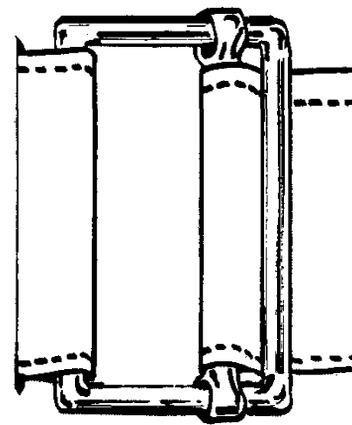

CENTRE D'ETUDES
ET DE RECHERCHES
SUR LES QUALIFICATIONS

*L'automatisation dans
les industries de biens
d'équipement*

*Volume 1
L'informatisation des activités d'études*

Jacques Merchiers



FORMATION - QUALIFICATION - EMPLOI
COLLECTION DES ETUDES

*L'automatisation dans
les industries de biens
d'équipement*

*Volume 1
L'informatisation des activités d'études*

Jacques Merchiers

**L'AUTOMATISATION DANS LES
INDUSTRIES DE BIENS D'ÉQUIPEMENT**

Volume 1

**L'informatisation des activités
d'études**

Jacques MERCHIERS

*Département de la
Qualification du Travail*

Février 1984

C'est en 1981 que le Centre d'études et de recherches sur les qualifications a lancé, avec le concours de la Délégation générale à la recherche scientifique et technique, un programme d'études axé sur les liens entre l'évolution des technologies et celle du travail.

Les quatre volets de ce programme sont :

- l'informatisation dans le secteur des banques et assurances (1) ;*
- les modes d'utilisation des nouvelles formes d'informatisation des activités dites « de bureau » et leurs incidences sur l'organisation du travail, le contenu des emplois et les pratiques de gestion de la main-d'œuvre ;*
- les transformations de la maintenance dans les secteurs industriels ;*
- l'automatisation dans les industries de biens d'équipement.*

Les quatre volumes de ce numéro de la Collection des études consignent les résultats de ce dernier volet :

- Volume 1 : l'informatisation des activités d'études.*
- Volume 2 : les PME et la commande numérique (2).*
- Volume 3 : l'automatisation de l'usinage et le développement de la commande numérique.*
- Volume 4 : l'automatisation des fabrications de série.*

(1) Les résultats de cette étude sont déjà publiés. Cf. C. COSSALTER, L. HEZARD : *Nouvelles perspectives de l'informatisation dans les banques et les assurances*. Collection des études n°4. CEREQ, septembre 1983.

(2) Cette étude a donné lieu à une collaboration avec l'Institut de recherche économique et de planification du développement de l'université de Grenoble II auquel l'auteur, William CAVESTRO, est rattaché.

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	7
1. La problématique : l'approche fonctionnelle et ses développements	9
2. Les transformations dans la nature et l'organisation du travail : principaux résultats.....	11
a) L'informatisation des activités d'études et la pénétration de la CAO (conception assistée par ordinateur)	11
b) L'usinage par machine-outil à commande numérique	13
c) Autres formes d'automatisation en fabrication	14
3. Nouvelles technologies ; problèmes et enjeux	16
a) La pluralité des formes d'automatisation dans des situations économiques différenciées	16
b) Modifications dans la composition de la main-d'œuvre et nouvelles technologies	18
L'INFORMATISATION DES ACTIVITÉS D'ÉTUDES.....	21
1. Les domaines d'application de la conception assistée par ordinateur (CAO) ...	27
1.1. La diversité des applications	27
1.2. Les fonctions de la CAO	28
2. L'introduction du système de CAO-DAO (dessin assisté par ordinateur) dans les entreprises	31
2.1. Dans quelles entreprises introduit-on la CAO ?	31
2.2. Quels avantages en attend-on ?	33

	Pages
3. L'utilisation des systèmes de CAO-DAO	36
3.1. Les contenus d'emplois et l'organisation du travail d'études	36
A. Les systèmes de conception de forme	37
B. Applications de la CAO à la schématique	38
C. Applications de la CAO au dessin d'outillage.....	41
D. Applications de la CAO au dessin de pièces mécaniques	45
3.2. Relations entre les activités d'études et de préparation du travail	46
4. Formation à la CAO et gestion du personnel.....	49
Principaux résultats et éléments de conclusion	51
Au sommaire des autres volumes.....	55

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les travaux de recherche sur l'automatisation et l'emploi connaissent actuellement une floraison au moins comparable au développement des analyses de la sociologie industrielle des années soixante. Mais les tenants et la nature même de ces débats changent, des contradictions et des convergences apparaissent dans les hypothèses et surtout les résultats de ces recherches. La réflexion sur la technologie et le travail se constitue à travers de multiples polémiques sur les niveaux d'approche pertinents, sur la nature même des changements technologiques et plus fondamentalement, sur les transformations dans la mobilisation et l'utilisation des forces de travail dans la production. La mise en perspective du changement technique en liaison avec les transformations dans la nature du travail (et dans son organisation) et dans les modes de gestion de la main-d'œuvre, constitue l'axe principal des études ici regroupées.

Il s'agit de prendre en considération, dans la détermination des choix technologiques, des éléments de la situation économique des entreprises ainsi que de tenter de rattacher les choix organisationnels non seulement à la technologie, mais à la nature du travail auquel la technologie s'applique.

1. La problématique : l'approche fonctionnelle et ses développements

Pour apprécier les effets des nouvelles formes d'automatisation sur la structuration des emplois industriels, l'approche initiale se donne à la fois une caractérisation de ces formes d'automatisation, un modèle de structuration des emplois et des hypothèses sur les relations entre ces deux domaines.

— L'automatisation se développe actuellement dans le secteur des biens d'équipement par incorporation aux équipements de production (d'éléments matériels ou d'informations) des produits nouveaux de l'électronique et de l'informatique industrielle. La puissance de traitement, la capacité de ces produits de travailler en temps réel et à distance accroissent considérablement les possibilités de numérisation des variables physiques à définir, mesurer, contrôler, commander, et contribuent de ce fait à transformer et à remodeler les rapports de l'homme à la machine, voire même à en créer de nouveaux si l'on élargit le terme de machine aux machines logiques que sont les ordinateurs aussi bien que les automates programmables ou les directeurs de commande numérique.

— La distribution des emplois dans l'entreprise peut être approximativement représentée par un type de découpage fonctionnel qui distingue ici, les fonctions d'études, de méthodes ou de préparation du travail, de fabrication incluant l'usinage, l'assemblage-montage et le contrôle, enfin d'entretien. Ce modèle organisationnel peut être plus ou moins détaillé selon les besoins de chaque étude, en distinguant des sous-fonctions à l'intérieur des fonctions précitées ou en y adjoignant d'autres fonctions telles que la gestion de la production, les fonctions commerciales, la comptabilité etc.(1).

(1) Les transformations des activités tertiaires d'entreprise font l'objet d'une étude menée par N. MANDON et J. RANNOU, à paraître dans la *Collection des études* du CEREQ.

L'intérêt d'un tel modèle réside dans la capacité qu'il procure, de fournir une grille cohérente et systématique à la description des contenus d'emploi comme l'a montré la réalisation du Répertoire français des emplois (RFE) (2).

— La stabilité des découpages fonctionnels est au centre de cette étude puisque les effets de la diffusion de nouvelles technologies, à travers l'évolution des contenus d'emploi, se traduit par une modification des rapports entre les fonctions. Cette modification peut toutefois consister en une intégration de deux ou plusieurs fonctions ou peut, simplement, correspondre à un déplacement des frontières entre fonctions. La variabilité de cette organisation fonctionnelle conduit alors à examiner la nature des choix qui la provoquent et à évaluer l'influence, non seulement de la variable technique, mais aussi d'autres variables, sur l'évolution de l'organisation fonctionnelle.

Une fonction est habituellement définie par une sorte d'impératif fonctionnel nécessaire, de toute évidence, à la marche de l'entreprise. Il faut, pour fabriquer un produit, l'avoir conçu, puis définir les moyens de sa fabrication, enfin les entretenir. A ces impératifs techniques s'en ajoutent d'autres ayant trait à la distribution du produit ou à la gestion économique et financière des moyens de production.

Chaque fonction est alors supposée coïncider avec l'une ou l'autre de ces activités. La notion de fonction marque ainsi la spécialisation des activités en même temps que l'exclusion d'autres activités. Cependant l'automatisation ne porte pas réellement sur les fonctions mais sur les activités et il s'agit alors d'évaluer précisément ces activités. De plus, l'automatisation génère de nouvelles activités, telles la programmation des machines logiques, qu'on ne peut assimiler à une nouvelle fonction. C'est pourquoi le découpage fonctionnel retenu ici ne préjuge pas de la nature des activités propres à chaque fonction.

Les rapports qui suivent établissent ainsi la nécessité de distinguer à l'intérieur de chaque fonction certaines activités ainsi que leur modalité d'exercice pour appréhender l'effet de l'automatisation. Le travail de fabrication comporte par exemple, de nombreuses tâches qu'on ne peut assimiler à un travail répétitif dans le cas de la fabrication en grande série, ni à la surveillance pure et simple d'une machine-outil dans le cas de l'usinage en petite ou moyenne série. De même, dans les activités d'études, le travail de dessin ou de calcul se complète toujours d'une certaine élaboration de méthodes.

C'est précisément dans la mesure où les formes actuelles d'automatisation portent sur ces activités qu'elles modifient la nature du travail dans les différentes fonctions et ne substituent pas simplement une activité mécanique à du travail humain. Il paraît alors nécessaire de différencier le mode d'analyse selon la nature du travail examiné si bien que des instruments d'analyses différents seront employés dans l'étude de l'automatisation des trois domaines couverts, le travail d'études, le travail d'usinage sur machine-outil et le travail de fabrication sur machine en grande série.

(2) Voir, pour ce qui concerne cette étude, le Cahier 3 du Répertoire français des emplois : les emplois-types de l'électricité et l'électronique, 1976 ; et le Cahier 11 : les emplois-types du travail des métaux, 1980. Paris : Documentation Française.

L'utilisation d'un tel modèle soulève aussi deux sortes de problèmes qui concernent la pertinence de l'identification des fonctions aux grands types d'activité et, au-delà, des rapports entre fonction et nature du travail d'une part, et le degré de stabilité d'un type de découpage fonctionnel, d'autre part.

De ce fait les modifications du découpage fonctionnel de l'entreprise ne peuvent pas être considérés comme l'effet de la technique sur l'organisation du travail réduite à cette structure fonctionnelle, mais elles apparaissent comme la résultante des modifications et redistributions d'activités à l'intérieur de chaque fonction du fait de l'application d'un choix technologique à un travail d'une nature déterminée. Ces redistributions, qui n'obéissent pas à une logique fonctionnelle, prennent appui sur les catégories professionnelles existantes et le réaménagement de celles-ci constitue tout autant un effet qu'un enjeu de l'automatisation.

Si aucune logique abstraite ne détermine les effets du changement technique sur l'organisation, on observera alors une grande variabilité de ces effets et des relations mouvantes entre formes d'automatisation et modes d'organisation du travail. C'est dans la tentative d'expliquer cette variabilité par des caractéristiques liées à la situation économique des entreprises ainsi qu'aux produits qu'elles fabriquent que réside le second développement de l'approche fonctionnelle de départ. L'automatisation s'insère dans les entreprises en fonction de finalités socio-économiques multiples qui tiennent aux objectifs qu'elles poursuivent dans un environnement dominé par la crise et caractérisé par la recherche d'économies de main-d'œuvre, l'adaptation aux contraintes des marchés, la nécessité d'augmenter la productivité et dans certains cas la flexibilité.

De ce point de vue, il est important de tenter d'exposer les interactions multiples et parfois contradictoires, entre ces différentes variables et les formes d'automatisation. La prise en compte des objectifs économiques de l'entreprise ne peut cependant s'opérer, dans un cadre méthodologique qui privilégie l'étude du travail au niveau de l'atelier ou du service, qu'à partir de la mise en place d'une typologie de ces objectifs tels qu'ils apparaissent en quelque sorte, réfractés au plan de l'unité étudiée et non tels qu'on pourrait les déduire d'une étude approfondie des conditions de la rentabilité, dans l'une ou l'autre des entreprises enquêtées.

Toutefois, dans le cas de petites ou moyennes entreprises, des liaisons plus précises entre les conditions économiques des investissements liés à l'automatisation et les formes de cette automatisation peuvent être explicitées dans la mesure où les différents niveaux, auxquels se définissent et se mettent en place les stratégies en matière de développement technologique et d'organisation du travail, sont moins éloignés et plus facilement descriptibles que dans de grandes entreprises.

2. Les transformations dans la nature et l'organisation du travail : principaux résultats

Le travail humain est une activité sociale complexe. La manière dont on le décrit, dont on l'objective, détermine la nature et la signification de ses transformations. On utilisera des définitions différentes pour analyser les transformations du travail dans les trois différents domaines couverts par l'étude.

a) L'informatisation des activités d'études et la pénétration de la CAO (3).

Le travail d'études consiste à traiter des informations différenciées et spécialisées par discipline, technique ou produit. Ces informations s'inscrivent sur différents supports, notes, plans, dessins, nomenclatures. La CAO a d'abord comme effet

(3) On emploie ici le terme habituel CAO (conception assistée par ordinateur) pour regrouper ce que l'étude distingue : CAO et DAO (dessin assisté par ordinateur).

d'introduire un nouveau type de support puisque l'information est stockée sur bande magnétique, structurée selon un langage symbolique et peut être visualisée sur écran. Cette innovation qui apparaît aux États-Unis dans l'industrie aéronautique en 1965 (4), s'est diffusée progressivement ces dix dernières années à l'ensemble des activités d'études des grandes entreprises de biens d'équipements.

La différenciation des informations et de leurs supports est corrélative d'une hiérarchisation des activités qui les créent. Le travail est saisi ici, d'emblée, comme travail divisé entre conception, dessin, calcul et la hiérarchisation se traduit par l'affectation différentielle de ces travaux à des catégories de personnel de bureau d'études insérées dans une classification professionnelle qui distingue schématiquement les dessinateurs des projeteurs selon des modalités variables avec les entreprises (5).

Or, l'introduction de la CAO se traduit par l'apparition de nouveaux moyens de travail faisant appel à l'informatique et permettant d'automatiser des tâches de dessin, de calcul et fournissant des aides à la conception.

Ces moyens de travail ne sont pas indifférenciés mais s'intègrent à certaines étapes et dans certaines fonctions du travail d'études. Celui-ci se situe entre le pôle de conception pure, dans lequel la CAO est encore peu utilisée, et la fabrication, ou plutôt les méthodes qui la définissent. On peut alors distinguer plusieurs types d'applications de la CAO selon leur position relative, leur distance à l'un ou l'autre de ces pôles. Ces applications se distinguent aussi selon les produits étudiés, par exemple circuits électroniques ou pièces mécaniques.

Moyens de travail utilisés par différentes catégories de personnel, ces applications sont aussi à des degrés divers, fabriquées par ces mêmes catégories et c'est probablement cette caractéristique qui rend possible les transformations du travail qui ont été observées et en fixe les limites.

