

Jean-Pierre POITOU

Nouvelles technologies et élévation des qualifications

:

à propos du rôle de la visuo-motricité et de la motricité graphique dans l'activité cognitive globale du technicien de bureau d'étude*

Les nouvelles technologies sont souvent mises en oeuvre comme développement d'une possibilité technique existante, et pas assez souvent conçues d'abord comme un moyen en vue d'une fin prédéterminée et assignée d'avance. Dans les cas heureux correspondent à cette seconde possibilité, on se contente trop souvent d'une adaptation étroitement ergonomique du nouvel instrument aux nécessités immédiates de son utilisation humaine. L'enquête préalable à la réalisation de la nouvelle application est rarement étendue à l'ensemble des variables cognitives, psycho-sociologiques, sociales et économiques de ces conditions d'utilisation. Encore plus rarement voit-on ces variables examinées avant toute élaboration de solution technique, afin de guider précisément ensuite l'enquête sur les technologies adaptées à l'objectif assigné, et le développement à cette fin des technologies retenues comme susceptibles

* Ce texte développe une contribution présentée au Colloque : *7th International Workshop of the International Study Group "New Technologies and Work - NeTWork"* sur le thème *Managing New Technologies*, (Werner-Reimers Stiftung, Bad Homburg, Germany, 3-5 mai 1990).

d'y servir. Cette démarche faciliterait cependant une adoption aisée des nouveautés technologiques par les entreprises et les hommes, et l'adaptation sans bouleversements majeurs de ces nouveautés aux conditions économiques et sociales. Cette dernière démarche a présidé à la prédéfinition (Poitou, 1989) et à la réalisation (Poitou *et al.*, 1992) du prototype d'un poste de travail autostéréoscopique interactif de Conception Assistée par Ordinateur (CAO), présenté récemment sous le nom de STEREO, ou Système Tridimensionnel en Relief par Ordinateur.

Je ne donnerai ici qu'une description succincte de ce poste de travail, qu'on pourrait appeler un "écran en ronde bosse", et sur lequel on trouvera des informations détaillées dans les deux références précédentes. Je m'attacherai surtout dans les lignes qui suivent à exposer les considérations issues les unes des sciences sociales, les autres des sciences cognitives, qui ont concouru à l'élaboration des spécifications du système STEREO, dans le but d'enrichir l'activité cognitive globale du technicien de bureau d'étude par les apports cognitifs de la visuo-motricité et de la motricité graphique.

Dans une première partie, je tenterai d'abord de cerner les composantes cognitives, mais aussi sociales et économiques de la qualification technique. Puis je définirai les risques que le passage à ce qu'on a appelé le modèle néo-industriel, appuyé sur les modifications techniques récentes, fait courir aux compétences des techniciens. Je prendrai alors l'exemple de la CAO pour montrer comment les conditions socio-économiques de l'évolution technique compromettent le développement des habiletés manuelles graphiques des techniciens des bureaux d'études et par là leur activité cognitive globale.

Dans la seconde partie en effet, je montrerai en quoi visuo-motricité et motricité graphique exigent une activité cognitive d'organisation, de coordination et de contrôle susceptible de contribuer à la compréhension globale des relations spatiales et à la solution géométrique des problèmes techniques.

En conclusion, j'indiquerai comment ces considérations ont mené aux spécifications du système STEREO qui vise à tirer tout le bénéfice concevable des techniques nouvelles, afin de surmonter les difficultés présentes des techniciens d'étude, enrichir leurs tâches, et développer ainsi avec les habiletés manuelles graphiques, la qualification professionnelle.

1. Problèmes cognitifs du modèle néo-industriel

1.1. Habileté, compétence, qualification : problèmes de définition selon les dimensions économiques, sociales, psychiques

L'activité cognitive des techniciens, dans les conditions de l'exercice professionnel effectif, se présente comme le déploiement en actes d'un ensemble complexe et hétérogène de compétences théoriques et pratiques. Pour désigner et analyser ces “ensembles stabilisés de savoirs et de savoir-faire, de conduites-types, de procédures-standards, de types de raisonnement, que l'on peut mettre en oeuvre sans apprentissage nouveau” (Montmollin, 1984, p. 122), il existe divers points de vue, auxquels correspondent des termes différents.

Du point de vue du fonctionnement opératoire et de ses déterminants cognitifs, ce que Leplat et Pailhous (1981) nomment “habileté” (et qui pour une part, peut se traduire en anglais par *skill*) “caractérise une activité ayant atteint un niveau élevé d'intériorisation, qui se manifeste notamment par une exécution rapide, précise et susceptible d'être menée en parallèle avec d'autres activités” (p. 276). Cette définition nous conduit opportunément à prendre en compte non seulement les activités purement mentales, mais aussi les activités sensori-motrices, et ce que l'on nomme automatismes cognitifs. J'y viendrai au paragraphe suivant. Cependant Montmollin (1984) souligne à juste titre que l'automatisation et la routine ne sont ni essentiels, ni suffisants pour définir ces activités. Il propose le terme de *compétence*, inspiré de la linguistique chomskienne,

pour marquer que l'on a affaire à des structures disponibles, adaptées à l'accomplissement de certaines familles de tâches, comme la compétence du locuteur manifeste une capacité à produire et comprendre un nombre indéfini de phrases.

Ni le terme d'*habileté*, ni celui de *compétence* ne réfèrent exclusivement à une activité professionnelle. Le terme anglais de *skill* renvoie à la fois à une compétence individuelle sans référence au marché de la force de travail, et à l'évaluation économique et sociale de cette compétence sur ce marché. En ce dernier sens, le français et l'allemand disposent du terme particulier de *qualification/Qualifikation*, comme propriété du vendeur de force de travail, auquel répond, du point de vue de l'acheteur celui de *classification*. Notons avec Montmollin, l'introduction en français, proposée par Maurice (1983), du terme italien de *professionnalità/professionalità* qui recouvre à la fois qualification et classification, sous la notion globale "d'ensemble des savoirs et savoir-faire professionnels et sociaux qui permettent au travailleur de maîtriser son travail, tout en se situant dans l'entreprise" (p. 64).

Ce repérage notionnel devrait nous permettre de mieux situer les enjeux cognitifs des transformations techniques dans leurs relations au marché du travail, d'une part, et à la division du travail d'autre part.

En effet le contexte économique et social des transformations techniques récentes implique des risques sérieux d'altération des qualifications et par conséquent du patrimoine technologique des entreprises.

Notamment les habiletés sensori-motrices (qui sont comme je tenterai de le montrer, une composante importante des activités cognitives) se trouvent réduites à un rôle insignifiant. L'exemple de la CAO, que je développerai plus loin, est à cet égard démonstratif des dangers de scission dans la reproduction des savoirs techniques.

1.2. La reproduction élargie des savoirs dans le contexte social et économique actuel

Dans “*La fin de la division du travail ?*” Kern et Schumann (1984) actualisent en fonction des évolutions récentes des techniques et de l'organisation de la production leur thèse fameuse de la polarisation de la force de travail. La tendance capitaliste à éliminer le travail vivant du procès de production rencontre selon eux actuellement une limite, au moins dans certains secteurs clés de l'industrie. Avec l'apparition des nouvelles technologies dans ces secteurs, la qualification et la maîtrise professionnelle constituent des capacités productives qu'il convient d'utiliser de manière accrue et plus profitable. Les nouvelles technologies exigent en effet de ceux qui les utilisent une compétence plus large et plus profonde, plus globale, disent Kern et Schumann.

