparaison avec d'autres dessins ou vues obtenus sous d'autres points de vue par d'autres élèves ou par le même élève ayant changé de place. La discussion porte sur les transformations observées. Elle permet de prendre conscience du fait que, dans le référentiel défini, il existe une infinité de points de vue possibles de l'observateur sur l'objet et donc, en fonction de la direction de regard, de vues différentes quand on fait varier la position relative observateur-objet.

Il est cependant possible de dégager certaines régularités à l'intérieur de cette diversité.

dégager des
invariants
remarquables

- Tout changement de vue obtenu par un déplacement de l'objet peut être obtenu par un déplacement réciproque de l'observateur.

- Les formes, les dimensions, les angles sur l'objet sont conservés dans la vue qu'en a l'observateur lorsqu'ils sont situés dans un plan parallèle à son tableau visuel.

- De même leur variation est systématique lorsque le point de vue change : par exemple la dimension d'un segment de droite vu est fonction de son angle avec le plan visuel.

- Certains déplacements remarquables de l'objet (ou réciproquement de l'observateur) maintiennent invariants certaines dimensions vues sur l'objet. Par exemple, une rotation de l'objet sur son axe vertical conserve les dimensions verticales alors que les dimensions horizontales varient.

l'insuffisance
d'un point de
vue unique

- Lorsqu'il se trouve parallèle à la direction du regard, un segment de droite est vu comme un point, un plan comme un segment de droite.

Enfin il est déterminant que les élèves conçoivent la nécessité d'une coordination d'ensemble des points de vue, permettant leur constitution en système.

L'apprentissage commence par la prise de conscience de l'insuffisance d'un point de vue unique pour s'assurer de la forme d'une surface. Une ou plusieurs vues supplémentaires permettent la plupart du temps de lever les incertitudes concernant la forme représentée. Encore faut-il connaître les points de vue sous lesquels ces vues supplémentaires ont été obtenues. Le système conventionnel des points de vue et son codage dans le dessin sont présentés comme une solution à ce problème. Les relations entre points de vue dans l'espace 3D et entre les actions dans cet espace et celles dans l'espace graphique sont systématiquement explorées.

2.3. Éléments d'élaboration du savoir à enseigner

Au sein du deuxième module, dont nous allons donner à présent un aperçu, le déroulement de la formation s'effectue en trois étapes qui correspondent à trois niveaux d'élaboration progressive de l'instrument par les élèves :

- de l'objet à l'image de ses formes,
- de l'objet à l'image de ses dimensions,
- vers une définition complète des formes des objets.

• De l'objet à l'image de ses formes

obtenir une
image d'objets
solides

Le passage de l'objet à sa représentation graphique soulève un problème fondamental : comment peut-on dans l'espace bidimensionnel que constituent les supports graphiques (papier, écran, etc.) obtenir une image d'objets solides, reflétant l'ensemble de leurs propriétés morphologiques et dimensionnelles - données requises, par exemple, par des tâches de fabrication ?

La démarche proposée consiste à partir d'une analyse de l'objet à représenter et à dégager progressivement les étapes de la construction de son image en dessin technique. **Une image qui doit permettre à son utilisateur de retrouver un certain nombre d'informations concernant l'objet à partir de sa seule représentation graphique.**

Nous distinguons dans ce processus six moments d'élaboration conceptuelle que nous allons brièvement caractériser et qui s'appuient bien entendu sur des activités proposées aux élèves.

- **Analyse de l'objet.** Analyse de formes d'objets techniques réels en fonction de solides géométriques de référence : polyèdres, sphère, cône, cylindre, tore. Travail, en présence de solides manipulables, sur le vocabulaire, les propriétés géométriques des différentes formes.

six moments
d'élaboration

- **Définition des limites de matière/non matière.** Centration sur les limites de matière extérieures et intérieures d'objets. Ces limites sont présentées comme un ensemble de surfaces de différentes formes et dont les rencontres donnent lieu à des intersections de surfaces, perceptibles ou non, elles aussi de différentes formes.

- **L'observateur et sa position.** Introduction de la notion d'observateur. On se centre sur la relation optique à l'objet. Le point de vue définit la position de l'observateur par rapport à l'objet. Les manipulations visent à faire prendre conscience des conditions de changement de position relative observateur/objet (équivalence de déplacements objet et de déplacements observateur), des invariants constatables sous certaines transformations remarquables.

- **La direction de regard.** Elle se définit comme la direction des rayons visuels qui, sous un point de vue donné, joignent l'œil de l'observateur à l'objet. On convient que ces rayons sont parallèles entre eux et orthogonaux au plan visuel de l'observation. Discussion du caractère théorique de cette convention.