Un système de CAO est en effet constitué par un logiciel spécialisé dans les tâches de bureau d'études et le degré de spécificité du logiciel est fonction de la nature de ces tâches. Le travail de développement de ce logiciel, réalisé partiellement à l'intérieur du bureau d'études, varie donc selon le type d'application, si bien que les transformations opérées dans l'organisation du travail seront plus ou moins importantes.

• Dans certaines applications, les plus complexes, ce travail de développement ne consiste pas seulement à élaborer des programmes d'exploitation qui utiliseront ensuite les dessinateurs. A travers cette élaboration se mettent en place des méthodes de résolution des problèmes de dessin qui dérivent directement des pratiques des dessinateurs. A cet égard, on peut dire que le système intègre partiellement le savoir-faire des dessinateurs. Cependant cette intégration peut être réalisée par les dessinateurs qui utiliseront le logiciel, ou par une équipe plus restreinte, provenant en partie du bureau d'études et initiée à l'informatique.

(4) Selon A. d'IRIBARNE, *Rapport de mission aux États-Unis sur la formation permanente et l'évolution technologique dans les industries aérospatiales*. CEREQ, 1976. 114 p. multigr.

(5) L'objet de cette étude n'est pas, rappelons-le, d'explicitier les déterminants de cette division du travail mais d'en décrire les modifications dans des situations de changement technologique.

Une nouvelle forme de différenciation des activités qui ne repose plus uniquement sur la nature du travail de dessin et sur l'expérience professionnelle, c'est-à-dire sur des compétences de « métier » propres à chaque secteur d'activité mais sur la distribution de savoirs de type informatique, se développe alors progressivement dans ces bureaux d'études.

- Dans d'autres cas cependant, le développement et l'adaptation des logiciels sont moins importants ou sous-traités complètement à l'extérieur. Ces systèmes sont parfois qualifiés de « *planche à dessin électronique* » et leur gestion relève strictement de l'informatique. Dans ces situations, l'impact de la CAO sur la nature et l'organisation du travail paraît encore relativement faible.

b) *L'usinage par machine-outil à commande numérique.*

L'usinage par enlèvement de matière permet de transformer, au moyen d'une machine-outil, un bloc de métal en une pièce finie, conforme, du point de vue de la forme, des dimensions et de l'état de surface, au dessin de pièce provenant du bureau d'études (6).

Le rapport du travailleur à la machine, au moyen de travail incluant le degré de maîtrise de ce moyen, constitue alors l'une des dimensions fondamentales de cette activité. Comment la commande numérique modifie-t-elle ce rapport et quel est son impact sur les formes existantes de division des tâches ?

Comme toutes les formes d'automatisation, la commande numérique repose sur la séparation entre l'élaboration puis la transmission d'instructions à la machine et la réalisation des opérations matérielles par celle-ci. La commande numérique tend théoriquement à accentuer la dichotomie des fonctions entre préparation du travail et fabrication.

Cependant, il existe toujours des dysfonctionnements engendrés par la mise au point des séquences de travail dont la répétitivité n'est jamais parfaite et ces dysfonctionnements agissent comme une contre-tendance permanente à ce mouvement de dissociation. Ils sont d'autant plus importants que les séries sont petites et les pièces complexes.

De plus la nature des rapports sociaux joue un rôle déterminant dans cette division du travail. Il peut arriver que la division du travail issue de l'usinage conventionnel ne soit pas remise en cause par la commande numérique. « *Un rapport de force favorable au collectif ouvrier, l'existence d'un compromis sur la volonté de maintenir une qualification ouvrière, la réduction au minimum des conflits liés à l'évolution et à la reconnaissance des savoir-faire jouent sans doute un rôle fondamental dans la persistance de cette forme de division du travail* » (7).

On observera donc des modalités divergentes d'organisation du travail selon la taille et la situation spécifique de l'entreprise. Dans la plupart des grandes ou moyennes entreprises observées, la programmation est effectuée par des techniciens

(6) Voir pour plus de précision : *Les emplois d'usinage en construction mécanique*, Cahier 11 du RFE, *op. cit.* p. 89-134.

(7) Cf. W. CAVESTRO : *Les PME et la commande numérique*. Vol. 2 de cette Collection.

distincts des ouvriers professionnels d'usinage. Ces techniciens peuvent être eux-mêmes séparés des préparateurs de méthode qui établissent la gamme. La responsabilité principale donnée à l'opérateur pour la programmation n'a été que rarement observée (8).

Dans le cas des PME, l'organisation des tâches est souvent moins hiérarchisée et la division du travail entre bureau des méthodes et atelier n'est pas tranchée. La fonction de programmation est diluée le plus souvent dans le service des méthodes ou bien assimilée à la fabrication. Lorsque la programmation reste en fabrication il semble bien que les PME favorisent plutôt la polyvalence « programmeur-régleur » que la polyvalence « programmeur-opérateur ».

Si l'on examine l'activité d'usinage proprement dite, il faut admettre que « l'intégration à la machine du mode et des caractéristiques d'usinage par le biais d'un langage codé participe à la réduction des savoir-faire ouvriers » (9). Faut-il en conclure pour autant que cette forme d'automatisation détruit l'ensemble des savoir-faire ouvriers ? On constate, en fait, que le contenu des tâches de l'opérateur comporte, après introduction de la commande numérique, un certain nombre d'invariants que l'on peut identifier quel que soit le mode d'organisation du travail.

Ce sont, par exemple, le montage des pièces et leur positionnement, le montage et le réglage des outils, le lancement de programme, la surveillance et le contrôle des usinages. Toutes ces activités impliquent une connaissance des paramètres d'usinage dont l'étendue est sans doute liée à la complexité des pièces, aux types de commande et de système de programmation utilisés, si bien que l'on peut dire que la commande numérique ne détruit pas les savoir-faire traditionnels mais les réutilise à des fins spécifiques.

c) *Autres formes d'automatisation en fabrication.*

A l'opposé de la commande numérique, la robotique ainsi que les techniques de commande ou de contrôle de procédés par automate programmable ou microprocesseur, s'appliquent généralement à du travail répétitif, exécuté sous forte contrainte de temps. Ces techniques ne sont pas non plus liées à des procédés particuliers tels que l'usinage mais peuvent s'appliquer indistinctement à toutes les opérations d'assemblage, d'alimentation de machines ou de manutention. S'agissant d'un travail dont la caractéristique principale est la répétitivité, comment objectiver cette activité pour évaluer les changements qu'y apporte l'automatisation ?

Le travail de série est souvent présenté comme répétitif et continu en ce sens qu'on y répète sans cesse les mêmes opérations. Or beaucoup d'analyses sociologiques du travail de série montrent que cette continuité dans la répétitivité n'est pas naturelle, ne va pas de soi. Elle ne s'exerce qu'à certaines conditions. En effet, les variations de la production sont telles qu'il faut sans cesse y pallier : « les aléas, les fluctuations de la production, les incidents techniques, les fluctuations des effectifs présents, font partie, avec des degrés divers, de la vie quotidienne des entreprises » (10). Dans le travail « non qualifié », appliqué à la fabrication de produits sécables, en grande série le plus souvent, on peut alors distinguer deux composantes : le travail direct, continu et

(8) Cf. O. BERTRAND. *L'automatisation de l'usinage et le développement de la commande numérique*. Vol. 3 de cette Collection.

(9) Cf. W. CAVESTRO, *op. cit.*

(10) D. CHAVE. « Nouvelles politiques de main-d'œuvre et rationalisation », *Sociologie du travail*, n°1, 1979.

répétitif, et le travail indirect qui concourt à créer ou à maintenir les conditions du travail précédent (11). L'automatisation modifie les deux composantes de ce travail : elle substitue au travail direct une activité mécanique et, dans la mesure où les organes de commande de la machine automatisée sont suffisamment développés, elle intègre tout ou partie du travail indirect dans une « programmation » aujourd'hui permise par l'informatique industrielle. Dans la mesure où le travail d'entretien a pour fonction d'assurer lui aussi la continuité du processus de fabrication, les formes actuelles d'automatisation conduisent, potentiellement, à un rapprochement de la fabrication et de l'entretien. L'analyse du procès de travail doit alors prendre en compte non seulement le rapport de l'opérateur à son moyen de travail mais aussi les interventions des régulateurs, des ouvriers et techniciens d'entretien, c'est-à-dire qu'elle doit saisir l'organisation productive dans son ensemble avec toutes les différenciations qu'elle comporte et en montrer les modifications.

Le caractère de potentialité que revêtent ces modifications apparaît pleinement lorsqu'on examine la diversité des contextes dans lesquels se développe l'automatisation (12) :

— diversité technologique : les trois dernières générations de systèmes de commande — relayage électromécanique, relayage électronique, logique programmable des microprocesseurs — coexistent souvent dans la même entreprise ; l'utilisation de robots est parfois associée au maintien de certaines tâches directes d'alimentation de machines ;

— l'intégration fonctionnelle fabrication-entretien est d'ampleur variable et par conséquent les interventions des opérateurs, ou surveillants-opérateurs, se rapprochent plus ou moins du travail d'entretien ; à l'intérieur de celui-ci les interventions sur la machine ou le procédé et les interventions sur la programmation du système de commande sont affectées différenciellement aux ouvriers ou aux techniciens d'entretien ;

— les objectifs poursuivis par les entreprises qui s'automatisent, sont multiples et difficiles à hiérarchiser. S'ils visent la plupart du temps la « rentabilité » par l'abaissement des coûts, ils peuvent aussi inclure une contrainte supplémentaire de « flexibilité » du processus productif qui implique une maîtrise plus grande de celui-ci et par là, une intégration plus poussée des composantes indirectes du travail de fabrication dans le système de commande.

Cette diversité importante des contextes ne doit cependant pas faire oublier que, dans leur état actuel, les systèmes automatisés ne fonctionnent pas sans aléas dans aucune des unités enquêtées. La résolution de ces aléas est l'œuvre de l'organisation productive dans son ensemble, si bien que les modifications apportées au contenu de travail et à la place d'une catégorie professionnelle, influencent les autres catégories. De ce point de vue, des régularités apparaissent d'ores et déjà, sans que l'on puisse toutefois les considérer comme des traits définitifs d'une « organisation du travail automatisé » :

(11) Cf. D. CHAVE, P. DUBOIS, C. DURAND, G. LE MAÎTRE. « Réorganisation du travail et politiques de gestion de la main-d'œuvre », rapport pour la DGRST, groupe de sociologie du travail, Paris, CNRS, 1978, 128 p. multigr.

(12) Cf. J. MERCHIEERS : L'automatisation des fabrications de série. Vol. 4 de cette Collection.

– l'émergence d'une nouvelle catégorie d'emplois de fabrication, les surveillants-opérateurs, réalisant une partie du travail d'entretien et de réglage paraît largement confirmée ;

– la disparition de régleurs, qui constituaient souvent une catégorie intermédiaire entre l'entretien et la fabrication, semble se généraliser ;

– la multiplication des niveaux d'entretien entraîne une hiérarchisation plus stricte des ouvriers professionnels et des techniciens d'entretien ainsi qu'un accroissement du rôle de ces derniers, particulièrement dans la programmation des systèmes de commande.

Comment interpréter les changements dans la nature du travail et son organisation, changements qui viennent d'être brièvement évoqués, dans les trois domaines principaux couverts par l'étude ?

Il paraît important de ne pas se situer dans la perspective d'un schéma reposant sur un principe de causalité, admis ou réfuté, reliant la technologie et le contenu du travail. Dans le processus d'automatisation, le remodelage et la séparation des fonctions entre l'homme et la machine se posent aussi en termes économiques et sociaux. De ce point de vue, les relations technologie-travail s'inscrivent dans un contexte de crise exprimant les conditions économiques et sociales nouvelles de mobilisation de la main-d'œuvre autour de l'outil technologique. Bien que l'objet des études rassemblées ici ne soit pas d'explorer ce contexte, les résultats présentés permettent d'en éclaircir certaines dimensions : à quoi répondent les nouvelles technologies et que signifient-elles du point de vue de l'évolution du travail ?

3. Nouvelles technologies : problèmes et enjeux

Derrière la référence générale à l'informatisation-automatisation, forme actuelle, mais non unique, du changement technologique, se profilent des objectifs économiques variés que l'on peut essayer de distinguer et qui renvoient à la nature des produits fabriqués et à la situation économique des entreprises, à la composition de leur main-d'œuvre ainsi qu'aux modes de mobilisation des capacités de travail à travers l'usage de la technologie.

a) *La pluralité des formes d'automatisation dans des situations économiques différenciées.*

Dans une situation qui se caractérise par une intensification de la concurrence liée au développement de la crise dans les secteurs des biens d'équipement, l'automatisation se présente souvent, à travers les avantages économiques qu'elle procure (abaissement des coûts, réduction des délais de fabrication) comme réponse à la concurrence visant à maintenir ou à augmenter les parts de marché ou comme moyen d'améliorer l'adaptation aux fluctuations de la demande :

– dans le domaine des activités d'études, on peut ainsi distinguer deux modalités d'introduction et de développement de l'informatique : la conception assistée par ordinateur permet en effet, lorsqu'elle est introduite à un endroit stratégique de l'entreprise, de concevoir ou de fabriquer des produits qui se différencient de ceux de la concurrence ; alors que le dessin assisté par ordinateur, en rationalisant le travail d'études, permet de peser sur les coûts ou les délais de réalisation des produits ;

— en fabrication, l'automatisation de l'usinage, contrairement à l'informatisation des activités d'études, touche aussi bien les petites et moyennes entreprises que les grandes entreprises. Pour ces dernières, le parc machine-outil à commande numérique (MO/CN), encore faible, représente néanmoins une part croissante de la production. L'intensification de la concurrence internationale entraîne schématiquement deux types d'innovations : les unes qui privilégient l'amélioration du produit pour faire face à des contraintes techniques plus qu'à des impératifs de prix et ont donné lieu à la mise en place, depuis de nombreuses années pour certaines d'entre elles (c'est en particulier le cas des industries automobiles et aéronautiques), de systèmes complexes et lourds de programmation en commande numérique (13) ; les autres qui donnent la possibilité d'assurer une production à coût plus faible, avec une certaine flexibilité, se développent rapidement depuis 1975 à travers la succession des générations de matériels plus ou moins autonomes qui incorporent un ordinateur à la MO/CN (du type commande numérique avec ordinateur (CNC) et centre d'usinage). Dans les petites et moyennes entreprises, la commande numérique est devenue la forme principale de l'automatisation, mais celles-ci restent en moyenne deux fois moins capitalistiques que les grandes entreprises. La sensibilité des PME aux incitations des donneurs d'ordre ou des clients, les conduit à rechercher les solutions d'automatisation qui privilégient la souplesse d'utilisation et une certaine indifférenciation fonctionnelle. C'est sans doute pour cette raison que la multiplicité des systèmes de programmation de la CN dans ces entreprises est corrélative d'une certaine dilution de la fonction de programmation entre les services de méthodes et de fabrication, alors que dans les grandes entreprises, la programmation directe par l'opérateur reste exceptionnelle ;

— l'automatisation des fabrications en dehors de l'usinage concerne les grandes entreprises qui effectuent des choix technologiques souvent différents d'un établissement à l'autre. Il semble que les voies actuelles de l'automatisation oscillent entre un modèle relativement rigide d'atelier flexible commandé par une informatique puissante et lourde et des automatisations séparées de machines, ou groupes de machines, commandées par automate programmable. La flexibilité de l'atelier répond aux fluctuations de la demande et s'applique, par conséquent, à des produits comme l'automobile dont la demande des divers modèles fluctue sans cesse autour d'une position moyenne. L'automatisation partielle de segments de production visant une augmentation rapide des quantités produites à coûts inférieurs concernerait plutôt d'autres industries par exemple : les composants électroniques.