Ce point de vue semble solidement documenté. Toutefois, il demande à être complété par d'autres observations relatives à la gestion des qualifications professionnelles et de la main d'oeuvre qualifiée. Des observations sur des périodes longues (Poitou, 1988 a et b) montrent que le patronat a longtemps été attentif à préserver les gisements de savoirs techniques et de savoir-faire professionnel, par une gestion attentive de la main d'oeuvre. Ainsi dans la construction navale (Poitou, 1988 b), on observe que le patronat considérait que l'on pouvait disposer des ingénieurs et des ouvriers au gré de la conjoncture économique. En revanche, les ouvriers hautement qualifiés et les contremaîtres bénéficiaient de nombreux avantages destinés à les attacher, eux et leur progéniture, de façon durable à l'entreprise. Ainsi, au cours d'une évolution technologique lente, relativement au rythme accéléré actuel, étaient assurées la conservation, la transmission et la reproduction des compétences techniques.

Les difficultés et les risques de la situation actuelle tiennent à ce que le progrès technique s'accélère et s'accroît dans une phase de crise économique industrielle de plus en plus profonde. Pour paraphraser la

formule de Marx, la substitution rapide, souvent inconsiderée de savoir mort au savoir vif, est susceptible de compromettre gravement la transmission du patrimoine technologique (Poitou, 1983, 1987) et la reproduction des compétences individuelles. Situation d'autant plus grave que comme le signalent Kern et Schumann, les technologies nouvelles, dans la mesure même où elles sont susceptibles de remplacer l'homme dans nombre de ses fonctions techniques, exigent chez le travailleur une compétence plus globale et profonde.

Deux ordres de facteurs paraissent particulièrement importants à cet égard : d'une part des facteurs économiques, à savoir les conséquences des politiques de l'emploi, d'autre part des facteurs techniques, à savoir la quasi disparition de l'activité manuelle dans les technologies nouvelles.

La crise économique entraîne des réductions massives de l'emploi dans certaines branches industrielles. Même dans les branches qui maintiennent un certain niveau d'activité, les fermetures d'entreprises, provoquent la mise au chômage ou à la retraite, la dispersion en tout cas de leur personnel, c'est-à-dire la dissolution de la *base technologique* (Poitou, 1987) correspondante. Dans tous ces cas, il y a perturbation de la transmission et de la reproduction des savoirs techniques, et diminution globale des gisements de compétences. Enfin, les entreprises qui ont maintenu leur activité, et conservé la plupart de leur personnel, ont cependant interrompu les recrutements, après la vague d'embauche massive des années 60. Il y a véritablement un fossé entre la génération ancienne de travailleurs proches de la retraite, expérimentés, mais maîtrisant surtout les techniques anciennes, et les jeunes tout récemment employés, formés d'emblée aux nouvelles technologies, mais sans expérience professionnelle profonde. Là encore, la transmission des savoirs est exposée à des aléas.

Or les nouvelles technologies se différencient très fortement des anciennes, notamment parce que l'activité manuelle y est très grandement éliminée. Elle est supprimée soit parce que la machine moderne est

considérablement plus précise et rapide que les machines à commande manuelle, soit parce que les organes actuels de commande de la machine moderne sont plus rigides et contraignants que ceux des dispositifs anciens, et que ceux que l'on peut imaginer dans le futur (c'est le cas notamment du clavier alphanumérique, nous y reviendrons). Or l'abandon précipité de l'activité manuelle, et la disparition des habiletés qu'elle nécessitait, constituent un risque à mes yeux dangereusement sous-estimé de perte de savoir technique, collectif autant qu'individuel (Poitou, 1983).

1.3. Les dimensions cognitives des habiletés motrices techniques et leurs contributions à l'activité cognitive globale

La division du travail dont Kern et Schumann entrevoient la fin a marqué une trace durable dans les concepts mêmes des sciences sociales. En particulier, elle a imposé une distinction souvent rigide entre les activités intellectuelles, qui seraient hautement conscientes et contrôlées, et les activités sensori-motrices, principalement manuelles, qui tendraient à l'automatisme. Rompre cette catégorisation sommaire n'est pas chose vraiment aisée. Certes, comme le note Leplat (1988), dès 1968, Welford accordait aux habiletés sensori-motrices une composante cognitive, parce que leur coordination exige connaissance et jugement. Ce n'est que plus récemment qu'on en vint à attribuer à des conduites automatiques une dimension cognitive, et à parler d'*automatismes cognitifs*, expression qui aurait paru naguère une contradiction dans les termes.

Définir l'habileté par ses propriétés d'efficacité et d'efficience élevées, de vitesse et de faible coût psychique d'exécution, de stabilité d'acquisition, et de disponibilité accrue de l'opérateur pour des tâches supplémentaires implique que l'habileté se construise par l'automatisation des activités qui la composent (Leplat, 1988).

En même temps, définir l'habileté comme compétence, comme capacité à exécuter non pas une tâche particulière, mais une classe de tâches, implique que les activités qui la constituent soient toujours plus ou moins conduites en traitement contrôlé, au sens de Schneider et Shiffrin (1977). En ce qui concerne les habiletés, il faut donc admettre, avec Kahneman (Kahneman & Chajczyk, 1983) et Perruchet (1988), divers niveaux d'automatisation, toujours plus ou moins soumis à l'intervention de traitements contrôlés.

Ceci implique enfin que pour toute activité habile, existe en permanence une possibilité de retour d'informations du niveau des traitements automatiques au niveau des traitements contrôlés, et du niveau des connaissances procédurales aux connaissances déclaratives, (pour autant qu'on veuille accepter cette dichotomie à la fois rigide et vague d'Anderson (1983, cf. George, 1988, p.134).

Cette analyse vaut pour l'habileté, considérée comme compétence, coordonnant des composantes automatisées à des degrés divers (Logan, 1985). Peut-on étendre sa validité aux composantes automatiques elles-mêmes, notamment sensori-motrices ?

Il semble admis que l'exécution de séquences motrices habiles se fasse tant au plan de l'information sensorielle, que des commandes motrices, par des alternances de phases de contrôle et de phases d'automatisme. D'une part des sous-programmes moteurs particuliers de freinage, d'accélération ou de changement de direction sont mis en jeu par des prises d'indices perceptifs (Beaubaton, 1987) ; d'autre part ces prises d'indices ont un caractère intermittent en cours d'action, pour corriger les représentations générales du mouvement qui guident le traitement contrôlé de son exécution globale (Berthoz, 1987). Ajoutons le caractère multimodal des informations prises en compte dans l'exécution, notamment la fusion d'informations interoceptives et extéroceptives (Hatwell, 1986, Berthoz, 1987). Ce qui caractérise l'habileté supérieure de l'expert par rapport à la maladresse du débutant, c'est non seulement la

capacité d'exécution en traitement automatique d'une très grande proportion des activités requises, mais aussi la capacité à traiter très finement et rapidement les informations sensorielles, pour opérer vite et sans efforts excessifs les corrections nécessaires, ce qui signifie une capacité à reprendre vite et efficacement le contrôle d'une séquence lancée en traitement automatique. L'ensemble de ces conditions exige là aussi une circulation aussi fluide que possible des informations entre les niveaux d'attention (pour ne pas dire de conscience). L'acquisition et l'exercice d'une habileté technique motrice (une morphocinèse orientée technique) exige donc une activité mentale attentive et complexe qui exploite de façon différenciée les réafférences sensorielles. Comme le suggère Pailhous (1987) il s'agit de contrôler d'une part l'adéquation du geste aux différents repères proprioceptifs et spatiaux de son parcours, et d'autre part de contrôler le bon déroulement du programme moteur, conformément au schéma générateur du geste. Nous examinerons tantôt dans le cas du geste graphique les détails des traitements d'information que suppose la réalisation d'une telle morphocinèse. Rangeons-nous pour l'heure à la thèse de Zanone et Hauert (1987) sans négliger toute la discussion afférente dans la même publication : “la définition du Programme moteur généralisé (PMG) ne se réduit pas à une simple somme d'afférences sensorielles. Au contraire, il résulte d'une forme de traitement qui rend celles-ci pertinentes et vraiment informative... Quand bien même il se présente extérieurement comme automatique, tout mouvement procède d'une activité manifestement cognitive” (p. 117).