- **Constitution de l'image graphique de l'objet.** L'image de l'objet-référent est la représentation par un trait (signifiant) de ses limites de matière et/ou intersections de surfaces perceptibles (signifiés), dans les conditions optiques définies, par un observateur d'un point de vue donné. Cette image constitue une "vue" de l'objet. Le trait (ici continu fort) est une unité sémique du dessin.

- **La flèche.** Elle est présentée comme l'expression, dans une vue, d'une direction de regard autre que celle ayant permis de produire cette vue. La flèche est une unité sémique du dessin.

• De l'objet à l'image de ses dimensions

la représentation
graphique
modifie les
dimensions

Dans les conditions définies précédemment, l'image d'un objet ne conserve ses caractéristiques dimensionnelles que dans certaines conditions remarquables d'échelle et de direction du regard. Ces deux sources de variation des dimensions dans le dessin sont abordées.

- **L'échelle.** Prise de conscience des propriétés conservées sous le changement d'échelle.

- **L'inclinaison des formes par rapport à la direction de regard.** Elle modifie la perception de leurs dimensions ; prise de conscience des variations systématiques et des invariants remarquables (comme la condition de "vraie grandeur", obtenue lorsque les limites de matière et les intersections de surfaces sont situées dans un plan perpendiculaire à la direction du regard).

- **Concernant l'introduction des dimensions chiffrées et des conventions de cotation :** ce point ne sera pas développé ici dans la mesure où il ne concerne pas directement les aspects projectifs du dessin technique.

• **Vers une définition complète des formes des objets**

À ce point de la démarche, les moyens de définition d'une image de l'objet ne permettent pas encore la représentation complète de ses formes et dimensions. C'est l'objectif de cette dernière partie du module que de dégager les conditions de cette représentation.

- **Un point de vue privilégié.** Il permet d'obtenir une image de l'objet en "vraie grandeur". Une telle image constitue une "vue principale".

- **Le système des points de vue.** Prise de conscience de l'impossibilité de définir une forme à partir d'une seule vue, fut-elle principale. Nécessité, à la fois d'associer plusieurs points de vue, et de pouvoir les repérer les uns par rapport aux autres. Solution : six points de vue orthogonaux (qui pour des raisons liées à la morphologie des objets mécaniques fournissent un maximum de dimensions en "vraie grandeur") repérés par rapport à une vue dite "de face".

Pour pouvoir coordonner les vues, ce système de points de vue doit nécessairement trouver une expression dans l'espace graphique. D'où les deux solutions qui suivent.

- **La flèche.** Elle exprime une direction de regard par rapport à une vue donnée et peut renvoyer à une autre vue : "vue suivant F".

- **Le positionnement conventionnel des vues.** C'est la disposition normée des six vues dans l'espace graphique.

2.4. Éléments de validation

Une expérience que nous allons, pour conclure, relater permettra d'illustrer ce que nous entendons par la maîtrise générative d'instruments sémiotiques (une maîtrise capable, face à un problème inédit de générer d'elle-même une réponse adaptée). Elle permettra, d'autre part, d'étayer notre hypothèse d'une supériorité sur ce plan des présentations didactiques se référant à la fonctionnalité effective de ces instruments.

Ainsi que nous l'avons indiqué, si la représentation analogique des formes constitue dans le dessin technique le mode privilégié d'expression, une partie des informations relatives aux formes est néanmoins véhiculée, pour des raisons d'économie du travail d'écriture et de lecture, sous forme symbolique. Cette rupture avec le code analogique dominant, qui intervient le plus souvent en fin de formation, notamment lorsque l'on aborde le problème de la représentation des formes filetées, doit être signalée aux élèves et justifiée sur le plan de sa fonctionnalité sémiotique. C'est l'objectif assigné au module 4. L'expérience (Bal *et al.*, 1987) avait pour but d'en tester les options didactiques.

Les sujets, deux groupes d'élèves de deuxième année de CAP, ont été confrontés à la tâche de dessiner deux vis : une

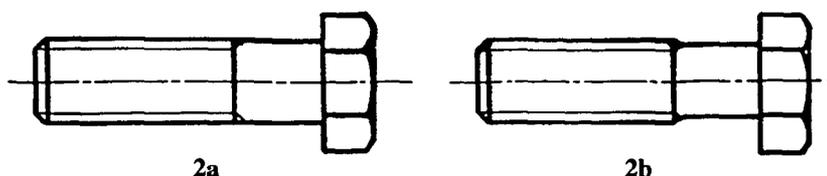
le système des points de vue

une rupture du code de représentation

une tâche,
deux groupes
d'élèves ...