Peut-on, au-delà de ces distinctions particulières, avancer vers une typologie des productions automatisées ? Les exemples précédents montrent toutefois qu'une telle typologie devrait dépasser les distinctions sectorielles habituellement utilisées. Si le secteur se définit d'abord par la similitude de produits renvoyant à l'unicité d'un processus technique de production, il apparaît qu'en fait, les différents types d'automatisation coexistent dans les sous-secteurs concernés. De même, parmi les PME, l'investissement dans le domaine de la commande numérique ne s'explique pas principalement par leur appartenance sectorielle et une analyse plus fine mettrait sans doute en évidence des comportements différenciés d'investissement des PME en fonction de leur taille, de leurs créneaux, de leur gestion financière et surtout de leurs réseaux et

(13) Systèmes qui s'appliquent à la fabrication de prototypes et d'outillages comme UNISURF dans l'automobile, développé à partir de 1964, ou à la production en petite série, de produits de l'aéronautique comme CONCORDE, puis AIRBUS.

du type de sous-traitance. La plupart de ces facteurs pourraient sans doute être repris pour évaluer le poids des objectifs économiques dans la nature des choix technologiques. Il semble difficile d'aller, dans cette étude, au-delà du simple constat d'une variabilité aussi bien intersectorielle qu'intrasectorielle.

b) Modifications dans la composition de la main-d'œuvre et nouvelles technologies.

Les nouveaux moyens de production tels que la CAO, la CN et la robotique ont tendance à s'unifier dans des systèmes et des technologies intégrées qui répondent à des objectifs socio-économiques convergents (recherche de flexibilité, d'économie de coût, de fiabilité). En est-il de même des modes opératoires, des configurations de tâches, des formes de coopération ou des types de contrôle du travail ?

Avant de répondre à cette question, il faut remarquer que l'analyse fonctionnelle adoptée ici, met l'accent sur la parcellisation du travail beaucoup plus que sur les types de contrôle, les rythmes de travail ou l'autonomie au poste ou dans l'organisation. Les conclusions que l'on peut tirer des variations de cette parcellisation ne fournissent, par conséquent, que des indications partielles sur la question plus générale de l'évolution du taylorisme que l'on ne peut simplement réduire à la parcellisation du travail ou à la dépossession des savoirs.

Cependant la démarche fonctionnelle se double ici d'une prise en considération de la différenciation professionnelle de la main-d'œuvre. Ce ne sont pas simplement des techniciens ou des ouvriers qui interviennent sur les nouveaux moyens de production automatisés, mais des dessinateurs et des projeteurs en études, des préparateurs, des programmeurs, des régleurs, des ouvriers professionnels ou spécialisés en fabrication et en entretien. Ces différentes catégories professionnelles ne peuvent être réduites aux classifications en usage dans les établissements enquêtés. Or les critères de catégorisation, fondés en partie sur le contenu du travail sont, dans une certaine mesure, remis en cause par l'évolution des différentes espèces de travail analysées ici.

A travers le découpage et la répartition de certaines activités, de nouveaux enjeux se constituent, qui apparaissent comme stratégiques dans la composition et la classification des différentes catégories de main-d'œuvre. Ce sont par exemple :

— dans le domaine des études : la gestion et le développement de systèmes et des méthodes de CAO par opposition aux activités traditionnelles de dessin et de calcul. La différenciation des dessinateurs et les variations de leur autonomie paraissent être en rapport direct avec la maîtrise qu'ils ont de ces systèmes par l'intermédiaire de leur programmation ;

— en usinage par enlèvement : la programmation de la commande numérique, les tests de programme, le réglage des outils. La répartition de ces activités entre programmeurs, préparateurs et opérateurs semble, elle aussi, dépendre étroitement de l'utilisation de langages qui, s'ils ne se confondent pas avec ceux de l'informatique, manifestent néanmoins une certaine parenté, à tel point qu'on peut les classer en fonction de leur distance à l'informatique ;

— en fabrication automatisée : les tâches de réglage des ensembles de machines et la programmation de leur commande. La différenciation des niveaux de maintenance et leur degré d'intégration à la fabrication qui modifient les frontières entre opérateurs, réglers, ouvriers et techniciens d'entretien est, là encore, largement fondée sur l'utilisation de langages ou de systèmes de représentation des automatismes. Les activités et les catégorisations qu'elles permettent, sans toutefois bien sûr en imposer aucune, reposent en partie sur l'appropriation des éléments scientifiques et techniques nécessaires à la maîtrise des nouvelles technologies. Les différentes catégories professionnelles occupent de ce point de vue des positions différentes qui proviennent du poids de la division existante du travail et des politiques de gestion de la main-d'œuvre qu'appliquent les entreprises, particulièrement dans le domaine de la formation.

Dans le domaine de l'usinage par exemple, le transfert de l'usinage classique à la commande numérique peut attribuer au régleur des fonctions de programmation aussi bien que générer une spécialisation de la programmation à l'intérieur du service des méthodes. Dans le premier cas, on constate que la division du travail entre les méthodes et l'atelier était relativement floue au stade antérieur de l'usinage traditionnel alors que dans le second cas, l'existence d'un service des méthodes fortement structuré engendre presque « automatiquement » la spécialisation en son sein, de la fonction programmation. En ce sens, on peut penser que la préexistence d'une forte division du travail rend difficile aux travailleurs de fabrication la récupération des éléments du savoir des techniciens de la programmation.

Si cela est vrai dans les PME, cela l'est, à fortiori, dans des entreprises plus importantes où l'on observe que de manière générale il semble y avoir chez les employeurs un souci de ne pas bouleverser la structure existante des qualifications. Les modifications dans la composition de la main-d'œuvre qui résultent du développement des nouvelles technologies ne peuvent donc s'analyser simplement comme un mouvement général de déqualification provoqué par l'homogénéisation sans cesse croissante du travail. La prise en compte de la diversité des catégories professionnelles dans l'analyse indiquera plutôt, qu'à travers les différenciations qui s'opèrent, certaines formes de recomposition internes à l'entreprise peuvent ainsi apparaître. Dans ce domaine, les politiques de recrutement et de formation des entreprises prennent une certaine importance, car l'adaptation aux nouvelles technologies oscille sans cesse entre deux possibilités, la reconversion du personnel en place par la formation associée à un accroissement de la mobilité interne et le renouvellement par appel à une main-d'œuvre externe. Analyser les déterminants de l'appel à une main-d'œuvre externe ou interne constituerait sans doute l'un des prolongements possibles de telles études.

L'INFORMATISATION DES ACTIVITÉS D'ÉTUDES

Dans le domaine des biens d'équipement, l'informatisation des activités d'études débuta, il y a une vingtaine d'années, avec l'utilisation d'ordinateurs pour le calcul scientifique.

L'importance croissante des activités de calcul dans les grands bureaux d'études a parfois donné naissance à une spécialisation de techniciens de bureaux d'études orientés vers la réalisation et l'exploitation des calculs (1).

Plus récemment l'ordinateur s'est introduit dans le domaine des représentations graphiques et des bureaux d'études se sont équipés de tables traçantes asservies à un ordinateur et permettant le traçage automatique de courbes (2).

Ce mouvement d'informatisation allait de pair avec un mouvement de rationalisation du travail d'études aboutissant à freiner la croissance des effectifs de dessinateurs industriels qui avait été forte dans les années 1962 - 1968. Cette évolution se retrouve aussi dans un autre secteur, celui du bâtiment, dont les effectifs de dessinateurs ont regressé entre 1970 et 1980, les dessinateurs d'exécution étant les premiers touchés par cette évolution entre 1970 et 1975, suivis par les dessinateurs projeteurs entre 1975 et 1980 (3).

Selon des estimations récentes (4), le nombre de dessinateurs, tous secteurs confondus, serait passé de 128 000 en 1975 à 124 000 en 1980. C'est sur cette toile de fond, caractérisée par la stagnation des effectifs, qu'apparaît la conception assistée par ordinateur (CAO). Celle-ci consiste à généraliser l'utilisation de l'ordinateur dans le domaine graphique (dessins, plans) pour représenter les propriétés géométriques des objets et effectuer des calculs sur ces représentations.

Le développement actuel de la mini-micro-informatique qui permet de réaliser des systèmes de CAO, interactifs (possibilité de dialogues en temps réel avec le système) (5) ainsi que des systèmes « *bas de gamme* », laisse prévoir une grande diffusion de ces systèmes, ceux-ci étant cependant encore peu nombreux. Il y aurait

-
- (1) Voir la description des emplois d'études et particulièrement du technicien de calcul dans le Cahier 11 du Répertoire français des emplois, « Les emplois-types du travail des métaux ». Paris : La Documentation Française, juin 1980.
 - (2) Il existerait actuellement quelques milliers de tables traçantes, tous modèles confondus, selon les constructeurs.
 - (3) Selon M. CAMPINOS-DUBERNET : *Emploi et gestion de la main-d'œuvre dans le BTP*, (titre provisoire), à paraître à la Documentation Française dans la Collection des Dossiers du CEREQ.
 - (4) Estimation CEREQ, à partir de l'enquête Structure des emplois (ESE) et des chiffres de l'UNEDIC.
 - (5) On distingue parfois le travail en « *conversationnel* » — dans lequel l'opérateur frappe une instruction alphanumérique sur un clavier, cette instruction s'inscrivant en même temps sur une console de visualisation alphanumérique, et reçoit la réponse de l'ordinateur sur ce même clavier — du travail en « *interactif graphique* » — dans lequel l'opérateur désigne un élément graphique directement sur écran graphique, ou sur une tablette qui représente l'écran et qui peut être organisée en « menus », chaque case du menu représentant une macro-instruction.

actuellement environ deux cents systèmes installés dans une soixantaine d'entreprises, avec un nombre moyen de quatre ou cinq postes de travail par systèmes, soit au total un millier de postes (6) utilisés chacun par un ou plusieurs dessinateurs.

Malgré la faiblesse des effectifs de dessinateurs concernés, la CAO est souvent présentée comme une innovation technique majeure dans le domaine des activités d'études, susceptible de remettre en cause les distinctions habituelles entre ingénieurs, techniciens et dessinateurs ou entre les activités de conception, de dessin et de calcul.

Selon ce point de vue, il n'existerait plus de calculateur, de dessinateur ou de projeteur, mais des concepteurs réalisant l'ensemble du travail d'études sur écran graphique (7). Cependant le terme de CAO recouvre une grande diversité de systèmes dotés de capacités de traitement des données plus ou moins vastes. On peut distinguer, par exemple, les systèmes de dessin assisté par ordinateur (DAO) qui permettent le traitement informatique de données graphiques et alphanumériques indépendantes les unes des autres, des systèmes de CAO qui traitent des données reliées entre elles par des rapports hiérarchisés (8). Dans le premier cas « *la machine n'est que le prolongement de la main de l'opérateur qui dessine électroniquement* », alors qu'en CAO, « *certaines procédures semi-automatiques complètent l'éventail des possibilités offertes au concepteur, qui peut interroger le système, éventuellement tester, partiellement ou totalement, une solution à un problème ponctuel, et remettre en cause un résultat, sous contrôle permanent de l'ordinateur* » (9). L'automatisation des activités d'études n'affectera donc pas de la même manière les différentes catégories de personnels d'études : ingénieurs, dessinateurs, techniciens, informaticiens. La recomposition des activités autour du travail de conception n'est probablement que l'une des modalités observables d'organisation du travail d'études et comme le souligne le rapport Lasfargue (10) « *certain parlent de déqualification de tous les dessinateurs, d'autres de surqualification de certains dessinateurs* ». On tentera donc de préciser les mouvements de spécialisation ou de déspecialisation que l'on peut observer dans l'organisation du travail d'études.

La diffusion de la CAO pose le problème de l'intégration de l'informatique, utilisée pour la constitution des logiciels, des systèmes et leur gestion, au domaine de connaissances et de savoir-faire des dessinateurs. Une étude récente (11) fait l'hypothèse que les compétences des dessinateurs seront de plus en plus constituées de connaissances traditionnelles (dans les spécialités de mécanique, d'électricité, de bâtiment, etc.) alliées à des aptitudes à manier les outils de CAO par l'intermédiaire de langages informatiques « *orientés utilisateurs* ». C'est pourquoi cette étude s'attachera à examiner la répartition de ces compétences dans les différentes catégories de dessinateurs ainsi que leur mode d'acquisition, par formation initiale continue ou expérience professionnelle.

(6) Selon A. PEREZ, « La CAO sait presque tout faire ». *Industries et techniques* n°500, déc. 1982.

(7) Voir Marc FERRETI « CAO, quel outil choisir ? », *Zéro l'Informatique* n°166, 1983.

(8) Selon F. ORTH « du DAO à la CAO » *Annales des Mines* n°5-6, 1982.

(9) *Ibid.* p. 115.

(10) « L'utilisation de la robotique dans la production et ses perspectives d'avenir » *Journal officiel*, 2/4/82.

(11) GESTE. *L'informatisation des bureaux d'études industriels*, document ronéoté. 1981.

L'introduction de ces nouvelles technologies dans les bureaux d'études élargit donc le champ de l'automatisation à des fonctions extérieures à la production. Si l'automatisation de la fabrication est souvent présentée comme la condition indispensable à l'accroissement de la productivité, l'automatisation des activités d'études ne paraît pas toujours dictée par les mêmes raisons, la productivité des bureaux d'études étant difficile à mesurer et la rentabilité des équipements de CAO largement fonction de leur mode d'utilisation. Sans aborder directement la question des relations entre la rentabilité de ces équipements et la plus ou moins grande rapidité avec laquelle ils se diffusent (12), on tentera de mettre en rapport les divers types d'avantages que procurent ces systèmes et les caractéristiques organisationnelles des unités observées. Pour cela, l'examen des conditions d'introduction sera précédé d'une présentation des principaux systèmes utilisés actuellement.

(12) L'existence de ces relations dépend de la possibilité d'effectuer un calcul de rentabilité de ces investissements. Or les auteurs de l'étude GESTE citée remarquent : « Pour l'instant, et en France en tous cas, un tel calcul est un exercice de style, une méthode de vente souvent très éloignée de la réalité. Lorsqu'il est fait sérieusement, il aboutit à des résultats qui ne justifient pas le développement de cette technique ».

Une étude réalisée à la même époque en Angleterre, arrive à des conclusions semblables sur le manque d'éléments permettant de justifier ces investissements en remarquant que « the basis of the calculations underlying these investment appraisals was often rather suspect », in : The implications of CAO interactive graphics for employment and skills in the british engineering industry, report for the Engineering Industry Training Board 1983.

LES ACTIVITÉS D'ÉTUDES

Les activités d'études (...) consistent à appliquer des technologies connues à des objets techniques nouveaux, soit des objets fabriqués par l'entreprise en tant que produit final, soit des outillages ou installations de fabrication utilisés par l'entreprise.

.....