En effet, que l'apprentissage d'un geste ou d'une activité techniques puisse se passer de verbalisation (moins peut-être qu'on ne le pense, cf. Leplat & Pailhous, 1981), et qu'une activité ou un geste techniques ne puissent être complètement manifestés et assimilés dans des énoncés verbaux, sous forme de connaissances déclaratives montrent davantage les déficiences du lexique (George, 1988, p. 109) que l'absence d'accès de ces activités au niveau cognitif.

En revanche, les effets subtils mais cependant notables de l'exercice mental (Feltz & Landers, 1983), indiquent l'intervention des facteurs cognitifs à un niveau profond de l'activité sensori-motrice.

Il est toutefois moins aisé d'établir, même si elle est hautement vraisemblable, la contribution à l'activité cognitive générale des traitements cognitifs inhérents à l'activité sensori-motrice.

Il ne s'agit pas simplement d'affirmer qu'une activité sensori-motrice habile, même si elle est largement automatisée, non seulement est soumise à un contrôle cognitif (au sens de Schneider et Shiffrin, 1977), mais encore de considérer qu'elle enrichit à la fois les connaissances procédurales par les données paramétriques nécessaires à son exécution, et les connaissances déclaratives par les informations qu'elle produit sur l'adaptation productive de l'opérateur au milieu naturel en vue de ses objectifs techniques. Il s'agit de développer, en termes de neurophysiologie d'une part et de psychologie cognitive d'autre part l'expression de l'anthropologue Leroi-Gourhan (1964) "penser avec ses dix doigts", sur laquelle nous reviendrons plus tard.

Faute de prendre toute la mesure de la contribution des activités sensori-motrices techniques à la reproduction et au développement des connaissances, on risque de laisser disparaître du champ des qualifications et du patrimoine technologique, des savoirs individuels et collectifs en supprimant les pratiques gestuelles qui en sont les supports. C'est ce que je vais tenter d'illustrer par le cas des techniques de Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO), vaste ensemble de méthodes et d'outils (Piquet *et al.*, 1989), qui comprennent une aide informatique au travail de bureau d'études (Conception Assistée par Ordinateur CAO), une automatisation des tâches de dessin industriel (Dessin Assisté par Ordinateur DAO) et la préparation de la fabrication par commande numérique (Fabrication Assistée par Ordinateur FAO).

2. Le cas de la CFAO

2.1. Les compétences en cause

La qualification professionnelle du personnel des bureaux d'études a trois composantes principales, par ordre d'importance décroissante : une connaissance aussi profonde que possible de la technologie particulière au produit et à sa fabrication, une solide compétence en géométrie, enfin l'habileté graphique (Poitou, 1986). Dans toutes les corporations, une culture technique large et diverse, permettant d'assimiler rapidement les transformations dans la production et ses moyens était le principal élément différenciateur. Le plus souvent ce savoir était acquis par expérience, dans l'industrie, à partir d'une instruction initiale assez élémentaire. La CFAO a modifié cette situation. Le niveau de formation initiale s'est élevé de façon très sensible (Serfaty, 1985). Le niveau affiché à l'embauche a tendance à s'élever vers le niveau des techniciens supérieurs. En outre le métier s'est transformé qualitativement.

Pour utiliser la CFAO dans l'aéronautique, on demande une bonne connaissance de la métallurgie, qui sera complétée par une initiation dans l'entreprise au dessin industriel des avionneurs. Avec un logiciel de CAO tridimensionnel, la maîtrise, voire la simple connaissance de la géométrie descriptive ne sont plus nécessaires. Les connaissances informatiques ne sont pas davantage indispensables, ni même jugées souhaitables.

La composante graphique a donc encore perdu de son importance pratique, puisque la machine prend tout en charge. Cette forme de calcul géométrique que constituait la descriptive, n'est plus l'outil irremplaçable du projeteur. Si ces deux composantes graphique et géométrique ont vu leur importance diminuer, elles demeurent cependant des constituants de l'activité des bureaux d'études. La machine prend en charge la rapidité, la précision, l'exactitude. Mais l'opérateur doit pouvoir à tout moment comprendre et vérifier ce qu'elle fait, il doit connaître les ressources du dessin et de la géométrie pour optimiser sa marche. Cependant, on ne lui demande plus l'habileté sensori-motrice du dessinateur. Le vocabulaire

est significatif à cet égard : chez Avions Marcel Dassault / Bréguet Aviation par exemple ceux que l'on nommait traceurs sont appelés désormais géomètres.

Certes, la CFAO exige des capacités supplémentaires et des compétences nouvelles. Le projeteur devient un pilote de machine, dont il doit savoir gérer les opérations et optimiser le temps d'utilisation. En outre l'introduction de la CFAO est l'occasion d'un transfert de responsabilités qui enrichissent mais aussi alourdissent sa tâche. Ainsi chez un fabricant d'équipements optiques pour automobiles, la CFAO fait incomber au projeteur la responsabilité de produire une définition parfaite et complète de la pièce, responsabilité jusque là assumée par le mouleux et le mouliste, qui comblaient en quelque sorte les vides laissés dans la conception générale de la pièce. Les dessinateurs ressentent fortement, voire péniblement cet accroissement de responsabilité. D'autant plus qu'ils n'ont pas, pour accomplir cette tâche de façon abstraite, les informations sensori-motrices, et la maîtrise des morphocinèses dont s'aidaient le mouleux et le mouleux.

Inversement, dans certaines entreprises, les tâches que l'on confiait précédemment à la sous-traitance sont exécutées à nouveau avec les systèmes de CAO par des dessinateurs-projeteurs qui avaient perdu l'habitude de les exécuter. Le rapatriement de la sous-traitance ou la suppression des intermédiaires, conduisent à un appauvrissement pour certains dessinateurs qualifiés, et à leur désaffection pour le nouvel outil. Le personnel qui constate que les tâches qui lui étaient confiées sont de plus en plus faites par la machine, ressent la fragilité de sa position dans le service ou l'entreprise, et craint la déqualification.

On s'accorde généralement à dire que les jeunes dessinateurs — niveau technicien — adoptent facilement la CAO. Cependant, si les jeunes ont pour eux l'avantage d'une familiarité acquise avec l'écran et le maniement du clavier, l'expérience professionnelle demeure le facteur fondamental de réussite en CFAO. De sorte qu'un mouleux chevronné

qui fait l'effort de s'initier à la CAO sera bien supérieur à tout informaticien sans expérience du métier.

On a craint que, chez les plus anciens, le souci de maîtriser la complexité du nouvel outil ne fasse oublier le produit à l'étude et n'entraîne de graves erreurs. Ce n'est pas ce que l'on observe, là où on fait l'effort de bien former à la CFAO les techniciens chevronnés. L'âge n'est pas nécessairement une difficulté pour apprendre cette nouvelle technique, ni la rapidité d'apprentissage un critère de maîtrise finale.

J'ai pu constater (Piquet et al., 1989) que des techniciens, anciens dans leur métier et dans leur entreprise, sont devenus très habiles en CFAO, après, il est vrai, un temps d'adaptation relativement long. Ces spécialistes chevronnés, non seulement maîtrisent les nouvelles méthodes mais se révèlent très aptes à les transmettre à leurs collègues.

De plus, j'ai observé que les techniciens de formation ancienne, instruits à manipuler les matériaux et les formes, ont plus d'aisance face aux représentations tridimensionnelles que les dessinateurs qui ont du mal à se défaire des conventions de représentation plane.

2.2. L'évolution technique et ses effets sur les compétences

L'histoire des traceurs dans l'industrie aéronautique permet de suivre les redistributions complexes entre expérience professionnelle, autorité hiérarchique et compétence informatique, qu'ont connues ces dernières années les métiers des bureaux d'études.

Dans les bureaux de conception de l'Aérospatiale à Toulouse entre 1975 et 1985, on observe le remplacement progressif d'une centaine de traceurs par un centaine d'opérateurs CFAO.