à filets taillés, une à filets roulés. Ils avaient auparavant reçu une formation, identique dans les deux groupes, relative aux procédés de fabrication des deux types de vis. Les filets taillés sont obtenus par enlèvement de matière de sorte que le diamètre du cylindre enveloppe de leurs sommets est égal à celui de la tige dans laquelle ils ont été taillés. En revanche, les filets roulés sont obtenus par une déformation du métal, ce qui a pour conséquence de faire saillir leurs sommets par rapport à la tige initiale. Cette différence morphologique se traduit au niveau de leur représentation graphique (fig. 2).

Figure 2 : 2a. Vis à filets taillés, 2b. Vis à filets roulés



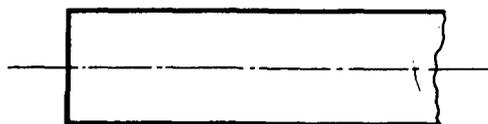
La variable sur laquelle se distinguaient les deux groupes était le type de formation à la représentation des formes filetées reçue par les élèves.

... deux
formations

Le premier groupe avait reçu une formation se caractérisant par l'emploi, très répandu, d'une métaphore liée à la fabrication. Schématiquement :

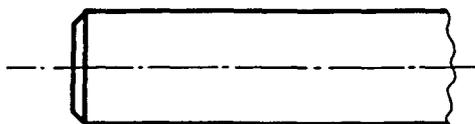
- on prend une tige cylindrique :

Figure 3



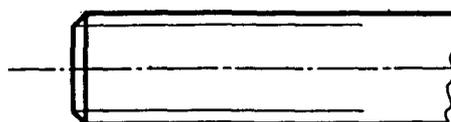
- on fait un chanfrein pour permettre le montage de la filière ;

Figure 4



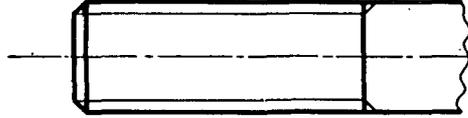
- on passe la filière ;

Figure 5



- les filets ne s'arrêtent pas d'un seul coup : ils sont incomplets.

Figure 6



une occulte
la rupture ..

Sous cette justification, la représentation graphique des formes filetées apparaît donc comme le dessin analogique d'une tige lisse chanfreinée avec adjonction d'un cylindre passant au fond des filets, représenté en traits fins. Cette présentation cumule deux défauts majeurs par rapport à la réalité sémiologique. Elle occulte la rupture que constitue le passage d'un mode analogique à un mode symbolique de représentation. Par contre, elle introduit une fausse rupture en référant les contenus de la représentation non plus aux formes de l'objet mais à son mode de fabrication.

Le second groupe avait reçu une formation fondée sur l'analyse sémiologique du code faisant apparaître :

... l'autre pas

- la substitution au code analogique habituel d'un code symbolique pour la représentation des parties filetées d'objets ;
- les propriétés de la nouvelle unité sémique introduite : le couple trait fort/trait fin ; étant non analogique, son signifiant est arbitraire, sa forme particulière répond à des critères de visibilité, mais elle permet surtout l'expression, grâce aux deux positions relatives possibles du couple de traits par rapport à la représentation de l'axe de rotation de la pièce, des deux signifiés de ce code : "forme filetée creuse" et "forme filetée pleine" ;
- la valeur du diamètre nominal de la partie filetée est représentée par la distance entre les traits fins sur le dessin d'une pièce creuse et entre les traits forts sur celui d'une pièce pleine.

L'analyse des performances des deux groupes d'élèves (tableau 2) tend à confirmer notre hypothèse : la présentation "procédurale" permet de bons résultats, comparables à ceux de la présentation "généralisatrice", lorsque les élèves sont confrontés à un problème identifié et constitué en objet de formation (la représentation de la vis à filets taillés).

Tableau 2. Performances des deux groupes d'élèves

	Vis à filets taillés			Vis à filets roulés		
	Bon	Inversion	Non décidable	Bon	Inversion	Non décidable
Groupe 1 N = 19 Formation liée à la fabrication	73,7 %	7,9 %	18,4 %	34,2 %	39,5 %	26,3 %
Groupe 2 N = 41 Formation par analyse fonctionnelle du code	92,7 %	1,2 %	6,1 %	75,6 %	12,2 %	12,2 %

avantage à une
présentation
fonctionnelle
du code

En revanche, face à un contenu de tâche légèrement différent mais de nature inédite (le dessin de la vis à filets roulés), la compétence de type procédural trouve ses limites avec deux tiers d'échecs. 39,5% des erreurs peuvent être interprétées comme une tentative des élèves d'adapter la procédure enseignée : ils ont dans un premier temps dessiné en traits forts la tige initiale puis, en saillie, les traits fins correspondant, selon eux, à la fabrication de filets roulés (fig. 7).