Les études, au stade de l'avant-projet doivent permettre de choisir le principe technologique qui sera appliqué, compte tenu des contraintes techniques et financières de la demande. L'application du principe technologique choisi entraîne le calcul des grandeurs physiques qui le caractérisent dans les conditions de fonctionnement déterminées par son utilisation. Il n'est souvent pas possible de déterminer logiquement tous les paramètres (par exemple toutes les dimensions des différentes pièces d'un ensemble) à ce stade de conception, soit que certains d'entre eux ne dérivent pas immédiatement du principe retenu, soit que le choix de certains paramètres dépende des conditions de fabrication.

L'ensemble des calculs effectués à ce stade ne suffit donc pas à donner une description suffisante de l'objet technique.

Le dessin industriel répond alors au besoin de présenter sans erreur ni omission la totalité des renseignements nécessaires à la mise en fabrication de l'objet, au moyen de systèmes de représentation conventionnels et normalisés. L'objet technique est décomposé en sous-ensembles puis en éléments dont la description est plus ou moins complète selon l'utilisation de ces documents.

A chaque étape d'élaboration, des calculs sont effectués pour déterminer la valeur des paramètres à définir et les résultats de ces calculs servent ainsi de contraintes à l'étape suivante jusqu'à ce que l'objet soit entièrement décrit.

Cahier 11 du Répertoire français des emplois : Les emplois types du travail des métaux. Paris : Documentation Française, juin 1980, pp. 35-36.

1. LES DOMAINES D'APPLICATION DE LA CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR (CAO)

L'application de l'informatique aux activités d'études touche à un degré variable les trois types d'activités que l'on rencontre dans un bureau d'études : la conception, le calcul et le dessin (voir encadré).

Ces activités s'appliquent à des produits nouveaux aussi bien qu'aux outillages utilisés pour leur fabrication, si bien que l'informatisation se développe non seulement dans les bureaux d'études « produit » mais également dans les bureaux d'études « outillage » que l'on distingue traditionnellement dans l'analyse de ces activités. L'informatisation du BE (bureau d'études) concerne aussi la fabrication lorsque celle-ci utilise des machines-outils à commande numérique (CN). L'étendue des fonctions remplies par les systèmes de CAO actuels est variable et ces variations s'expliquent par l'origine et la nature des applications.

1.1. La diversité des applications

On peut décrire schématiquement trois modalités d'apparition de l'informatique graphique dans les bureaux d'études.

a) La première est la suite logique du développement de la commande numérique. Celle-ci a en effet donné naissance, à un certain stade de son évolution, à des langages généraux, tel APT (13), qui permettaient de décrire la géométrie de la pièce à usiner en trois dimensions. Cette description était effectuée à partir de dessins sur papier réalisés par les dessinateurs à l'issue du processus de conception. Le programmeur, qui construisait un objet à partir de codes ou langages, ne pouvait cependant le visualiser que sur table traçante asservie à un ordinateur. A partir du moment où les technologies électroniques permettaient la création de consoles de visualisation (consoles graphiques permettant de dialoguer avec l'ordinateur), il devenait possible de dessiner directement sur écran, sans passer par la phase de perforation de carte (travail en *batch*).

Des logiciels graphiques ont été mis au point pour représenter des entités géométriques (points, droites, cercles, etc.) sur l'écran et permettre de les relier en un dessin, puis de modifier ce dessin en utilisant les transformations géométriques habituelles (translations, rotations, homothéties, etc.). Les premiers logiciels graphiques permettaient de représenter des vues de l'objet (coupes ou sections) en deux dimensions reproduisant ainsi l'espace-plan de la planche à dessin. De plus en plus, les logiciels récents peuvent aussi représenter des vues en perspectives de l'objet et permettent de travailler en trois dimensions. On distinguera dans cette étude deux types d'applications de ces logiciels à la mécanique :

– les applications aux pièces mécaniques : ces pièces sont des éléments ou des sous-systèmes qui composent les produits fabriqués ;

– les applications à l'outillage : les outillages sont des pièces mécaniques particulières, conçues pour équiper les machines qui fabriqueront les produits. Il s'agira le plus souvent, dans les unités enquêtées, de moules de fonderie ou de matrices de presse à emboutir.

(13) Automatically Programmed Tools.

Cette distinction repose sur le fait que les activités d'études et de dessin des outillages sont plus proches de la fabrication que celles qui s'appliquent aux pièces composant le produit fabriqué par l'entreprise. Il faut en effet connaître précisément le procédé et les méthodes utilisées (emboutissage, fonderie, etc.) en fabrication pour en réaliser les outillages et les services concernés dépendent souvent de la direction des méthodes et non de celle des études.

b) Certaines pièces, dites pièces de forme, ne peuvent cependant pas être décrites au moyen d'entités géométriques simples. On les trouve en particulier chaque fois qu'il y a un problème d'aérodynamique ou d'hydrodynamique : cellule d'avion, carrosserie de voiture, coque de bateau, aube de turbine. Ces formes ne peuvent être décrites avec une précision suffisante que par des systèmes d'équations difficiles à traiter (polynômes de degré élevé).

Des logiciels spécifiques ont été mis au point, tel SIGMA et SYSTRID, en aéronautique, afin de concevoir et dessiner ces formes en trois dimensions. Ces logiciels opèrent donc sur des surfaces gauches mais ne sont pas conçus pour décrire des volumes et on distinguera donc cette application au dessin de forme des précédentes applications.

c) Un troisième type de systèmes trouve son origine dans la réalisation de schémas électroniques pour circuits imprimés. Il s'agissait le plus souvent de logiciels travaillant en deux dimensions dans lesquelles les fonctions géométriques étaient peu développées mais qui constituaient surtout une aide au dessin et à la gestion de fichiers de plans. Ces systèmes pouvaient dès lors être étendus au dessin de schémas pneumatiques ou hydrauliques. Simultanément, des logiciels plus spécialisés de simulation et de tests de circuits intégrés étaient développés. Ces systèmes ont été regroupés dans un quatrième type d'application : l'application à la schématisation.

1.2 Les fonctions de la CAO

Les fonctions que remplissent ces systèmes sont multiples et tiennent en partie aux produits auxquels ils s'appliquent, en partie à la manière dont ils sont utilisés. On peut cependant les classer du point de vue de leur utilisation en remarquant que le dessin est à la fois un support d'information et un instrument de conception. La conception est nécessairement réalisée dans l'espace, avec, comme support traditionnel, des vues en perspective ou des esquisses qui reproduisent partiellement la représentation intuitive que l'on a de l'objet. Par contre le dessin, comme support d'information, est exécuté en deux dimensions afin de représenter symboliquement et systématiquement les vues et coupes de l'objet ou de la partie de l'objet. Les systèmes de CAO - DAO remplissent ainsi l'une ou l'autre ou l'ensemble de ces deux fonctions selon qu'ils fonctionnent en deux dimensions ou en trois dimensions.

Les systèmes de DAO en deux dimensions (2 D) permettent d'éliminer en grande partie le travail sur table et de le remplacer par un travail sur écran graphique interactif, beaucoup plus rapide mais aussi plus standardisé. Les instructions au moyen desquelles le dessinateur utilise le système sont souvent rassemblées en « menu » qui lui permettent de réaliser immédiatement les transformations géométriques et les éléments de dessin nécessaires. Les « menus » sont parfois fournis par le constructeur et ne peuvent être modifiés ou au contraire peuvent être composés par l'utilisateur. Ce type de système tend donc à réduire les travaux répétitifs et ceux de reproduction de dessin.

Les systèmes de CAO en trois dimensions ne peuvent être utilisés pour représenter des objets dans l'espace qu'avec certaines restrictions. Les premiers systèmes représentaient l'objet par ses arêtes (systèmes filaires). La plupart, aujourd'hui, le représentent par des surfaces (systèmes surfaciques) à l'exception du système français EUCLID qui représente l'objet par son volume (14) (le système connaît l'intérieur de l'objet). Ces systèmes sont encore utilisés pour faire du dessin mais la conception est désormais possible dans certains cas, compte tenu des petites dimensions des écrans sur lesquels il est difficile de visualiser un objet complexe de grande dimension. Contrairement aux systèmes de DAO, les gains procurés par la CAO ne sont pas essentiellement des gains de temps mais une meilleure conception de l'objet (optimisation) qui le rend plus efficace ou plus facile à produire.

Il faut ajouter à ces fonctions la possibilité qu'offrent certains systèmes d'effectuer des calculs, soit directement sur l'objet dessiné, soit par utilisation de logiciels spécifiques (logiciels de maillage par exemple). Enfin, compte tenu de l'origine de la CAO, la fonction de préparation de l'usinage (sortie directe de bandes de CN ou aide à la programmation) paraît extrêmement importante lorsque l'on cherche à comprendre les raisons qui mènent à l'introduction de ces systèmes.

(14) D'autres systèmes travaillant en trois dimensions (3 D) volumiques ont été développés depuis cette enquête.

Entreprise	Système	Caractéristiques Unités	Fonctions				Date d'implantation	Type de produit				Effets principaux attendus		
			Conception en 3 D	Calcul	Dessin en 2 ou 3 D (1)	CN		Pièce mécanique	Schématique	Forme	Outillage	Optimisation du projet	Diminution des délais	Aide à la programmation
Snias-Toulouse	SIGMA	A - 1	x	x			1975/76			x		x	x	
	C.V.	2			x	x	1976/77	x					x	x
	C.V.	3			x		1977/78		x				x	
Snias-Marignane	SYSTRID	B - 1	x	x			1976			x		x	x	
	CADAM	2			x	x	1980	x					x	x
	CEDRE	3		x				x				x		
Legrand	C.V.	C			x	x	1980/81		x		x	x	x	x
Thomson-Malakoff	CADAM	D			x	x	1981	x					x	x
Thomson-Montrouge	APPLICON	E			x		1979		x				x	
PSA	Sochaux } Outillage }	UNISURF C.V.	F - 1	x			1973			x	x	x		
			2			x		1981				x		x
Citroën-outillage	C.V.	G			x		1979				x	x	x	
Télé mécanique	EUCLID	H	x				1981				x	x		
Creusot-Loire	CALMA	I			x	x	1982	x				x		x
Merlin-Gerin	EUCLID	J	x				1982				x	x	x	
Snecma	C.V.	K			x	x	1979	x					x	x

(1) Systèmes surfaciques du type CV en 3 D ou système en 2 D du type CADAM

2. L'INTRODUCTION DU SYSTÈME DE CAO-DAO DANS LES ENTREPRISES

Les éléments descriptifs précédents permettent de classer les systèmes en fonction de la nature de l'application et de leur position dans l'organisation des activités d'études et de préparation du travail.

Pour comprendre les raisons de l'introduction de ces systèmes dans les unités enquêtées, il est nécessaire de relier ces caractéristiques technico-organisationnelles aux objectifs que se fixaient les entreprises concernées en matière d'automatisation des bureaux d'études (voir tableau suivant).

2.1. Dans quelles entreprises introduit-on la CAO ?

On examinera les différents cas observés en les classant à l'intérieur des domaines d'application précédemment définis : la conception de forme, la schématique et la mécanique au sens strict qui regroupe les applications qui s'appliquent aux « pièces » et celles qui s'appliquent aux outillages.

a) L'application de la CAO à la conception de formes est relativement ancienne puisque ces systèmes ont été implantés entre 1973 et 1976 dans les entreprises enquêtées. Ce sont des systèmes de conception en trois dimensions qui ont été mis au point par des informaticiens dans les entreprises utilisatrices, le plus souvent, parce qu'il n'existait pas, à l'époque, de systèmes semblables sur le marché. Ils répondent à des préoccupations techniques plus qu'à un objectif d'accroissement de la productivité du travail d'études :

— dans deux cas (aéronautique), le système a été développé pour intégrer plus complètement les calculs à la définition des formes, en partie, semble-t-il, pour ne pas être dépassé par la concurrence (« *pour imiter les Américains* » selon un responsable) en proposant plus rapidement des produits nouveaux ;

— dans le troisième cas, il s'agissait de définir avec plus de précision et de qualité esthétique les formes de l'objet, cette qualité étant l'une des caractéristiques du produit la plus soumise à la concurrence à l'époque.

Dans les trois cas, le nombre de postes de travail graphique est assez faible puisqu'il varie de trois à sept et ces postes sont utilisés par sept à quinze dessinateurs, soit environ deux personnes par poste. Il semble que l'utilisation de ces systèmes soit stabilisée, du point de vue des effectifs concernés aussi bien que des méthodes, quoique les logiciels de ces systèmes continuent d'être améliorés.

Bien que ces systèmes n'aient pas eu pour objet de diminuer les effectifs, il faut noter que dans deux cas sur trois, leur utilisation a entraîné une quasi-disparition du travail de traçage, les documents de traçage nécessaires à la fabrication étant maintenant réalisés automatiquement sur table traçante à partir de la définition géométrique de la forme. Dans le troisième cas, il n'y avait pas de traçage.

b) Les applications de la CAO à la schématique sont plus récentes mais elles ne concernent ici que des schémas de circuits imprimés ou des schémas de circuits pneumatiques, à l'exclusion de l'application à la conception ou à la simulation de circuits intégrés qui n'a pas pu être observée dans le cadre de cette enquête. Les systèmes ont été achetés « *clé en main* » et peuvent être des systèmes spécialisés dans le dessin de schémas électroniques, ou simplement une application d'un système multi-application à la schématique.

Lorsque ces systèmes sont spécialisés dans le dessin de schémas, ils sont utilisés en deux dimensions pour produire des documents et des supports d'information pour la fabrication (sous une forme numérisée). Ces systèmes sont apparus dans des bureaux de dessin où les problèmes de conception de circuit n'étaient pas les plus importants car ils étaient traités dans d'autres services en amont (15). Ils ont été appliqués à une partie importante ou à la totalité du personnel des bureaux de dessin et comprennent souvent plusieurs dizaines de postes de travail graphique. Les gains de temps sont souvent très importants et expliquent sans doute la diffusion assez rapide de ces systèmes.

L'application à la schématique en pneumatique est de nature différente. Elle a pour objectif de résoudre des problèmes d'asservissement lors de la conception de machines automatisées de fabrication et de sortir les documents de câblage nécessaires à la fabrication. Ce type d'application, très spécialisé, ne concerne que peu de dessinateurs et vise plus à l'optimisation et à la cohérence de la démarche qu'à la réduction du temps nécessaire, laquelle est plutôt un effet, non négligeable, de l'application.

c) Les applications de la CAO à la mécanique au sens strict sont parmi les plus récentes, et certaines étaient encore en voie de développement au moment de l'enquête. Les systèmes utilisés travaillent en deux ou trois dimensions mais s'appliquent cependant de manière fort variable à la conception lorsqu'il s'agit de systèmes en trois dimensions (3 D). Ces systèmes sont introduits progressivement (16) dans les bureaux d'études ou d'outillage, généralement par l'intermédiaire d'une équipe spécialisée (ou d'un service spécialisé dans la CFAO lorsqu'il s'agit d'un grand groupe industriel) qui est chargé d'évaluer et de choisir parmi les systèmes existant sur le marché, le système le mieux adapté aux problèmes de l'établissement, de l'entreprise ou même du groupe. La procédure de choix est donc extrêmement rationalisée, s'étendant sur plusieurs années et comportant le plus souvent des voyages à l'étranger pour apprécier les utilisations déjà existantes.