Jusqu'à l'apparition du système de CFAO SIGMA, les traceurs faisaient à la main toute la définition des formes externes et internes de l'avion.

Les études étaient réparties en trois départements : un département de conception mettait au point les grands principes généraux, un département de dessin préparait les liasses. Entre eux, un département de service, le traçage, vérifiait les dessins, leur précision, et leur parfaite concordance. Le département de conception faisait des plans d'étude, à échelle réduite. Le département de dessin faisait aussi des dessins à échelle réduite, mais entièrement cotés. Le traçage redessina à l'échelle 1 et avec précision. Il vérifiait les montages. Il y avait alors une cinquantaine de traceurs pour les formes, autant pour les pièces. Plus de quatre vingts d'entre eux sont aujourd'hui partis à la retraite. Depuis au moins quinze ans, on n'a pas formé de nouveaux traceurs. A l'Aérospatiale au milieu des années quatre vingts, il restait une quinzaine d'agents ayant exercé la profession. Trois étaient opérateurs CAO au service d'exploitation CAO du Département de dessin.

Le traceur se distinguait du dessinateur qui traite les objets à une étape déjà fort proche de leur fonctionnement et de leur fabrication. Ancré dans le travail manuel hautement qualifié de tôlier, chaudronnier, formeur, il se définissait de manière synthétique comme concepteur de formes et comme un spécialiste de l'art du trait.

Devenu opérateur CAO, il proclamait la continuité de cette profession

:

concepteur de formes... j'ai sensiblement pu en faire un métier. J'ai commencé à le faire à la main, puis au bureau d'études à la planche à dessin, et puis maintenant à la CAO... pour moi c'est sensiblement la même chose depuis le début... c'est l'outil qui a changé progressivement. Au début c'était le marteau...

l'expérience du métier de traceur à l'ancienne c'est important. Aussi, je crois plus loin encore, l'habitude des formes à la main... le fait d'avoir tripoté les formes manuellement, c'est un bon apport pour concevoir... d'abord les avoir vues, les avoir manipulées à la main, tout un tas de formes diverses, les tuyauteries compliquées, les piquages un peu dans tous les sens, ça aide beaucoup... c'est pas indispensable... ça aide. Les jeunes n'ont plus ça, mais ils profiteront qu'ils démarrent directement dans le métier.

La CAO s'est approprié la descriptive, on n'a plus besoin de la descriptive, puisque (la CAO) la remplace en fait... c'est traiter tous les problèmes de la descriptive sans en faire... La CAO c'est qu'un outil effectivement, il faut avoir des notions de descriptive assez solides pour...travailler avec (la CAO). C'est d'ailleurs le problème des jeunes qui sont en BTS, mais qui en fait en géométrie descriptive n'ont pas de formation.

Les anciens traceurs sont donc bien convaincus d'avoir été les relais vivants entre une tradition technique et une technologie nouvelle ; d'avoir “passé le métier”. Ils ont effectivement contribué à l'élaboration des logiciels qui reflètent une part de leur savoir.

Ils ont joué ainsi un rôle exceptionnel, d'ailleurs reconnu par les ingénieurs qui n'avaient pas cette connaissance traditionnelle et empirique des formes. Ils sont donc devenus concepteurs de formes, ou géomètres, comme on dit chez Dassault, et ils ont instruit les nouveaux qui débutaient soit à la planche au bureau de dessin, sans passer par l'atelier, soit directement à la console. Pour ceux-ci, commencer un travail quasi directement par une ébauche à l'écran semble naturel. Ils ont

une grande familiarité avec la CAO. Mais ils n'ont pas l'expérience riche et diverse des anciens traceurs. Un autre déplacement de compétence s'est produit : le concepteur de formes se préoccupe moins de géométrie, de représentation dans l'espace, que l'ordinateur assure, et s'intéresse aux instructions de CAO, sans toutefois se préoccuper d'informatique en tant que telle.

2.3. L'évolution économique et ses effets sur la démographie professionnelle

Le personnel des bureaux d'études est un des principaux dépositaires du savoir technique de l'entreprise. Il est le plus directement concerné par la CAO. Il en est le premier utilisateur, et peut de ce fait en être le plus actif propagateur. Or cette profession a connu ces vingt dernières années une décroissance en nombre, et une diminution de la mobilité de ces membres. Serfaty (1985) note que par rapport à l'ensemble des emplois industriels, de 1975 à 1982, le nombre de dessinateurs diminue davantage dans les secteurs en déclin et augmente moins dans les secteurs en expansion. Trois sous-secteurs (l'automobile, la construction électrique et le travail des métaux) font exception en maintenant la proportion de dessinateurs malgré une diminution globale des effectifs.

Jadis, la profession de dessinateur constituait une étape dans une carrière et débouchait rapidement sur d'autres fonctions, libérant ainsi des postes pour les jeunes. Dans un contexte de réduction globale des effectifs des dessinateurs, cette mobilité diminue et l'embauche en est freinée. La stabilisation dans la carrière et dans l'entreprise a conféré au personnel une connaissance approfondie du métier, des pratiques de l'entreprise et de ses productions. En outre la génération des dessinateurs aujourd'hui les plus âgés a connu la très rapide et importante évolution technologique des vingt dernières années. Enfin, cette génération de personnel possède une habileté graphique importante. Ces spécialistes expérimentés, du fait de leur compétence, de leur permanence dans

l'emploi et du ralentissement de l'embauche, sature les échelons supérieurs de classification, et assume les responsabilités hiérarchiques. Elle est en mesure de relier les nouvelles technologies à la tradition. Toutefois, population d'un âge homogène élevé, elle risque de quitter la vie professionnelle d'un bloc, sans passer le relais à ses successeurs plus jeunes, et assez nettement différents. L'évolution de la structure des diplômes dans les professions d'études, manifeste en effet une élévation régulière du niveau de formation à l'embauche. L'augmentation de la part des titulaires de diplômes de niveau IV et III, BTS et DUT, est surtout notable parmi les dessinateurs de moins de 25 ans (22,5% en 1975, 40,1% en 1982).

2.4. L'évolution économique et ses effets sur la transmission du patrimoine technologique des entreprises et des métiers

Au total, donc, parmi le personnel d'études, une population très expérimentée, qui a connu une grande diversité de technologies et possède une palette d'habiletés manuelles diverses, assume les responsabilités hiérarchiques sans avoir une formation initiale élevée. Elle est nettement séparée de la population très jeune, de formation plus abstraite et élevée, mais nécessairement dépourvue d'expérience professionnelle, et de pratique des techniques manuelles, auxquelles souvent elle ne s'intéresse guère. Dans ces conditions, l'introduction de la CFAO, technique radicalement neuve et assez abstraite, est une affaire délicate, à l'égard surtout de la transmission des savoirs. Bien que ceux-ci, dans leur expression déclarative, soient dans une large mesure retranscrits dans les programmes informatiques, on risque de laisser disparaître sans possibilité de récupération, et sans même l'avoir évalué, tout ce qui existait comme savoir gestuel purement pratique (sensori-moteur) ou comme connaissance procédurale appuyée sur des pratiques gestuelles.

A cet égard, les stratégies des fournisseurs de systèmes de CFAO, les politiques des entreprises en matière d'introduction de la CFAO, et de formation sont susceptibles de produire des effets malheureux.