Figure 7

À l'inverse, la formation "généraliste", fondée sur une approche fonctionnaliste du code, a permis dans les trois quarts des cas aux élèves de constituer un instrument sémiotique permettant la résolution d'un problème non encore rencontré.

3. CONCLUSION

Contrairement aux approches psychologiques et didactiques qui mettent l'accent sur les déterminations **internes** à l'apprenant (ressources ou déficits opératoires) dans la réussite des apprentissages, cette approche accorde une importance particulière aux déterminations **externes**. Même si elle n'exclut pas la possibilité de déficits opératoires chez l'élève, elle vise d'abord à organiser les contenus à enseigner de façon à ce que les instruments assimilateurs dont il dispose effectivement puissent fonctionner dans les meilleures conditions d'efficacité. Elle fait l'hypothèse que les compétences opératoires des élèves sont au moins partiellement dépendantes de leurs représentations. Elle parie sur un effet structurant des contenus d'enseignement et des tâches lorsque ceux-ci sont présentés et justifiés par rapport à leurs fondements fonctionnels.

Pierre VÉRILLON
Unité "Processus cognitifs et didactique
des enseignements technologiques".
INRP

BIBLIOGRAPHIE

BAL J.-J., RABARDEL P., et VÉRILLON P. (1984). "Présenter la géométrie du dessin technique". In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique : des constats d'échec et des moyens de réussite*. Collection Rapports de Recherche n°9. Paris : INRP. (pp. 13-47).

BAL J.-J., BLANCHARD M., FLAHAUT J.-C., JOUANNE M., KRENKER D., RABARDEL P. et VÉRILLON P. (1987). "Utilisation de l'approche sémiologique pour un enseignement fonctionnel du dessin". In RABARDEL P. et WEILL-FASSINA A. (Éds.), *Le Dessin Technique*. Paris : Hermès. (pp.189-196).

BENDIB Z. et WEILL-FASSINA A. (1987). "Le rôle du dessin dans une tâche de montage mécanique". In RABARDEL P. et WEILL-FASSINA A. (Éds.), *Le Dessin Technique*. Paris : Hermès. (pp. 219-226).

BLIN C., DURON B. et GIRIAT H. (1984). "Des outils pour aborder le dessin technique". In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique*. Paris : INRP. (pp. 49-116).

FASSINA A. et PETIT R. (1969). "Les erreurs de lecture en dessin industriel". *Bulletin du CERP*, 18, 1.

GEORGES Y. et HIGELÉ P. (1990). *Ateliers de dessin technique*. Paris : Dunod.

HIGELÉ P. (1984). "L'apprentissage des opérations projectives". In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique*. Paris : INRP. (pp. 117-162).

LEPLAT J. et PETIT R. (1965). "Relations entre le dessin et les exercices pratiques dans l'apprentissage d'un métier manuel". *Bulletin du CERP*, 14, 1-2.

PIAGET J. et INHELDER B. (1947). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris : PUF.

RABARDEL P. (1980). *Contribution à l'étude de la lecture du dessin technique*. Thèse de 3ème cycle, Paris : E.H.E.S.S..

RABARDEL P. (1982). "Influence des représentations préexistantes sur la lecture du dessin technique". *Le Travail Humain*, 2.

RABARDEL P., RAK I., VÉRILLON P. et collaborateurs (1988). *Machines outils à commande numérique : approches didactiques*. Collection Rapports de Recherche n° 3. Paris : INRP.

RACHEDI Y. (1987). "Modalités d'utilisation des plans dans la construction d'un ouvrage en maçonnerie". In RABARDEL P. et WEILL-FASSINA A. (Éds.), *Le Dessin Technique*. Paris : Hermès. (pp. 227-234).

SPENCER J. (1965). "Experiments on engineering drawing comprehension." *Ergonomics*, 8, 93-110.

VÉRILLON P. et RABARDEL P. (1993). "De l'analyse des compétences à l'élaboration des contenus : contribution de la psychologie et de la sémiologie à la conception en ingénierie didactique". In BESSOT A. et VÉRILLON P. (Éds.), *Espaces graphiques et graphismes d'espaces*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

VERMERSCH P. (1976). *Une approche de la régulation de l'action chez l'adulte, registres de fonctionnement, déséquilibre transitoire et microgenèse*. Thèse de 3ème cycle, Paris.

VERMERSCH P. et 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 (4), 331-340.

WEILL-FASSINA A. (1973). "Lecture du dessin industriel, perspectives d'étude". *Le Travail Humain*, 36, 1.