Parmi les critères de choix mis en avant par les responsables, on peut distinguer ceux qui privilégient la finalité purement technique du système de ceux qui mettent en avant les deux autres types de critère : rentabilité ou effet sur les autres services.

— Dans le premier cas, il s'agit d'appliquer la CAO à la conception d'outillages pour machines automatiques travaillant en grande série. Les outils à créer sont complexes, exigent parfois plusieurs milliers d'heures de travail (en dessin traditionnel) et il est difficile, sinon impossible, de les optimiser lorsqu'on travaille sur planche à dessin traditionnelle. Le nombre de postes de travail graphique est faible.

— Dans la seconde catégorie, on trouve des systèmes travaillant en deux dimensions, sur des pièces, choisies en raison de leur simplicité d'utilisation, des gains importants qu'ils procurent lors du dessin (réduction jusqu'à 70 % du temps, selon les responsables, réduction plus faible, jusqu'à 20 % selon les dessinateurs) aussi bien qu'en matière de programmation pour la CN, du fait qu'ils offrent la possibilité de récupérer

(15) Services d'études en électronique, distincts des bureaux de dessin.

(16) En partie parce que les consoles graphiques sont encore chères, en partie pour ne pas modifier trop brutalement l'organisation du bureau d'études.

la géométrie de la pièce pour réaliser le programme. Certains de ces systèmes fonctionneront probablement en trois dimensions, dans l'avenir, intégrant de plus en plus les opérations de conception. Ces systèmes intéressent des effectifs de dessinateurs beaucoup plus importants que les systèmes appliqués à l'outillage (plusieurs dizaines de postes) et sont en constante amélioration, parce que leurs logiciels continuent à être développés par leurs constructeurs et que, du côté des utilisateurs, les équipes spécialisées qui les ont choisis développent certaines applications.

2.2. Quels avantages en attend-on ?

Les objectifs particuliers poursuivis par les entreprises qui automatisent leurs bureaux d'études, s'appuient sur des caractéristiques générales des systèmes de CAO qui permettent d'atteindre certains avantages que l'on peut classer dans trois rubriques distinctes :

— la première série est de nature technique : elle comprend les gains qui proviennent de l'amélioration du produit comme la meilleure définition de celui-ci qui gagne en précision, dans l'aéronautique ou l'automobile, ou l'optimisation de l'architecture du produit, particulièrement évidente dans le cas de l'application de la CAO aux outillages. Ces gains sont générés par l'utilisation de procédés de simulation graphique et par l'amélioration des liaisons entre les calculs et la construction graphique de l'objet.

Dans certains cas, l'utilisation de la CAO est indispensable pour concevoir des produits complexes qui n'auraient pu l'être sans cette aide, aussi bien en électronique — les informations nécessaires à la conception du circuit étant trop nombreuses pour pouvoir être traitées manuellement — qu'en mécanique où la définition numérique de la pièce rend possible sa fabrication par MO/CN là où une MO (machine-outil) traditionnelle n'aurait pu atteindre une telle précision.

— le second type de gain concerne les économies réalisées grâce à la diminution du temps de travail nécessaire pour effectuer une tâche particulière. Ces gains de temps sont d'autant plus importants que la partie « conception » de l'activité est faible et que la partie « dessin » ou « calcul standardisé » est forte. Ils sont maxima dans le cas de dessins comprenant beaucoup de parties répétitives. La diminution du temps de travail nécessaire peut entraîner un raccourcissement des délais de conception d'un produit et permettre ainsi de sortir plus rapidement toute une gamme de produits différents mais elle peut aussi se combiner au premier type de gains et favoriser une meilleure définition d'un produit par l'examen plus rapide d'un plus grand nombre de variantes ou de solutions.

Ces gains de temps apparaissent dans presque toutes les applications examinées et leur anticipation constitue bien souvent la motivation principale de l'installation d'un système de CAO. Cependant l'utilisation de ces gains de temps varie beaucoup selon les applications. Lorsqu'il s'agit de dessin de pièces en deux dimensions, il est possible de dessiner plus rapidement un produit peu différent sans modifier fortement la structuration du travail en bureau d'études. Mais ces gains peuvent être aussi utilisés pour rechercher la solution optimale à un problème de mécanique, par essais successifs, ce qui impliquera une autre organisation du travail d'études par recomposition d'activités de conception liée à l'optimisation et d'activités de dessin.

— la troisième série d'avantages est de nature organisationnelle : amélioration de la circulation de l'information et standardisation de celle-ci grâce à la constitution de fichiers, de banques de données, amélioration des relations entre méthodes

et études et surtout gains de temps générés dans les services de méthode par l'aide à la programmation que fournit la CAO-DAO en construisant la définition géométrique de la pièce utilisée par la programmation. Cette application concerne essentiellement la commande numérique mais elle peut aussi s'appliquer à d'autres types de fabrication automatisée : électro-érosion, fabrication automatique d'éléments de circuits imprimés (câblage, insertion automatique, etc.).

De manière générale, l'impact de la CAO sur l'organisation de l'entreprise est encore limité à la fabrication. Nous n'avons pas observé de liaisons nouvelles entre ces services techniques et la gestion au sens large (y compris les services commerciaux, application de la CAO à l'élaboration de devis), non plus qu'entre la CAO et la gestion de la production au sens strict. L'existence de systèmes informatisés de gestion de la production (du type TZAR par exemple) dans certaines entreprises enquêtées, n'entraînait aucune liaison nouvelle entre conception et gestion, peut-être à cause de l'absence de constitution de banques de données communes à l'ensemble des services.

De même, l'intégration fonctionnelle « études — méthodes — préparations » en est à des stades différents dans les entreprises observées et le sens de son développement n'est probablement pas le même dans tous les cas. Le caractère récent de l'implantation de la plupart des systèmes observés constitue de ce point de vue une limite de l'étude et ne permet pas d'apporter sur ce point des conclusions bien établies.

Quoiqu'un peu schématique, la typologie précédente suggère l'existence de modes différenciés d'introduction de la CAO dans les entreprises enquêtées.

Au-delà des caractéristiques communes à l'ensemble des observations, telles que l'impact de la CAO sur les méthodes de fabrication — et il s'agit toujours de fabrication automatisée, à dominante CN —, ou la réduction des délais d'études que l'on observe partout, de manière variable il est vrai, on peut distinguer deux démarches dans la façon d'introduire la CAO.

Dans le premier cas, la CAO est introduite à un endroit stratégique pour l'entreprise : soit dans la conception des formes, sous l'influence de la concurrence étrangère, en développant des systèmes spécifiques au produit fabriqué, soit dans la conception de l'outillage qui détermine en grande partie la rentabilité future de fabrication du produit, en développant des applications complexes de systèmes standardisés. Dans ces deux exemples, la CAO n'est pas considérée principalement comme un moyen de peser sur les coûts d'études, en particulier parce que le développement interne prend souvent plusieurs années et est difficilement évaluable. Il existe naturellement des méthodes d'évaluation mais la « preuve » à priori de la rentabilité est souvent peu rigoureuse et comme l'exprime un responsable d'une équipe chargée d'introduire la CAO dans une entreprise : « *finalement, ce qui compte, c'est la volonté de faire les choses, pour le reste, il faut se justifier* ».

A l'opposé, la CAO, ou plutôt le DAO correspond à une volonté de rationaliser le travail de dessin et l'évaluation des systèmes repose davantage sur leur rentabilité au sens strict, soit la diminution du temps de réalisation du dessin pondérée par l'augmentation du coût horaire qui résulte de l'utilisation de l'informatique. Ainsi, en 1981, dans une entreprise, on estimait à 400 F l'heure de dessin sur console, et à 100 F l'heure de dessin sur table ; mais le coût du dessin informatisé est plutôt en diminution avec la baisse du prix des matériels. Alors que les systèmes précédents comprennent le plus souvent un nombre réduit de postes de travail, ceux-ci, au con-

traire, sont introduits progressivement mais massivement, et les prévisions d'extension portent souvent sur la généralisation totale de ces systèmes aux bureaux d'études, avec comme seul obstacle le coût actuel des consoles de travail graphique. Ces systèmes sont toujours achetés à l'extérieur « *clé en main* » et la part de travail consacrée à la mise au point d'application est relativement faible par rapport à l'utilisation, variable aussi en fonction de la plus ou moins grande rigidité du système (« menus » fournis par le constructeur ou élaboré par l'utilisateur).

Cette typologie reflète en partie l'évolution historique de la CAO, qui débute par l'application à des problèmes complexes de création de forme vers 1970-1973, se poursuit avec des applications à la schématisation, à l'outillage, applications dans lesquelles l'aspect « rationalisation du travail d'études » apparaît, et se prolonge aujourd'hui avec l'apparition sur le marché de systèmes de dessin « *clé en main* » facilement (relativement à la période précédente) et rapidement utilisables.

3. L'UTILISATION DES SYSTÈMES DE CAO-DAO

Les bureaux d'études, études de produit ou d'outillage, fonctionnent selon un double processus de conception intuitive de l'objet en tant que totalité et de décomposition de celui-ci en éléments plus simples et donc descriptibles (dessins, plans). Ces opérations intellectuelles sont réalisées par des individus qui entretiennent des relations de coopération (échange d'informations sur différents supports) dans le cadre de la hiérarchisation des activités allant de la conception au dessin d'exécution. Cette hiérarchisation fournit les bases de la classification que l'on trouve habituellement dans les BE (du dessinateur-détaillant au projeteur chef de groupe).

L'informatisation modifie le fonctionnement des bureaux d'études et produit aussi des retombées dans le domaine de la préparation du travail lorsque celle-ci s'applique aux MO/CN.

Pour apprécier ces changements on examinera l'évolution de l'organisation du travail et des contenus d'emplois dans le domaine des études, puis les liaisons nouvelles qui s'instaurent entre études et préparation du travail.

3.1. Les contenus d'emplois et l'organisation du travail d'études

Les systèmes examinés précédemment sont des applications de l'informatique à différents procédés de la mécanique ou de l'électricité et exigent l'établissement de liaisons entre ces domaines différents, liaisons qui sont toujours des traductions à travers lesquelles les activités caractéristiques d'un domaine sont reformulées dans les termes utilisés à l'intérieur d'un autre domaine. Il existe donc toute une gamme d'activités, du pôle « informatique » au pôle « utilisation », activités distribuées parmi les personnels des bureaux d'études de façon différenciée selon les entreprises et les types de systèmes. En prenant comme point de départ les types de systèmes dont on a vu qu'ils correspondaient à des stratégies différentes des entreprises, on examinera la répartition de ces activités et l'influence de cette répartition sur les activités de conception et de dessin propres aux bureaux d'études.

Ces activités de programmation au sens large se rattachent en partie aux activités de programmation liées à l'utilisation d'ordinateur. Rappelons que la programmation d'un ordinateur comprend un programme général de base, fourni avec l'ordinateur, qui définit le mode d'exploitation et gère les différents organes de l'ordinateur. Dans le cas de la CAO, les ordinateurs sont utilisés en multiprogrammation (multitâches) car ils doivent gérer simultanément plusieurs consoles ou postes graphiques de travail. Ils travaillent en temps réel (interactivité) ou en temps différé (édition de dessins pouvant être effectuée de nuit ainsi que certains calculs importants). Des programmes « système » peuvent être nécessaires pour optimiser l'utilisation de l'ordinateur et doivent alors être écrits spécialement par le constructeur ou par les informaticiens de l'utilisateur, lorsque le nombre de périphériques (consoles de visualisation, écrans graphiques, etc.) est modifié.

Ces activités constituent un premier niveau d'intervention, qui ne se distingue pas de l'informatique en général.

Le système d'exploitation ou logiciel de base est livré par le constructeur et permet l'utilisation du matériel et le dialogue avec l'opérateur. Des programmes d'application permettent ensuite de traiter des catégories particulières d'informations. En matière de CAO, on distingue trois niveaux de programmation :

– le logiciel graphique qui comprend des procédures permettant de modéliser l'objet. Il est modifié en permanence par le constructeur du système qui élabore des versions successives et les transmet régulièrement aux utilisateurs ;

– les applications, adaptées à des objets réels et fixées par le constructeur dans certains systèmes, ou développées par l'utilisateur dans d'autres (par exemple, application à la conception d'un type d'outillage, d'un type de circuit électronique) ;

– les « menus » : la plupart du temps, le dessinateur n'utilise, pour un travail déterminé, que certaines fonctions ou certaines instructions qui sont regroupées en « menu » (20 à 30 fonctions ou macro-instructions). Lorsqu'il exécute un autre type de travail, il change de menu. Dans certains systèmes, les menus sont établis par le constructeur et dans d'autres, l'utilisateur peut composer lui-même son menu dans un langage particulier au système.

Ces niveaux d'intervention : gestion informatique du système, développement du logiciel, développement d'application, élaboration de menus, sont répartis différemment selon les systèmes et les modes d'organisation du travail en bureau d'études.

A) LES SYSTÈMES DE CONCEPTION DE FORME

a) L'utilisation du système

Les dessinateurs les utilisent pour dessiner sur écran des formes en trois dimensions et éventuellement pour réaliser des calculs (du type calcul de maillage).

Ces formes sont ensuite utilisées pour produire des documents de fabrication ou pour servir de cadrage à d'autres dessinateurs qui travaillent en deux dimensions sur un autre système.

Pour créer ces formes, les dessinateurs se basent sur des croquis ou esquisses réalisées par un ingénieur, de plans provenant d'un service d'études « conception générale », ou partent d'une forme qui existe déjà et la modifient, la suppression d'un détail pouvant modifier toute la forme.

Auparavant, ce travail de conception était réalisé manuellement sur table à dessin et le dessinateur représentait des courbes. Maintenant il travaille et raisonne directement sur des surfaces en trois dimensions, ce qui constitue un changement important, la dextérité manuelle étant remplacée par la capacité de visualiser en trois dimensions.

Dans deux cas sur trois, les moyens manuels ne sont plus utilisés pour ce type de travail et les dessinateurs réalisent entièrement la conception d'un nouveau produit en créant chacun un élément de forme de la structure. Il existe toujours une spécialisation sur tel ou tel type d'élément, mais le dessinateur fait l'ensemble du travail correspondant à un élément en constituant le dossier complet. La réalisation d'un dossier complet demande une demi-journée, au lieu d'une semaine en manuel, dans un cas, soit une réduction de dix à un, mais dans d'autres cas, la réduction est de dix à trois, avec une meilleure qualité et une optimisation plus forte. De ce point de vue, l'utilisation de la CAO a plutôt favorisé, en diminuant les effectifs affectés à cette activité, un regroupement des opérations où l'on ne distingue plus le projeteur du dessinateur.