Dans l'intention de simplifier la tâche, on a parfois conçu des systèmes qui reposaient sur le modèle d'un opérateur moins qualifié que les praticiens effectivement en place. L'habileté et le savoir de ceux-ci compensaient souvent, et de ce fait même masquaient les insuffisances du système, qui se révélaient aux mains d'opérateurs moins qualifiés. D'autre part le système moins exigeant que les pratiques techniques anciennes justifiait une déclassification des postes de travail où il prenait place, et, conséquence non moins grave, produisait souvent aussi une déqualification des praticiens. Ou encore, faute de motivation de carrière, ou de renforcement financier suffisants, les opérateurs hautement qualifiés se désintéressaient de la nouvelle technique ; ou bien encore on refusait l'effort jugé trop coûteux de les former de manière approfondie. Confiée à des opérateurs moins habiles, la nouvelle technologie ne bénéficiait pas de l'expérience accumulée dans le patrimoine technique de l'entreprise par les opérateurs chevronnés. Dans un contexte de difficultés économiques, le souci d'un profit à court terme par économie de travail qualifié, aboutit parfois à l'emploi de matériel moins valide qu'on ne le prétendait d'une part, et à une perte de savoir de l'autre.

En résumé, ces observations de terrain montrent qu'avec la disparition des anciens métiers : maquettiste, styliste, modelleur, traceur, la riche et diverse activité d'exploration tactile et visuelle de formes complexes, et l'activité graphique manuelle sont tombées en désuétude comme les pratiques et les connaissances techniques qu'elles accompagnaient.

Les postes de CAO actuels limitent d'une part la perception des formes à la seule exploration oculaire de la surface d'un écran, et l'activité manuelle à la manipulation d'un clavier ou d'une souris. L'opérateur se trouve ainsi privé des informations sur l'espace que fournissent l'activité motrice oculaire et visuo-céphalique d'une part, et les perceptions

kinesthésiques résultant des mouvements de la main d'autre part. Ces restrictions sont-elles sans conséquences cognitives fâcheuses au plan intellectuel et au plan industriel?

3. Pour une conception néo-industrielle d'un poste de travail CFAO

3.1. Penser avec ses dix doigts

En fait, le développement technologique actuel accentue une tendance quasi séculaire à diminuer la qualification et à appauvrir le geste dans les ateliers, et à rendre toujours plus abstraite et complexe l'activité des bureaux d'études. Cette situation est fort bien illustrée par cette définition du dessin technique, dont les exemples abondent dans les manuels scolaires : "Intermédiaire indispensable entre le cerveau qui conçoit et la main qui exécute, c'est-à-dire entre l'inventeur et l'artisan ou entre l'ingénieur et l'ouvrier"(Groutel, 1948, p. 3). À quoi fait écho cette conclusion d'un ouvrage au reste aussi savant et intelligent que prudent : "Tout se passe en effet comme si le toucher, parce qu'il a un rôle crucial dans l'adaptation sensori-motrice, devient tributaire de cette spécialisation au point qu'il n'est plus concerné que par la réussite des actions sur le monde, laissant à la vision le soin de "comprendre" ce monde" (Hatwell, 1986, 344). Donc le cerveau, la pensée créatrice et la vision d'une part, la main, le geste et le façonnage de l'autre. Or cette dichotomie couronne une évolution technique qui contredit l'évolution phylogénétique. On invoquera là bien entendu l'admonition de Leroi-Gourhan : "Ne pas avoir à penser avec ses dix doigts équivaut à manquer d'une partie de sa pensée normalement, phylogénétiquement humaine. Il existe donc à l'échelle des individus sinon à celle de l'espèce, dès à présent, un problème de la régression de la main" (Leroi-Gourhan, 1964, T.2, p. 62).

Sans se situer de manière outrée au niveau de l'espèce, on peut au moins à l'échelle des individus, afin de tenter de réduire sinon abolir le

divorce entre geste et pensée techniques, réintroduire la motricité (oculaire et manuelle) dans l'activité technique. C'est ce qu'on propose ici, en matière de techniques graphiques : réaliser avec un poste de travail de CAO muni d'un écran interactif “en ronde bosse”.

Dans l'évolution de la division entre travail intellectuel et travail manuel, le dessin technique demeurait en fait comme la dernière forme d'action pratique, le dernier substitut concret laissé aux concepteurs pour saisir l'objet sur un mode autre que purement mental. Concevoir un objet technique tend à devenir une activité purement intellectuelle, nullement pratique. A la suite de Leroi-Gourhan on peut faire l'hypothèse que cette apraxie radicale aurait des conséquences fâcheuses et coûteuses sur les plans technique, industriel et finalement économique. Dans cette hypothèse, on peut proposer d'employer les technologies nouvelles afin de placer l'objet en cours d'étude dans l'espace, pour redonner au geste son importance, et apporter une plus-value technique au résultat de cette étude.

3.2. Apport cognitif de la motricité : l'exemple des habiletés graphiques manuelles

Les actes graphiques (Lurçat, 1974) résultent d'habiletés motrices qui nécessitent des activités d'exploration de l'espace, de production de morphocinèses orientées. Le contrôle et la coordination de celles-ci mobilisent une activité cognitive importante et complexe. Certains travaux indiquent que les résultats de cette activité contribuent à la compréhension et à la maîtrise des relations spatiales.

Dans les activités de bureau d'étude, l'exploration visuelle d'objets en volume (pièces et maquettes) et plans (dessins techniques) et l'exploration tactile (modelage de maquettes) cèdent la place à la seule exploration visuelle de représentations graphiques planes.

Celles-ci utilisent soit un codage des positions du plan pour définir les positions de l'espace (c'est le cas du dessin technique) soit des

conventions figuratives culturelles de perspective géométrique, aérienne, d'ombrage, de texture pour simuler la profondeur et le relief.

La vision naturelle utilise la convergence des rayons lumineux pour évaluer la distance à partir des parallaxes monoculaire (accommodation), binoculaire et de mouvement, ainsi que leurs combinaisons. Dans une projection plane, ces indices sont dénués de pertinence, et la visuo-motricité demeure sans utilité perceptive ni cognitive. Or, face à des stimulus complexes ou ambigus, comme le sont souvent les représentations techniques en cours d'élaboration, la visuo-motricité peut fournir le complément de précision nécessaire.

La visuo-motricité oculaire joue un rôle dans la perception de la distance. Les mouvements internes d'accommodation (vergence) du globe oculaire fournissent les signaux de parallaxe, tandis que les mouvements des muscles oculaires informent sur la disparité.

La visuo-motricité céphalique, les mouvements de la tête pour examiner l'objet sous divers angles est utilisée dans l'examen d'un objet matériel afin d'extraire des invariants géométriques à travers une diversité de points de vue.

Le geste technique d'exploration, ou de reproduction d'une forme, nécessite la coordination complexe de plusieurs espaces. Il est une source importante d'information sur l'espace physique considéré et les relations spatiales entre les éléments de cette forme. Les informations kinesthésiques sont diverses, et l'intérêt des informations intermodales, résultant de la mise en oeuvre de plusieurs modalités sensorielles, notamment visuelles et kinesthésiques, tient à cette diversité, et à la richesse de données que cette diversité implique : "La représentation de l'espace et l'accomplissement des gestes supposent une coordination ou plutôt une mise en correspondance des systèmes de coordonnées dans lesquels travaillent les différents éléments des systèmes sensori-moteurs. Ces systèmes de coordonnées naturels sont très divers suivant qu'il s'agit des capteurs, des réseaux centraux ou des effecteurs : les capteurs

sensoriels, par exemple les capteurs vestibulaires, constituent un trièdre trirectangle cartésien, la rétine forme une carte bidimensionnelle et les récepteurs articulaires des détecteurs d'angles dans un seul plan, etc. Le point de vue traditionnel ou implicite est que le système nerveux travaille en coordonnées cartésiennes, dans des axes de coordonnées de référence situés dans des plans horizontaux, frontaux, ou sagittaux. Il n'y a aucune raison de suivre cette hypothèse dans tous les cas. Il semble au contraire que des transformations de coordonnées sont nécessaires” (Berthoz, 1987, p. 28).