Dans le troisième cas, la CAO n'est utilisée qu'en partie pour concevoir les formes car certaines parties du produit peuvent être définies plus simplement en deux dimensions. Le nombre de postes de travail graphique est faible par rapport au nombre de dessinateurs (150 dessinateurs, dont 30 ont été formés à la CAO, et 15 utilisent réellement deux écrans graphiques et cinq consoles alphanumériques de visualisation). Ces gains de temps peuvent être importants lorsqu'il n'est pas nécessaire de définir numériquement l'ensemble de la pièce, ils sont parfois nuls dans le cas inverse (lorsque cette définition est nécessaire pour l'usinage). La structure du BE ne semble pas avoir été modifiée mais il est difficile de s'en rendre compte à cause de l'ancienneté de l'implantation.

b) Le développement du système

Dans ce dernier cas, la coupure entre les activités traditionnelles de dessin et les activités liées au système de CAO est complète. Le logiciel, conçu partiellement dans l'entreprise, continue d'être développé (17) par versions successives et les modifications de programme sont implantées par des personnels spécialisés en informatique. De même, la création de macro-instructions est réalisée par ces personnels, à la demande des dessinateurs, compte tenu des contraintes du logiciel. Les dessinateurs se bornent à utiliser les instructions (150 environ) nécessaires au maniement des outils géométriques.

Face à cette organisation stable et déjà ancienne, les deux autres cas, plus récents, font apparaître une plus grande souplesse dans l'articulation entre les deux types d'activités.

Dans ces deux cas, le logiciel a été mis au point dans l'entreprise par des équipes mixtes d'informaticiens et d'ingénieurs-mécaniciens (durée du développement dans un cas : 25 années-homme). Il est donc possible d'intervenir sur le programme pour créer de nouvelles fonctions à la demande des utilisateurs. Mais ceux-ci peuvent créer eux-mêmes de nouvelles instructions (macro-instructions formées de trois instructions qui se suivent) sans modifier le programme. C'est une possibilité qui est ressentie comme assez limitative mais le programme ne permet pas d'aller au-delà.

B) APPLICATIONS DE LA CAO À LA SCHEMATIQUE

a) Utilisation et développement en électronique

Les bureaux de dessin qui utilisent le DAO pour matérialiser des schémas de circuits électroniques utilisés par la fabrication se situent en aval de la conception du circuit et comprennent un nombre assez élevé de dessinateurs spécialisés sur des types de circuits (circuits imprimés multicouches, circuits hyperfréquences, circuits hybrides).

A partir du schéma de principe théorique, le dessinateur définit une localisation précise dans l'espace des différents éléments du circuit. C'est un travail de conception, réalisé sur table. Le système de DAO est utilisé dans une seconde phase pour « digitaliser » ces représentations en donnant un repère numérique à chaque élément choisi dans un fichier. Ces définitions numériques servent ensuite de base à l'élaboration de documents de fabrication tels que rubans perforés et gravures du circuit sur des pellicules servant de masque pour la fabrication de circuits imprimés.

(17) A l'extérieur de l'établissement, par un service spécialisé, au niveau du groupe auquel la société appartient.

Ces deux étages sont parfois exécutées par des personnels différents : le dessinateur dessine à la main et un « digitaliseur » entre les données sur console. Ce mode d'organisation est le plus ancien et correspond à des systèmes de DAO encore peu perfectionnés qui ne permettent pas certaines opérations de routage et de placement des composants. Il introduit une parcellisation très forte du travail en séparant le travail de conception, confié au dessinateur, du travail répétitif de description, confié à du personnel de niveau « ouvrier professionnel » qui provenait dans un cas de la fabrication (anciennes câbleuses reconverties) ou était recruté à l'extérieur (au niveau BEP d'électronique). Il correspond aussi à une production de circuits imprimés en série.

Dans la micro-électronique, au contraire, le dessinateur fait l'ensemble du travail de conception et de numérisation en se servant d'un système de DAO très interactif (en 2 D mais possédant toutes les fonctions des systèmes les plus récents). Les gains de temps sont importants (de 30 à 35 %) mais pour certains circuits le système de DAO n'est utilisé que très partiellement (pour un circuit multi-couches de quatre couches il y a trois à quatre semaines de travail dont une sur poste de travail graphique, le reste sur table).

Il semble donc que ces deux modes d'organisation correspondent à deux types de produits, grande série et petite série, pour lesquels les parts relatives de conception et de dessin ne sont pas identiques. Il faut ajouter à cette distinction générale des circonstances particulières à l'entreprise : nécessité dans le premier cas de reconverter des câbleurs du fait de l'automatisation, et possibilité d'utiliser des jeunes diplômés BEP sortis de l'appareil éducatif qui effectuent une partie des tâches réalisées auparavant par des dessinateurs expérimentés, ayant donc une classification supérieure ; ainsi que les caractéristiques propres au personnel de bureau d'études qui considèrent que la digitalisation est un travail d'OS.

En micro-électronique au contraire, les tâches ont été conçues de manière globalisée, une personne ayant la responsabilité complète de la préparation à partir du schéma électrique. Le contexte organisationnel était différent : il s'agissait de groupes beaucoup plus réduits « *sans histoire ni tradition de bureau d'études et qui acceptent beaucoup plus facilement cette forme d'organisation du travail* ». L'avantage de ce type d'organisation, selon les responsables, est d'intégrer davantage le bureau d'études à l'atelier, en favorisant les contacts entre le dessinateur et la fabricant afin de permettre au premier de tenir compte dans son travail de conception de la technologie de fabrication, ce qui est particulièrement nécessaire en micro-électronique car les conditions de fabrication sont plus rigoureuses qu'ailleurs (soudabilité, etc.). Cet aspect ne ressortait cependant pas des entretiens avec les dessinateurs qui soulignaient, au contraire, l'absence de liaisons directes avec la fabrication.

Les systèmes de DAO utilisés sont des systèmes achetés à l'extérieur et le constructeur qui développe les logiciels fournit régulièrement les nouvelles versions. L'implantation de ces versions est réalisée par une équipe spécialisée, qui travaille au niveau de l'établissement, celui-ci comprenant souvent des bureaux d'études distincts par produits. L'utilisateur peut créer des groupes d'instructions sans modifier la programmation dans le second cas (micro-électronique).

b) Utilisation et développement en automatisation

Le dessin de circuits logiques nécessaires à l'asservissement de nouvelles machines automatiques peut être réalisé au moyen d'une application spécifique d'un système de DAO.

Dans l'exemple décrit ici, le dessinateur (classé projeteur) réalise, en interactif, le schéma de câblage, le diagramme fonctionnel et la représentation stylisée du poste de travail. Auparavant, ce genre de travail, exécuté manuellement, prenait un mois de travail de projeteur pour la réalisation de l'ensemble du dossier. Maintenant, la machine interroge le projeteur (une demi-heure environ) puis le travail d'exécution des schémas est réalisé, en temps différé, en une dizaine d'heures. Le système traite jusqu'à 90 % du câblage d'un type de machine particulière. L'élément principal, essentiel, de cette évolution est cependant le fait que le projeteur a réalisé lui-même l'application, en écrivant le programme (plusieurs centaines de lignes), et comme le souligne le responsable de la CAO de l'unité enquêtée : « *le projeteur a mis son savoir-faire et la façon dont il travaillait à l'intérieur de la machine* » en créant ce programme. La CAO supprime ainsi tout travail manuel en asservissement, sauf les modifications de dossier et les circuits « hors standard ».

Plusieurs conditions semblent devoir être réunies pour aboutir à cette utilisation :

— des conditions relatives à la formation qui intègre dans l'apprentissage du système les problèmes concrets posés par le travail du projeteur (voir *infra*) ;

— une relative remise en cause de la séparation entre projeteur et dessinateur dans le mesure où le projeteur traite le dossier complet, ce qu'un dessinateur peut faire tout aussi aisément lorsqu'il a accès au même programme et aux mêmes fichiers. L'introduction de la CAO a d'ailleurs été effectuée dans cette unité à un moment particulier de l'évolution de l'organisation du travail. Comme l'exprime l'un des dessinateurs, responsable de la gestion du système : « *avant, quand je suis rentré (en 1963) c'était un petit bureau. La responsabilité de l'étude d'une machine était prise par un individu. Il y avait quatre personnes dans le BE. L'ingénieur, chef de BE, et les projeteurs dessinaient les machines, le débutant faisait le détail, puis le projet, les trois étapes « ensemble-sous-ensemble-détail » n'existaient pas. Au fur et à mesure que le BE s'agrandissait, ça devenait de plus en plus hiérarchique et formel* ». L'introduction de la CAO permet dans ce cas de freiner une évolution apparemment irréversible ;

— l'appartenance de bureau d'études à une unité spécialisée dans la fabrication d'outillage, dans laquelle les études et la fabrication sont plus intégrées qu'ailleurs. Cette dernière caractéristique rend d'ailleurs cet exemple plus proche de la catégorie d'applications de la CAO à l'outillage que des applications à la schématisation.

Si l'application est réalisée par l'utilisateur, le développement du logiciel est bien entendu, dans le cas d'un système acheté à l'extérieur, réalisé par le constructeur.

L'implantation du système et des nouvelles versions du logiciel ainsi que les modifications des applications qui en résultent sont réalisées par un dessinateur responsable de la CAO dans le BE, aidé par un ingénieur, responsable de la CAO dans l'entreprise. Comme il s'agit d'un système de CAO multiapplications, et que l'atelier de fabrication est intégré à l'unité, le développement de la CN s'inscrit dans cette organisation et s'effectue d'une manière assez originale (voir *infra*, paragraphe 3.2).

C) APPLICATIONS DE LA CAO AU DESSIN D'OUTILLAGE

Les applications observées de la CAO à l'outillage sont récentes, la plus ancienne datant de 1979 et certaines étant en cours d'implantation en 1982, au moment de l'enquête. Bien qu'il s'agisse toujours de systèmes achetés à l'extérieur, les problèmes d'outillage sont toujours spécifiques à une entreprise et exigent donc un travail de développement des applications à partir des logiciels existants. Ce travail est d'autant plus long que l'outillage à fabriquer est complexe et que le système de CAO est plus évolué. C'est pourquoi deux catégories de systèmes seront examinées, la première, déjà opérationnelle, correspondant à un logiciel 3 dimensions (3 D), filaire ou surfacique selon les versions, et orienté plutôt vers le dessin, la seconde, utilisant un logiciel 3 dimensions (3 D) volumique, orienté plutôt vers la conception mais encore en cours d'implantation, ce qui limitera les observations que l'on peut faire sur les modifications de l'organisation du travail dans ces unités.

a) Les logiciels orientés « dessin »

La plupart des applications examinées ici combinent de manière variable du travail de conception et du travail de dessin si bien que la distinction entre projeteur et dessinateur n'est pas aussi nette que dans les exemples précédents. De même, la complexité des problèmes à résoudre (au plan du procédé technique auquel s'applique le logiciel) ne permet pas toujours de dissocier le développement du logiciel de son utilisation aussi clairement qu'auparavant. Cette variabilité apparaît lorsqu'on examine le degré « d'automatisation » de l'application qui est d'autant plus fort que l'utilisateur intervient peu et que l'interactivité du système est faible.

— Le premier type d'application, très automatisé, consiste par exemple, à dessiner un outillage de pré-réglage de machine automatique. Il y faut normalement vingt à trente heures de travail sur table, temps principalement utilisé à recopier des dessins *standard* de pièces qui composent l'outillage. Ce travail peut être réalisé en vingt minutes lorsque le dessinateur travaille sur une console alpha-numérique, en répondant aux questions que le système lui pose, les dessins sont ensuite réalisés en temps différé par le système. Cette utilisation en « conversationnel » du système n'est possible que lorsque toutes les pièces sont standardisées et peuvent être choisies dans les fichiers déjà constitués. L'écriture du programme nécessaire à cette application prend environ deux mois pour un technicien de bureau d'études formé au langage du système. Cette application peut ensuite être utilisée par un dessinateur débutant.

— Un second type d'application, en interactif, permet au dessinateur de construire sur écran graphique le bâti d'une machine automatique de fabrication.

Le système fait apparaître sur l'écran le plateau de la machine et continue d'interroger le dessinateur sur chaque élément en modifiant au fur et à mesure le dessin et en fournissant l'essentiel de la cotation (75 % dans ce cas). Le dessinateur peut intervenir graphiquement pour situer les éléments ou positionner ses vues au moyen d'un menu. Le temps consacré au dessin est sensiblement réduit, parfois de dix à un mais surtout ce type de système permet une répartition dans l'espace de l'objet (un cylindre vu de face est représenté, dans un système filaire, par deux cercles en perspectives, reliés par une génératrice, et non par un rectangle selon les conventions classiques), et donc une visualisation de l'objet sous différents angles alors qu'auparavant il fallait dessiner plusieurs perspectives (réduction d'un mois à deux jours de travail dans certains cas) pour choisir la meilleure position des différents éléments.

La représentation en trois dimensions peut être aussi utilisée pour concevoir le bâti lorsque celui-ci peut être ramené à un assemblage de volumes simples, tels que cylindres, parallélépipèdes, etc. Pour cela, il faut créer de nouvelles instructions, ou macro-instructions, de plus en plus complexes, mais en même temps, suffisamment générales pour pouvoir être réutilisées lorsque le produit à créer est différent.

Le processus de différenciation de l'ensemble au sous-ensemble et au détail, qui organisait le travail et la hiérarchisation du bureau d'études tend donc à être remplacé, dans ce cas, par le travail de création d'instructions et leur regroupement en menus, voire par la modification du programme de l'application. Cette évolution est encore plus sensible lorsqu'on examine des applications beaucoup moins automatisées et plus interactives comme la création d'outillages.

— Le troisième type d'application concerne l'outillage proprement dit c'est-à-dire la conception et le dessin de pièces complexes utilisées dans des machines travaillant en grande série pour former un produit par l'utilisation de divers procédés tels que la fonderie (sous pression ou par gravité) ou la découpe-emboutissage (simple ou avec outil à suivre). La réalisation d'un moule de fonderie ou d'un outil d'emboutissage comprend deux phases successives : l'une qui part du plan de la pièce à fabriquer et définit, à partir du procédé de fabrication les grandes lignes de l'outil et la gamme de fabrication, c'est-à-dire la manière dont il sera utilisé (cadence par exemple), l'autre qui consiste, à partir de ce plan, à dessiner l'outil en le décomposant (ensemble, sous-ensemble, détail).

La CAO est utilisée à différentes étapes de ce processus par différentes catégories de personnels : préparateurs ou techniciens d'études pour la première phase, projeteurs, dessinateurs d'études dans la seconde phase. Les parts respectives de travail de préparation et de travail de dessin sont difficiles à évaluer et dépendent sans doute du type d'outillage à réaliser. Certains interlocuteurs estiment qu'elles se répartissent également et d'autres soulignent qu'il faut trente heures de dessin pour une heure de préparation. Les gains de temps que permet la CAO sont à priori plus importants en dessin à cause de la répétitivité des détails (temps réduit de moitié ou du tiers) mais ils peuvent dans certains cas être très élevés en préparation, lorsqu'il s'agit de faire varier les positions d'un objet dans l'espace afin d'optimiser son contour (exemple de la détermination de la direction d'emboutissage optimum qui prenait une à deux semaines lorsqu'il fallait dessiner en perspective différentes vues, au lieu de quelques heures en CAO).

L'application de la CAO à cette catégorie de problèmes concerne donc des personnels qui se situent aussi bien du côté « conception » que du côté « dessin » :

- Du côté « conception » le préparateur élabore la gamme en travaillant à l'écran au moyen d'un programme qu'il a lui-même conçu dans le langage du système. Mais ce programme est encore partiel et ne permet pas de définir tous les éléments si bien que le travail de développement du programme ne peut encore être séparé de son utilisation. L'objectif, comme ailleurs, est la génération automatique du plus grand nombre d'éléments possibles, si bien que le système pourrait définir la gamme (18) à partir de la forme de la pièce à fabriquer en « répétant » le processus de travail du préparateur.