En outre ces informations ne sont pas utilisées de façon directe et immédiate, mais au contraire sélective : "Il est maintenant bien établi que pour coordonner les mouvements le cerveau n'utilise pas les informations sensorielles de façon continue... Il y a donc probablement des représentations mentales du mouvement du corps dans l'espace, des réseaux neuronaux grâce auxquels les mouvements du corps peuvent être simulés sans être exécutés. Il semble que les informations des sens ne soient utilisées que pour valider ou corriger de façon intermittente ces représentations. La prise d'information par tel ou tel capteur serait prévue dans le programme central correspondant à un mouvement automatique ou à un mouvement appris. Ceci conduit à une théorie de la présélection ou de la présélection des informations sensorielles"(Berthoz, 1987, p. 28).

Aux synthèses qui doivent s'établir entre la kinesthésie et la vue pour la perception du modèle, s'ajoutent dans l'acte graphique, écriture ou dessin celles, encore plus complexes, que nécessite l'exécution du modèle.

Au demeurant, ce modèle peut être (et est très souvent) intériorisé sous forme de patron ou de schème moteur, qui doit d'abord être mobilisé, pour ensuite être actualisé en fonction des paramètres particuliers de réalisation. Soit donc une "phase focale de récupération du patron moteur" et une "phase locale d'estimation des paramètres spatio-temporels" (Van Galen, 1980).

La conjugaison de ces deux activités : activité visuelle d'identification du modèle, activité motrice de réalisation de la forme supposent l'exercice d'un contrôle dont la manifestation est en effet le guidage du mouvement dans une double dimension, temporelle et spatiale. L'aspect temporel consiste dans le pouvoir d'anticiper, d'interrompre, de freiner, de reprendre le mouvement. L'aspect spatial consiste dans le pouvoir de le diriger dans une direction voulue et au besoin de rectifier. Ces composantes du contrôle sont le résultat d'interactions kinesthésiques et visuelles. Le freinage et l'interruption paraissent relever davantage de la kinesthésie ; la reprise et le maintien de la direction davantage de la vue. A mesure que le geste est mieux dominé, il y a substitution progressive du contrôle kinesthésique au contrôle visuel, ce qui permet au contrôle sémantique, c'est-à-dire au contrôle du contenu de l'acte, de pouvoir s'exercer.

Les morphocinèses graphiques imposent une activité de coordination de plusieurs espaces : espace perceptif, espace postural, espace de configuration, espace graphique, espace de représentation.

La notion d'espace de mouvement doit être élargie à celle d'espace postural, envisagé comme l'ensemble de nos gestes. L'espace postural n'est pas un ensemble fermé mais un tout dynamique qui peut varier avec l'orientation de l'activité du sujet, c'est un espace morphodynamique. Alors que l'espace postural est de nature kinesthésique et psychologique, on est amené à considérer aussi pour le décrire l'espace de configuration, qui en est l'expression mathématique. Sur l'espace de configuration viennent s'inscrire tout naturellement les relations importantes au point de vue psychologique, de proximité et de distance. L'espace de configuration est donc une variété topologique : on peut y définir des régions, des directions, des trajets homogènes. L'espace de configuration se projette dans l'espace graphique de la feuille ou de la planche à dessin : à chaque point de l'espace de configuration du bras correspond une

position de l'extrémité du crayon, c'est-à-dire un point de l'espace graphique.

Le contrôle des mouvements est kinesthésique, le contrôle des tracés est visuel. Le contrôle kinesthésique s'exerce dans l'espace de configuration, le contrôle visuel dans l'espace graphique. La possibilité de reproduire un modèle non plus fonctionnel mais purement visuel, fourni par le milieu extérieur montre la complexité des relations cognitives entre ces deux espaces. Reproduire un tel modèle suppose la possibilité de restructurer l'espace de configuration à partir des données perceptives.

Le tracé final, comme résultat de l'activité globale telle qu'elle est projetée par le geste dans l'espace graphique atteste, selon son degré de perfection, du degré de maîtrise cognitive de l'espace de configuration. Le tracé, comme enregistrement du geste, atteste aussi de la construction cognitive d'une représentation de l'espace de configuration, à partir des coordinations perceptives intermodales et des coordinations motrices.

Pour des raisons qui relèvent sans doute des attitudes d'esprit indiquées plus haut, assez peu d'attention semble-t-il a été portée aux contributions de la sensori-motricité à la maîtrise cognitive de l'espace. En témoignent cependant les effets de l'exercice mental sur les morphocinèses, gestes techniques, ou sportifs.

L'évocation des sensations musculaires qui accompagnent l'exécution du mouvement se traduit au cours de la répétition mentale, sous la forme d'images ou de représentations kinesthésiques, qui peuvent être mises au service de l'apprentissage. L'idée d'une contribution des informations kinesthésiques au contrôle central des morphocinèses est corroborée par les études sur l'apprentissage de la reproduction d'un tracé : "l'imagerie visuelle produit des effets différents sur la durée d'exécution du tracé selon qu'elle a consisté à simplement visualiser le modèle à reproduire, ou bien à visualiser en outre le mouvement d'exécution du tracé. Imaginer le modèle seul en faisant abstraction de sa composante dynamique, produit

un fort effet d'interférence, qui se traduit par l'allongement des durées d'exécution" (Denis et al., 1989, p. 24). En d'autres termes, imaginer le tracé sans imaginer le mouvement détériore la performance. Il semble donc probable que les informations kinesthésiques — quel que soit le mode central de traitement — contribuent au contrôle et à l'exécution d'une morphocinèse.

On peut trouver des indications plus directes dans une recherche ancienne de Djang (1937). Il présentait aux sujets des figures sans signification, tracées en pointillé. Chaque sujet était entraîné à dessiner une moitié de ce premier ensemble de figures. On lui présentait ensuite un ensemble de figures plus complexes dans lesquelles s'inscrivaient les figures du premier groupe. Parmi ces dernières, celles qui avaient fait l'objet d'un apprentissage graphique étaient mieux identifiées au sein des figures complexes, que les autres du même ensemble.

Des travaux en cours (Cartonnet, 1990, Gloton, 1991) développent cette problématique, en relation avec le développement du prototype du poste de travail STEREO, afin de montrer d'une part qu'une présentation en trois dimensions, qui restitue à la visuo-motricité son rôle, contribue à l'intelligence des relations spatiales (Cartonnet, 1990), d'autre part que tout système interactif qui exige l'intervention des gestes graphiques et plastiques manuels, contribue à la compréhension des relations spatiales (Gloton, 1991).

Il reste, pour terminer, à décrire brièvement le poste de travail STEREO.

3.3. L'écran en ronde bosse

L'objectif de ce poste est de donner à nouveau toute leur importance aux habiletés motrices des projeteurs et dessinateurs, avec tous les bénéfices cognitifs que cela peut impliquer. Pour ce faire, on entend non pas revenir à des pratiques dépassées, mais tirer au contraire plein avantage de diverses technologies récentes ou en voie de développement

pour composer un outil permettant de coordonner motricité visuelle et motricité manuelle.

Examinons d'abord la question de l'écran. Pour un emploi professionnel régulier et confortable, un écran stéréoscopique doit ne nécessiter aucun appareillage de l'utilisateur. Sont donc à éliminer tous les systèmes qui exigent le port de lunettes spéciales, et tous ceux qui procurent une gêne et une fatigue visuelles lors d'une observation prolongée. Pour des raisons économiques d'autre part, les systèmes qui imposent un équipement coûteux de l'unité de visualisation sont également à déconseiller. Pour ces raisons, la plupart des systèmes existant sont insatisfaisants. Ils visent à doter les écrans graphiques d'une stéréoscopie apparente, fondée sur la fusion de deux images disparates, présentées soit simultanément, soit successivement.

La technique des anaglyphes, utilisée sur le poste Hewlett-Packard HP 320 SR, présente deux images de couleurs différentes séparées grâce à des filtres de couleurs complémentaires.

Une autre technique de présentation simultanée, inspirée de Sutherland, consiste à conduire une image à chaque oeil, par un système optique, porté par l'opérateur. On peut aussi faire alterner sur l'écran les images destinées à chaque oeil. Alternativement une image est présentée à un oeil, la vision de l'autre est obturée. En 1975, Roese proposa des lunettes en céramique opto-électronique reliées à l'écran par un câble, qui commande les obturateurs selon l'image présentée. On peut encore coder les images en lumière polarisée, grâce à un polariseur fixé sur l'écran, et un obturateur à cristaux liquides. C'est le principe des terminaux Evans & Sutherland StereoViewer et Tektronix 4126. Présenté en 1989, le système CrystalEyes de la société VPL Research, utilise un système d'obturation à infra-rouge, qui simplifie l'équipement de l'écran, mais impose des lunettes encombrantes.

Le défaut le plus grave de ces systèmes est de n'offrir qu'une apparence de profondeur, sans de ce fait solliciter la visuo-motricité.

Seuls les systèmes autostéréoscopiques, qui présentent une image dans un espace à trois dimensions sont à cet égard parfaitement satisfaisants. Les images autostéréoscopiques sont de deux classes : l'holographie et la photographie intégrale.

On sait réaliser des hologrammes de synthèse entièrement calculés par ordinateur. Toutefois, en l'état actuel des techniques informatiques, le temps de calcul d'une figure tant soit peu complexe devient excessif, et interdit toute possibilité d'interactivité. La photographie intégrale est un principe ancien énoncé par Lipmann au début de ce siècle (Okoshi, 1980). Il consiste à prendre plusieurs vues d'un même objet à travers un écran formé de nombreuses petites lentilles convexes (écran perlé) ou cylindriques (écran lenticulaire). Après développement, la plaque photographique ainsi impressionnée est placée derrière l'écran, et éclairée par l'arrière. On obtient par cette projection diapositive, à l'emplacement de l'objet dans l'espace, une image stéréoscopique de celui-ci. Cette solution a été développée aux Etats-Unis par les Ives, et en France par Maurice Bonnet, qui utilise des lentilles cylindriques. Les écrans lenticulaires demandent moins de précision dans la position de l'observateur que les écrans perlés, ce qui rend leur emploi plus aisé. Le procédé Bonnet comprend un sélecteur de lumière (écran lenticulaire) et un support d'information (émulsion photographique). Lors de l'enregistrement l'image projetée est transformée par le sélecteur en une famille de lignes très fines et parallèles, dont la position, sur le plan focal du sélecteur, dépend de la direction d'incidence. Inversement, aux fins d'observation, l'image va être restituée dans une seule direction identique à la direction d'incidence de l'enregistrement. Si l'on enregistre successivement un grand nombre d'images sous des angles différents, on enregistre un grand nombre de familles de lignes parallèles qui vont remplir la totalité du support photosensible. Il est en effet toujours possible si l'on observe par transparence l'image restituée, d'observer quelle que soit la position de la tête un couple stéréoscopique puisque

l'on projette sur chacun des yeux au moins une image gauche et au moins une image droite enregistrées sous des angles différents.

Pour réaliser une image de synthèse en relief grâce à la CAO, la question de la prise de vue ne se pose pas. Le programme informatique calcule à partir de données géométriques autant de vues d'un même objet virtuel, selon autant de points de vue, et selon autant de systèmes de projection qu'on le souhaite. En outre, un programme informatique peut aussi remplir le rôle d'un réseau lenticulaire sélecteur de saisie, en calculant toutes les familles de lignes correspondant aux divers points de vue désirés sur l'objet virtuel. La restitution se fera sur un unité de visualisation équipée d'un écran réticulaire.

Un programme dans le logiciel de CAO STRIM 100 de la société Cisigraph est actuellement en cours de développement pour la discrétisation-recomposition des images.

Chaque image plane correspondant à un point de vue est calculée et stockée avec la même définition correspondant à un écran virtuel donné. Le nombre d'images planes souhaité pour réaliser l'image composite détermine la définition en nombre de pixels de l'image calculée. Soit par exemple un écran de 1024 x 1024 pixels. Si l'on travaille avec quatre images planes, on les calculera selon une définition de 256 x 256 pixels. Une fois calculées les images planes, on réalise une image composite en alternant les colonnes de pixels de chaque image plane.

Nous avons selon ce principe obtenu des images stéréoscopiques filaires avec effacement des parties cachées, restituant l'objet en relief, sous un angle d'observation de 20 degrés, à partir de vingt vues différentes du même objet, décalées de degré en degré.

Face à un tel écran autostéréoscopique, il convient que les modes de commandes du système permettent à l'opérateur de CAO non seulement de dessiner, mais véritablement de modeler son projet en ronde bosse, de sa main, pour mettre en oeuvre toutes les ressources de la motricité manuelle. Puisqu'il s'agit d'un objet virtuel, la manipulation et

l'information en retour sont nécessairement simulées. Elles peuvent s'exercer à distance du champ d'apparition de l'image, pourvu que le mode d'interaction suscite la production d'informations kinesthésiques, qui contribuent à l'activité cognitive de l'opérateur sur la géométrie et la situation spatiale de l'objet.

Le système Spaceball, de Spatial Systems, permet de manipuler l'image simultanément en position et en orientation. Un pommeau sphérique détecte les forces et les torsions de la main, et les transmet en temps réel dans l'image affichée à l'écran avec six degrés de liberté. Le gant Dataglove, de VPL Research, comporte un capteur des positions de la main de l'opérateur dans l'espace, et des fibres optiques qui courent le long des doigts. Celles-ci enregistrent et transmettent les informations relatives au mouvement des doigts. Une vue animée de la main de l'opérateur peut ainsi être affichée à l'écran en interaction immédiate avec l'objet virtuel sur lequel il travaille.

La rétroaction est un problème plus complexe. Ken Sloane, du MIT Architecture Machine Group, a équipé un gant de petites capsules et tubes pneumatiques, reliés à des soufflets commandés par l'ordinateur, qui donnent des sensations de pression aux doigts de l'opérateur. D'autres solutions utilisent une transmission électrique, et des stimulations vibratoires produites par des cristaux piézoélectriques, ou des stimulations de pression produites par des alliages métalliques à mémoire de forme. Signalons aussi une peau artificielle transmettant des informations proportionnelles de contact mise au point par le LAAS de Toulouse et l'INSERM de Montpellier. Les sensations de force peuvent être simulées et transmises grâce à un jeu de moteurs actionnant des câbles reliés à une poignée à trois axes tenue dans la main. Un dispositif de ce genre a été expérimenté par R. Feldmann de l'Institut américain de la santé.

Il existe donc un éventail de solutions applicables à plus ou moins court terme, à la simulation en temps réel de l'interaction de la main avec un objet virtuel (Poitou, 1990).

On pourra libérer les opérateurs de CAO de l'apraxie que le clavier alphanumérique, prothèse désuète, leur impose. Les technologies sont disponibles pour redonner au geste du projeteur son importance intellectuelle, en plaçant à nouveau l'objet d'étude dans l'espace. Dans cet esprit le projet STEREO, conduit par notre équipe au Centre de Recherche en Psychologie Cognitive en collaboration avec la société Cisigraph, vise à définir un poste de travail CAO utilisant ces techniques pour tirer le meilleur profit des qualifications acquises, et pour les élever grâce à un équipement de haut niveau, très exigeant de l'opérateur. Signalons qu'en dehors des travaux de bureau d'études, les domaines d'application d'un tel dispositif sont très nombreux (Poitou, 1989, Poitou *et al.*, 1992).

Il est clair qu'on ne pourra utiliser un tel dispositif en y transposant simplement les gestes usuels du dessinateur à la planche à dessin, ou du styliste travaillant la pâte à modeler. Le développement de ce nouvel outil exigera la coopération étroite des techniciens, des ergonomes et des futurs utilisateurs dans les divers domaines d'application pour déterminer les interfaces, les modes de commande et surtout les gestes les plus opérants. Ces recherches permettront en outre d'élaborer progressivement des programmes de formation, et d'explorer les nouveaux champs d'applications possibles. Il ne s'agit donc ni de supprimer les gestes et les pratiques anciens, ni non plus de les conserver de manière figée. Il s'agit de tirer parti des compétences constituées dans les pratiques gestuelles anciennes pour ouvrir le champ à de nouvelles activités gestuelles, qui enrichissent les compétences des opérateurs, et de ce fait élèvent le niveau de qualification. C'est dans cette mesure qu'un nouvel outil et la technologie qu'il soutient peuvent étendre le patrimoine technique. C'est en ce sens qu'on peut parler de technologie qualifiante.