(18) Il s'agit de la gamme exécutée par une machine automatique, travaillant par déformation, non pas par enlèvement de matière, domaine dans lequel la « génération automatique » de la gamme n'est plus recherchée.

• Du côté « dessin », la CAO est utilisée pour établir la liasse de plans décrivant l'outillage, du dessin d'ensemble au détail. Dans un cas, le temps nécessaire était passé de 300 h en manuel à 100 h en s'aidant du DAO. Ailleurs, pour des pièces plus complexes, les temps passaient de 1 800 h à 1 200 h, de 500 h à 160 h, et en moyenne étaient réduits de 30 % dans ce service.

Le système est utilisé pour dessiner environ 50 % de l'outillage et comme dans l'exemple précédent, les dessinateurs continuent à développer les programmes afin d'en faire les trois quarts dans les prochaines années. Les dessinateurs sont aidés dans ce développement par un service d'informatique industrielle situé au niveau du groupe qui intervient par exemple pour modifier le programme de cotation automatique car le logiciel, acheté à l'extérieur, fournit parfois trop de cotes qui encombrant les dessins, ou ne fournit pas les cotes jugées importantes. Les dessinateurs qui écrivent ces programmes (de 1 200 à 1 500 lignes) travaillent à mi-temps sur le système et font de la programmation l'autre moitié du temps. Ce sont en fait les projeteurs du bureau d'études qui se sont spécialisés dans l'écriture des programmes, les autres dessinateurs utilisant simplement les menus, ou constituant des fichiers en rentrant dans le système les éléments *standard*, qu'on retrouve dans chaque outillage (la visserie, etc.). L'activité de constitution de fichiers est permanente, compte tenu de la diversité et de l'évolution des pièces.

Puisque le programme matérialise le savoir-faire d'un projeteur qui conçoit un outillage particulier, on retrouve la même distinction entre ceux qui font les programmes et ceux qui les utilisent qu'entre projeteurs et dessinateurs, ce qui entraînerait, selon un responsable du bureau d'études, peu de changements au niveau des classifications car « *l'expérience professionnelle et le niveau de qualification restent les mêmes* ».

b) Les logiciels orientés « conception »

La seconde catégorie de systèmes, plus évolués sur le plan du logiciel (3 D volumique) mais encore peu utilisés, n'a donc pas d'applications aussi opérationnelles que les précédentes.

Par conséquent, le choix de ce type de système repose sur la volonté d'introduire la CAO au niveau de la conception même de l'outillage, les retombées en dessin et par conséquent les gains de temps direct n'étant pas jugés comme un élément essentiel. Il paraît plus important, pour les entreprises qui choisissent ce système de réaliser rapidement des projets d'outillage en intégrant tous les calculs nécessaires à la définition des formes, dans le système, au moment de la conception de la gamme de fabrication. Pour cela, il est nécessaire que le système de CAO puisse décrire l'objet dans son volume de telle sorte que les correspondances entre vues soient immédiates et automatiques. Parmi les calculs nécessaires à cette activité, il faut souligner que les calculs liés à la rentabilité de la fabrication sont toujours mentionnés, contrairement aux cas précédents de la première catégorie. Il s'agit, en effet, de pouvoir calculer immédiatement, à partir de la forme de l'outillage, des données prévisionnelles de fabrication telles que la vitesse de la fabrication, le poids de la matière utilisée, et son coût, le taux de rebut lors de la découpe (19), etc.

(19) Lorsqu'il peut être mesuré.

Ces « règles de rentabilité » sont intégrées aux programmes, ainsi que d'autres variables importantes comme le taux horaire de main-d'œuvre, pour permettre de choisir la solution optimale en matière d'outillage (par exemple plusieurs outillages simples sur des machines différentes ou un seul outillage complexe, selon la taille de la série).

Toutes ces données étaient bien sûr prises en compte dans les exemples de la première catégorie de systèmes, mais à travers des études menées par des services différents du bureau d'outillage (services d'études de prix, services de méthodes de fabrication etc.), sans être intégrées au système de CAO. C'est cette possibilité d'optimiser rapidement la fabrication qui justifie le choix d'un système complexe, dont l'efficacité ne se mesure pas à la diminution du travail du dessin : « *il est plus important de gagner 5 % sur la consommation de matière pour fabriquer une pièce que 50 % sur le temps de dessin* ».

Cependant, la complexité du système et le caractère encore peu achevé des applications à l'outillage exigent un important effort de développement des programmes. Dans un cas, ce sont des ingénieurs qui les développent en FORTRAN ou dans un langage proche, sans que les dessinateurs qui les utiliseront y participent, dans un autre cas ce sont des projeteurs du bureau d'outillage, formés à la programmation en FORTRAN (qui est selon l'un d'eux un langage d'utilisateur et non un langage d'informaticien).

Dans ce dernier exemple, l'organisation du bureau d'études d'outillage semble particulièrement adaptée à un tel système dans la mesure où la distinction « projeteur-dessinateur » est relativement faible. Comme l'explique un projeteur « *dans la conception d'outillage, qui est répétitive au niveau de la méthode à suivre mais non du produit lui-même, on a plus vite fait de tout faire soi-même que de repasser une partie du travail à un autre* ». Par conséquent, la distinction projeteur-dessinateur ne porte plus que sur la complexité du travail : les projets les plus complexes sont affectés aux projeteurs expérimentés et les débutants travaillent sur des projets simples mais complets et non sur la partie simple d'un projet complexe. De ce point de vue, la CAO ne modifie rien puisque le système choisi en établissant automatiquement les correspondances de vue élimine la séparation entre la conception dans l'espace et la description en deux dimensions selon les différentes vues.

Le travail de développement des systèmes est orienté vers la définition d'une procédure d'étude et de réalisation d'outillage de découpe dans le domaine particulier que couvre l'entreprise. Ce n'est pas un travail de programmation purement informatique mais une réflexion sur les méthodes de travail des projeteurs qui doit aboutir à la définition d'une méthode optimale, selon les critères de l'établissement, méthode qui s'imposera ensuite aux dessinateurs et projeteurs : « *avant le dessinateur faisait ce qu'il voulait en passant par les normes de dessin, maintenant il fera ce qu'il veut en passant par les normes du programme* ». Le système intégrera donc l'expérience professionnelle des projeteurs mais cette intégration ne sera pas totale dans la mesure où certaines variables échappent à la formalisation. C'est le cas, semble-t-il, de certaines caractéristiques de l'outillage, telles que la fragilité « *cette notion de fragilité ne peut pas encore être modélisée, il y a encore beaucoup trop d'incertitude sur les calculs que l'on peut faire à ce sujet* ». Ces zones d'incertitude constituent le domaine de l'expérience professionnelle (au sens technique du terme) du dessinateur et fixent les limites de l'automatisation du travail de conception.

D) APPLICATION DE LA CAO AU DESSIN DE PIÈCES MÉCANIQUES

Ces systèmes peuvent être utilisés de manière variable en conception ou en dessin. Ce sont des systèmes achetés clé en main mais l'évolution récente n'indique pas une tendance bien définie au passage du dessin à la conception puisque des systèmes implantés vers 1977-1978 travaillent en 3 dimensions alors que d'autres, apparus plus récemment sur le marché (vers 1980) ne sont utilisables qu'en 2 dimensions.

a) Les systèmes de dessin automatique en 2 dimensions

Les systèmes de DAO en 2 dimensions peuvent être représentés comme une planche à dessin sur un écran, une planche à dessin électronique. Ce sont des systèmes d'aide au dessin, diffusés massivement dans de grands bureaux d'études et générant des gains de temps importants, en dessin (50 % en moyenne) aussi bien que dans leur retombée sur la programmation en CN (voir *infra*). Le dessinateur part d'une esquisse réalisée sur planche à dessin et détaille ensuite la pièce à l'écran, de la même manière qu'il le ferait sur la planche. Il utilise pour cela un clavier de fonctions de dessin (fonctions géométriques permettant de construire des courbes, de typer des éléments, transformations géométriques, cotation semi-automatique, etc.) et quelques instructions d'appel et de rangement de sous-programmes. Les gains sont d'autant plus importants que les parties répétitives des pièces sont nombreuses et la cotation est très rapide mais le système ne peut travailler que sur des pièces « *simples* » (20). Ce type de système ne modifie pas la répartition du travail de dessin entre les différentes catégories de dessinateurs (dessinateurs « petites études », « études », projeteurs, chefs de groupe). Tous les dessinateurs se servent de la même manière du système mais quelques-uns sont sélectionnés pour s'occuper de la gestion du système. Lorsque le bureau d'études est de taille plus restreinte, le chef du BE s'occupe lui-même de la gestion du système qui consiste à rentrer les programmes ou des modifications de programmes qui proviennent du développement du logiciel effectué par le constructeur ou de l'adjonction de modules spécialisés (modules de tôlerie par exemple). Il n'y a, dans les catégories observées, aucun travail de développement d'application et les menus utilisés par les dessinateurs sont fixés une fois pour toutes.

Comme l'adaptation à ces systèmes est assez rapide (voir *infra*), le nombre de postes de travail graphique est souvent important et n'est limité que par le coût des consoles et de l'ordinateur.

b) Les systèmes de dessin automatique en 3 dimensions

Les systèmes de dessin en 3 dimensions sont des systèmes de type 3 dimensions filaire ou surfacique, souvent multi-application, ce qui permet une standardisation des matériels à travers les bureaux d'études de mécanique, d'électricité ou de méthodes dans les grandes entreprises. Ces systèmes laissent la possibilité aux utilisateurs de composer leurs menus ainsi que de travailler en trois dimensions. Généralement les dessinateurs se servent de plusieurs menus en fonction du travail qu'ils font : menu « cotation », menu en 2 dimensions, menu en 3 dimensions. A l'intérieur d'un menu, il est possible d'en appeler un autre ou de modifier le contenu d'une case de menu. Ces menus sont constitués par une équipe spécialisée dans le développement du système, puis modifiés par chaque dessinateur.

(20) Ce sont des pièces de forme simple, dont les surfaces ne varient pas selon les trois dimensions et peuvent être représentées sans trop de simplification en deux dimensions.

Ces systèmes sont surtout utilisés pour faire du dessin de liasse car ils ne sont pas assez développés pour faire du projet, sauf lorsqu'il s'agit de « petits » projets. Dans ce cas, un dessinateur peut faire successivement le projet puis la liasse sinon, en cas de projet important, le projeteur conçoit et un dessinateur (ou plusieurs) font la liasse. La possibilité d'utiliser de tels systèmes pour combiner conception et dessin est reconnue souvent comme provisoire car le développement de systèmes volumiques (ou l'adjonction à un système 3 dimensions surfacique d'un module volumique) rendra possible la conception de projets complexes, par les projeteurs et leur exploitation sous forme de dessin d'exécution par des dessinateurs détaillants, si toutefois il est toujours nécessaire de faire du dessin d'exécution. L'utilisation principale de ces dessins est actuellement celle de la fabrication, qui les utilise pour la programmation de MO/CN. Mais lorsque l'objet sera parfaitement défini dans l'espace (en 3 dimensions volumique), le programmeur travaillera directement sur cette image, sans passer par le dessin de fabrication.

Si les gains de temps procurés par ces systèmes sont importants en dessin (30 % en dessin pur, 90 % sur des dessins avec détails répétitifs), ils semblent moins évidents lorsque l'activité du dessinateur combine conception et dessin car « *lorsqu'on réalise un dessin dans l'espace, ça aide à définir la pièce mais ça demande du temps pour récupérer ce dessin et le passer en deux dimensions, c'est-à-dire le dessiner comme à la planche* », comme l'exprime un dessinateur qui estime les gains à 15 % en moyenne.

Le développement du système est assuré par une équipe spécifique comprenant par exemple des ingénieurs pour le suivi des logiciels (l'implantation des nouvelles versions fournies par le constructeur) et des projeteurs spécialisés dans l'écriture de programmes. Ces programmes (environ 1 000 lignes), écrits dans le langage du système, proche du FORTRAN, s'appliquent à un type de pièce et sont utilisés par les dessinateurs pour faire dessiner automatiquement le système en fournissant quelques paramètres, et en complétant la cotation que le système ne fait que partiellement.

Ces systèmes peuvent aussi être utilisés au niveau de la conception dans certains cas particuliers. Lorsque le logiciel du système est orienté vers le traitement de calculs scientifiques, il permet une grande interaction, entre travail graphique et calculs relatifs à la conception d'un produit complexe. Dans ce cas, les projeteurs qui l'utilisent peuvent réaliser très rapidement un projet à partir d'un plan ou d'un devis. Dans l'établissement enquêté, un tel système était en cours d'implantation et il n'est pas possible d'en décrire l'utilisation mais, selon les responsables, cette utilisation exigera de la part des projeteurs des interventions très importantes au niveau de la programmation afin d'utiliser de manière rentable le système. La plupart d'entre eux ont été formés au FORTRAN et certains, qui utiliseront le système au début, à certaines techniques de la programmation structurée. Par rapport aux exemples précédents, il faut souligner que le BE est de taille plus réduite et que le nombre de postes sera, à terme, de l'ordre de la dizaine et non pas de plusieurs dizaines, voire centaines comme dans certains établissements enquêtés.

3.2. Relations entre les activités d'études et de préparation du travail

L'intégration des fonctions d'études et de préparation du travail d'usinage sur MC/CN est de plus en plus souvent évoquée sous l'appellation de *conception et fabrication assistée par ordinateur* (CFAO). Techniquement cette intégration repose

sur la possibilité de reprendre, en préparation de l'usinage, la géométrie de la pièce réalisée au bureau d'études et mise en mémoire dans le système. En effet, jusqu'à l'apparition de la CAO, le préparateur ou le programmeur de MO/CN était obligé de définir dans un langage de programmation tel que APT, une géométrie de pièce, conçue à partir de dessins ou plans fournis par les services d'études.

L'idée de CFAO correspond aussi à une phase ultérieure d'automatisation dans laquelle la programmation d'une MO/CN serait directement réalisée par le système de CFAO. Cette seconde étape est approchée à l'heure actuelle par des nombreux systèmes d'aide à la programmation utilisés en CN (voir à ce sujet le chapitre suivant sur la CN).

L'intégration de la préparation aux activités d'études pose le problème du maintien d'une catégorie de techniciens, préparateurs ou programmeurs ainsi que du rôle de l'opérateur sur MO/CN. Là encore, les diverses applications de la CAO étudiées ici entraînent de ce point de vue des effets hétérogènes.

A) LES SYSTÈMES DE CONCEPTION DE FORME

L'effet le plus important de ces systèmes sur la préparation du travail réside dans la suppression du traçage puisque ces systèmes définissent mathématiquement les formes. L'intégration avec la fabrication est très poussée puisqu'il ne reste au préparateur qu'à introduire dans le système les paramètres technologiques d'usinage, pour obtenir la bande de CN nécessaire à la MO/CN. Dans ce cas, il y a récupération totale de la géométrie de l'objet à usiner. La fonction des traceurs qui définissaient auparavant cette géométrie par des moyens manuels (sur table) a donc été supprimée et ceux-ci ont été reconvertis pour travailler sur le système dans les deux cas observés.