Jean-Pierre POITOU
 CREPCO - UA 182 CNRS
 Université de Provence 13621 Aix CEDEX

Bibliographie

- ANDERSON, J.R., *The Architecture of Cognition*. Cambridge, Harvard University Press, 1983.
- BEAUBATON, D., Le contrôle visuel des mouvements. *Le courrier du CNRS*. 1987, 69-70, Juillet-Décembre, 10-13
- BERTHOZ, A., Perception du mouvement et représentation de l'espace. *Le courrier du CNRS*. 1987, 69-70, Juillet-Décembre, 26-30.
- CARTONNET, Y., *Etude expérimentale de l'influence des sensori-motricités sur les productions professionnelles des dessinateurs projeteurs et d'études en conception mécanique*. Diplôme d'Etudes Approfondies de Psychologie, Université de Provence, 1990.
- DENIS, M., CHEVALIER, N., ELOI, S., *Imagerie et répétition mentale dans l'acquisition d'habiletés motrices*. Orsay Université de Paris-Sud, documents du Centre d'études de Psychologie cognitive, 1989.
- DJANG, S., The role of past experience in the visual apprehension of masked forms. *Journal of Experimental Psychology*, 1937, 20, 29-59.
- FELTZ, D.L., LANDERS, D.M., The effects of mental practice on motor skill learning and performance : A meta-analysis. *Journal of Sport Psychology*. 1983, 5, 25-57.
- GEORGE, C., Interactions entre les connaissances déclaratives et procédurales, in Pierre Perruchet (Ed.) *Les automatismes cognitifs*. Liège, Bruxelles, Pierre Mardaga, 1988.
- GLOTON, C., *La main au service d' l'intelligence humaine : une analyse des fonctions cognitives impliquées dans l'usage d'interfaces manuels inactifs dans une population d'adultes non qualifiés et qualifiés*. Diplôme d'Etudes Approfondies de Psychologie, Université de Provence, 1991.
- GROUTEL, E., *Lecture du dessin industriel, méthode directe par questions et réponses avec exercices de contrôle. A l'usage des apprentis des cours professionnels, des Centres de formation professionnelle et des Elèves des Collèges techniques*. Paris, Foucher, 1948.
- HATWELL, Y., *Toucher l'espace. La main et la perception tactile de l'espace*. Lille, Presses universitaires de Lille, 1986.

- KAHNEMAN, D., CHAJCZYK, D., Tests of the automaticity of reading : dilution of stroop effects by color-irrelevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 1983, 9, 497-509.
- KERN, H., SCHUMANN, M., *La fin de la division du travail ? La rationalisation dans la production industrielle*. Paris, Editions de la Maison des sciences de l'homme, 1989.
- LOGAN, G.D., Skill and automaticity : relations, implications, and future directions. *Canadian Journal of Psychology*, 1985, 39, 367-386.
- LEPLAT, J., Les habiletés cognitives dans le travail. in Pierre Perruchet (Ed.) *Les automatismes cognitifs*. Liège, Bruxelles, Pierre Mardaga, 1988.
- LEPLAT, J., PAILHOUS, J., L'acquisition des habiletés manuelles : la place des techniques. *Le travail humain*, 1981, 44, 275-282.
- LEROI-GOURHAN, A., *Le geste et la parole*. Paris, Albin Michel, 1964.
- LURCAT, L., *Etudes de l'acte graphique*. Paris, Mouton 1974.
- MAURICE, M., A propos de la productivité des entreprises. La qualification des travailleurs en France et en RFA. *CFDT Aujourd'hui*, 1983, Novembre-décembre, 63-77.
- MONTMOLLIN, M. de, *L'intelligence de la tâche. Eléments d'ergonomie cognitive*. Berne, Francfort, New York, Peter Lang, 1984.
- OKOSHI, T., Three-dimensional displays. *Proceedings of the IEEE*, 1980, mai, 68, 5, 548-564.
- PAILHOUS, J., Les fonctions d'organisation des conduites et des données, in J. Piaget, P. Mounoud, et J.P. Bronckart (Eds.) *Psychologie. Encyclopédie de la Pléiade*. Paris, Gallimard, 1987
- PERRUCHET, P., Une évaluation critique du concept d'automatisme. in Pierre Perruchet (Ed.) *Les automatismes cognitifs*. Liège, Bruxelles, Pierre Mardaga, 1988.
- PIQUET, F., POITOU, J.-P., TASSE, J.C., *CFAO, concevoir et produire autrement*. Paris, Nathan, 1989.
- POITOU, J.P., Savoir vif, savoir mort. Colloque "Les cultures populaires" de la Société Française de Sociologie et de la Société d'Ethnologie Française, Nantes, 1983.
- POITOU, J.P., Impact de la CAO sur le personnel des bureaux d'études d'une entreprise française d'automobile, in L. Wilkin (Ed.) *Informatique et organisations*. Bruxelles, Editions de l'Université de Bruxelles, 1986. 69-87.
- POITOU, J.P., The expert and the system, in *ORIA 87. Artificial Intelligence and Sea*. Marseille, IIRIAM, 1987, E1-E12.
- POITOU, J.P., *Le cerveau de l'usine. Histoire des bureaux d'études Renault de l'origine à 1980. Recherche sur les conditions de l'innovation technique*. Aix en Provence, Publications de l'Université de Provence, 1988a.
- POITOU, J.P., Le cerveau du navire. La conception assistée par ordinateur à la Seyne et la Ciotat. Recherche historique et psycho-sociologique sur deux bureaux d'études de la

- construction navale de la façade méditerranéenne. TIP microédition, 174 p., Recherche sous aide du Ministère de la Recherche et de la Technologie n° 86, D.0084 MRT, 1988b.
- POITOU, J.P., Etude d'un Système Tridimensionnel en Relief par Ordinateur : le projet STEREO. Recherche sous aide du Ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur, n° 87 P 0401, novembre 1987, et du Programme Interdisciplinaire de Recherche Technologie, Travail, Emploi, Mode de vie du CNRS, n° 87/16, novembre 1987, 100 p. 1989.
- POITOU, J.P., CARTONNET, Y., CARBONELL, J., MARRAUD, A., Le système de CAO autostéréoscopique interactif STEREO (Système Tridimensionnel En Relief par Ordinateur). Application aux opérations en milieu hostile. *MICAD 92 Actes de la onzième conférence internationale sur la CFAO, l'infographie et les technologies assistées par ordinateur*. Paris, Hermes, 1992, p. 443-459.
- SCHNEIDER, W., SHIFFRIN, R.M., Controlled and automatic human information processing : I. Detection, search and attention, *Psychological Review*, 1977, 84, 1-66.
- SERFATY, E., Quelques chiffres récents sur les dessinateurs. Evolution 1975-1982. *Formation-Qualification-Emploi. Documents de Travail*, Mai 1985.
- VAN GALEN, G.P., Handwriting and drawing : a two-stage model of complex motor behavior, in G.E. Stelmach & J. Requin (Eds) : *Tutorials in Motor Behavior*, Amsterdam, North Holland, 1980.
- WELFORD, A.T., *Fundamentals of skills*, Londres, Methuen, 1968.
- ZANONE, P.G., HAUERT, C.A., For a cognitive conception of motor processes : A provocative standpoint. *CPC cahiers de psychologie cognitive, european bulletin of cognitive psychology*. 1987, 7/2, 109-129.