B) LES APPLICATIONS EN MÉCANIQUE

Il s'agit ici des applications à la conception ou au dessin de pièces ou d'outillages.

Dans ces deux types d'applications, le préparateur utilise les définitions géométriques réalisées par les dessinateurs pour composer les bandes de CN utilisables par les MO/CN.

Cependant le travail de programmation ne se réduit pas à la définition géométrique de la pièce mais inclut celle de la trajectoire d'outil aux différentes phases d'usinage et donc le choix des outils et du découpage des phases. De ce point de vue, on peut distinguer deux types de langage de programmation : les langages orientés vers l'informatique, du type APT et les langages plus technologiques mais souvent limités à deux dimensions (tournage, fraisage, perçage, dans un plan), qui incluent dans leur contenu des références à la nature de la machine — tour ou fraiseuse par exemple — ainsi qu'à l'étape d'usinage en train d'être programmée — ébauche ou finition.

Or les logiciels des systèmes de CAO - DAO, lorsqu'ils comportent une partie CN, utilisent de préférence des langages orientés informatiques, plus anciens et mieux maîtrisés d'un point de vue purement informatique.

La liaison entre CAO et CN a donc été observée principalement dans les applications relatives à l'outillage où il s'agit de pièces complexes, usinées selon trois

axes et nécessitant des calculs de trajectoire d'outil importants, effectués en utilisant le langage APT.

Par contre, dans le domaine des pièces mécaniques plus simples, on observe deux tendances différentes du point de vue de ces liaisons :

- selon la première tendance, la simplicité des pièces n'entraîne pas de gros problèmes techniques d'usinage et un système de CAO en deux dimensions tel que CADAM est utilisé en programmation. Dans ce cas, il arrive que la programmation soit effectuée par le dessinateur de la pièce ;

- selon la seconde tendance, il y a une séparation très nette entre les études et l'usinage, et un système de CAO comme CADAM coexiste avec des systèmes d'aide à la programmation en CN qui redéfinissent la géométrie de la pièce. Il paraît dans ce cas plus intéressant de redéfinir cette géométrie qui est simple et d'utiliser un langage de programmation beaucoup plus adapté aux machines de l'atelier.

En définitive, il semble bien que l'intégration CAO-CN n'implique la suppression des catégories de techniciens de préparation ou de programmation que dans certains cas fort limités. Par contre la tendance au développement de la CAO paraît s'opposer au mouvement qui rapproche la programmation de l'atelier avec les machines-outils à calculateur intégré du type CNC mais risque au contraire de favoriser la centralisation de la programmation dans des ordinateurs distincts mais reliés aux machines du type DNC.

4. FORMATION À LA CAO ET GESTION DU PERSONNEL

Les actions de formation continue ainsi que les recrutements sur la base de formations initiales particulières des utilisateurs de CAO s'inscrivent dans des politiques de gestion de main-d'œuvre qui présentent, malgré la diversité des entreprises enquêtées, de nombreuses régularités lorsqu'on les examine selon les types d'applications.

— Le développement du système de conception de forme est généralement le fait d'équipes comprenant des ingénieurs-mécaniciens et des informaticiens. L'utilisation par des dessinateurs est nécessairement précédée d'une phase de formation relativement importante :

- dans l'unité A 1, les projeteurs qui utilisent le système pour créer des formes sont d'anciens traceurs reconvertis dans le dessin de forme après un stage de six mois ;

- dans l'unité B 1, des dessinateurs et d'anciens traceurs « aptes à travailler en 3 dimensions » ont été formés en deux mois à l'utilisation du système mais il faut compter deux à trois mois de plus pour que les gens « acquièrent les automatismes nécessaires » ;

- dans l'unité F 1, les dessinateurs qui utilisent la CAO ont été formés par des ingénieurs responsables du service. Ils ont en général une formation initiale de niveau III (BTS de fabrication mécanique). La formation comprend un cours de cinquante heures qui permet aux formés de se « débrouiller » sur le système. Ce cours est suivi d'un stage de trois mois pendant lequel les dessinateurs apprennent à utiliser toutes les ressources du système de façon à avoir une vue globale de celui-ci. La formation porte essentiellement sur l'apprentissage de la syntaxe du logiciel (cent cinquante instructions pour l'utilisation des outils géométriques du système).

Les systèmes de ce type se caractérisent par une très grande complexité du logiciel et par leur origine, interne aux entreprises, si bien que la séparation entre les concepteurs du logiciel et les utilisateurs est très poussée et que, simultanément, les demandes de modification des programmes remontent très facilement aux concepteurs rendant ainsi inutiles les interventions des utilisateurs.

— La formation à l'utilisation de la CAO en schématique est plus différenciée.

Dans le cas des systèmes les plus simples, la formation des opérateurs est assurée progressivement (une à deux demi-journées par semaine) et comprend l'apprentissage des ordres de base ainsi que d'un peu d'anglais pour interpréter les instructions et messages d'erreurs délivrés par le système. Les dessinateurs possèdent des formations de niveau V (BEP), IV ou III, et ne participent pas au développement du système ni à son implantation, réalisée par une équipe spécialisée dans l'informatique industrielle, au niveau de l'entreprise.

Lorsque la schématique est une application d'un système multi-application, l'équipe chargée de l'implantation du système s'occupe de toutes les applications et on trouve par exemple, dans un bureau d'études d'outillage, une équipe composée d'un ingénieur (mécanicien et informaticien), et d'un ou plusieurs techniciens, de niveau III (BTS bureau d'études, DUT génie mécanique). Ces techniciens ont été formés par stage

chez le constructeur (une à deux semaines) et ont dû suivre dans certains cas des cours d'anglais. Les autres dessinateurs qui utilisent le système ont été formés chez le constructeur, mais la sélection de techniciens de développement s'est faite naturellement en quelque sorte, du fait que certains se « *débrouillaient* » mieux que les autres et ont bénéficié d'une formation supplémentaire à la programmation dans le langage du système.

— Dans le domaine de l'outillage, la formation est souvent interne à l'entreprise lorsque celle-ci possède une équipe spécialisée dans l'implantation des systèmes, qui s'occupe alors aussi de la formation. Elle comprend dans ce cas deux phases : l'apprentissage de l'utilisation du système, progressivement (deux jours par semaine pendant six mois), et une seconde phase qui permet d'apprendre des éléments de programmation (réalisation de programmes d'un millier de lignes, dans le langage du système). Dans les entreprises enquêtées, les techniciens qui font de la programmation ont presque toujours une formation initiale de niveau III. Dans certains cas, les techniciens suivent une formation à l'extérieur (CNAM) qui leur permet d'acquérir une base en informatique. La spécialisation des techniciens de niveau III dans la programmation est expliquée par le fait « *qu'ils comprennent plus vite ce qui est programmation que les autres* ».

— En dessin, la formation interne de l'entreprise est souvent très structurée, comportant, par exemple, trois niveaux :

- un stage d'initiation de quarante heures pour apprendre ce qu'est la CAO. Ce stage sert aussi à détecter les dessinateurs qui participeront aux stages ultérieurs ;

- un stage d'opérateur, de deux mois, pour apprendre l'utilisation du système, avec une partie pratique comportant la réalisation de dessins de plus en plus complexes ;

- un stage de perfectionnement dans lequel on apprend la programmation.

Le dernier niveau n'existe pas toujours car certains systèmes sont rigides et ne permettent pas les modifications de programme. Dans les unités observées, les opérateurs ne sont pas sélectionnés en fonction du niveau de diplôme, ou plutôt, leur facilité d'adaptation au système ne semble pas liée au niveau de formation qui varie du CAP au BTS. Par contre, l'âge est présenté comme un élément important et des échecs dans l'adaptation au système sont souvent constatés au-delà d'un certain âge. On peut penser que la reconversion des habitudes de travail exigée par le passage de la planche à l'écran est rendue difficile par ce type de formation interne, relativement rigide et concentré dans le temps.

Il faut aussi souligner que dans ce domaine, comme dans celui précédemment examiné de l'outillage, les techniciens qui apprennent la programmation ont une formation initiale de niveau III. Lorsque le système de CAO est d'utilisation plus facile parce qu'il travaille en 2 dimensions par exemple, la formation est plus rapide (deux semaines) pour tous les dessinateurs. Il n'y a pas de niveau de perfectionnement en programmation puisque le système est rigide mais une formation supplémentaire (quelques jours) est fournie à certains pour gérer le système (gérer les fichiers de dessin, archivage, sauvegarde...).

PRINCIPAUX RÉSULTATS ET ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Comment évaluer, au terme de cette étude, l'importance de la CAO dans les industries de bien d'équipement ?

Tout d'abord il faut souligner que l'informatisation des activités d'études recouvre des réalités très différenciées; aussi bien sur le plan technique où l'on observe une grande variété de systèmes que sur le plan organisationnel où la multiplicité des modes d'utilisation reflète la diversité des bureaux d'études.

On recense actuellement sur le marché environ quatre-vingts fabricants et fournisseurs de matériels et logiciels pour la CAO (21). Ces systèmes se distinguent par un grand nombre de caractéristiques techniques : nombre de dimensions, nombre de postes de travail graphique, existence de logiciels spécialisés, degré de modularité qui fixe les possibilités d'extension du système, etc.

Ces caractéristiques techniques sont plus ou moins importantes selon la nature du produit fabriqué — certains produits exigeant des logiciels très spécialisés pour la définition de formes complexes —, et selon la fonction de l'entreprise dans laquelle ils s'inscrivent la fonction de conception exigeant par exemple des logiciels tridimensionnels alors que les logiciels bidimensionnels suffisent souvent en dessin.

La distinction des quatre types d'application proposée ici permet de mettre en relief la variabilité des effets de la CAO sur la structuration du travail d'études :

— *L'application de la CAO à la conception de forme*, en généralisant le travail sur écran, avec représentation tridimensionnelle, favorise une certaine recombinaison des activités de conception et de dessin tout en les isolant de l'ensemble des activités de développement du système de CAO.

Ce type d'application très particulier est sans doute le moins susceptible de généralisation, en dehors des bureaux d'études des secteurs de l'aéronautique et de l'automobile, spécialisés dans les formes.

— *Les applications de la CAO à la schématique* font apparaître des effets divergents, mettant ainsi en évidence l'influence de facteurs spécifiques à chaque entreprise ;

• en électronique : parcellisation du travail d'études entre dessin du circuit et numérisation, c'est-à-dire entrée des caractéristiques numériques du circuit dans le système d'un côté, et de l'autre, apparition de nouveaux postes de travail (puisque la numérisation n'existait pas avant l'introduction du système) autour de tâches « globalisées ». Les interventions du dessinateur en matière de développement du système sont peu nombreuses et se situent au niveau de l'élaboration des menus ;

(21) La machine moderne n°869, oct. 82, n°spécial sur la CAO.

• en automatisme : relative remise en cause de la séparation entre projeteurs et dessinateurs, qui, lorsqu'ils ont accès aux mêmes fichiers et aux mêmes programmes réalisent tous les deux la totalité du travail de conception et de dessin. Les interventions en matière de développement du système se situent au niveau de l'application et sont réalisées par les projeteurs.

– *L'application de la CAO au dessin d'outillage* modifie peu la répartition des tâches entre projeteurs mais fait apparaître de nouvelles activités de développement des systèmes : en outillage, la distinction entre projeteurs et dessinateurs est souvent plus faible qu'ailleurs mais il existe parfois une troisième catégorie d'intervenants, les préparateurs de méthode qui, élaborant la méthode pour laquelle l'outillage est dessiné réalise en même temps une partie du travail de conception de l'outil. L'utilisation de logiciels tridimensionnels ne remet pas en question cette répartition des activités mais automatise un grand nombre de tâches de dessin, à tous les niveaux : ensembles, sous-ensembles et détail.

Par conséquent l'activité de développement du système est particulièrement importante et se situe au niveau de la définition de l'application. Ce sont des projeteurs qui conçoivent et écrivent ces programmes et les menus correspondants, ou parfois des ingénieurs.

– *Les applications de la CAO au dessin de pièces mécaniques* qui concernent les effectifs les plus importants sont utilisées de manière fort variable. Les systèmes de DAO en deux dimensions sont, avant tout, des systèmes d'aide au dessin destinés à automatiser une partie des tâches des dessinateurs. Ce type de système ne modifie pas la répartition du travail de dessin et les différentes catégories de dessinateurs utilisent d'autant plus ces systèmes qu'ils font davantage de dessin et de calcul que de conception.

La situation est plus complexe lorsque les systèmes travaillent en trois dimensions. Dans ce cas, le travail de conception peut être réalisé en partie sur écran et inversement, le travail de dessin en deux dimensions peut utiliser des menus tridimensionnels, ce qui tendrait à rapprocher les différentes catégories de dessinateurs. L'évolution technologique de la CAO tend à généraliser les systèmes tridimensionnels et volumiques, qui permettent davantage que les autres de réaliser à l'écran le travail de conception et ne sont limités que par la dimension de l'écran, lorsque la pièce est d'une taille trop importante pour être correctement visualisée. Dans le cas, encore peu fréquent, où de tels systèmes fonctionnent, la structuration des activités d'études retrouve la forme traditionnelle dans laquelle le projeteur conçoit à l'écran une pièce qui est ensuite exploitée par les dessinateurs sous forme de dessin d'exécution. Cependant l'utilisation principale de ces dessins est surtout le fait de la fabrication, et lorsque celle-ci utilise des MO/CN, il devient possible de programmer directement ces machines en prenant comme base l'image tridimensionnelle de la pièce parfaitement définie par le projeteur. On assisterait alors dans ce cas à la fusion des activités de conception et de dessin.

Le travail de développement de ces systèmes est lui aussi très variable : négligeable dans les systèmes bidimensionnels, il peut devenir très important dans certains systèmes tridimensionnels volumiques et dans ce cas, les projeteurs qui en écrivent les programmes d'application étaient initiés à certaines techniques de la programmation structurée.

L'introduction de la CAO dans le travail d'études ne conduit pas uniformément à rapprocher le travail des différentes catégories de personnels d'études.

L'impact de la CAO sur l'organisation du travail paraît relativement faible et il semble au contraire que la CAO s'adapte aux différentes formes d'organisation du travail rencontrées dans ces activités. La pertinence de ces résultats est cependant limitée par deux facteurs : l'absence de prise en compte, dans cette étude, du travail de conception réalisé par les ingénieurs, parce qu'à l'époque des enquêtes la plupart des systèmes de CAO n'étaient pas et ne sont probablement pas encore assez développés pour être utilisés dans ces activités, et les possibilités futures d'intégration plus poussée entre étude, méthode et fabrication. Compte tenu de ces restrictions, la caractéristique commune des modifications observées dans l'organisation du travail paraît bien être l'émergence de l'activité de développement des systèmes de CAO.

Comment s'établit l'inscription de cette activité dans les formes d'organisation existantes du travail d'études ? Il semble, qu'au-delà de la distinction entre types d'application de la CAO, on puisse distinguer deux variantes :

– Lorsque la CAO est introduite à un endroit stratégique pour l'entreprise, principalement dans les applications de forme, d'outillage et dans des cas très limités de dessin de pièces mécaniques, l'activité de développement du système prend une grande importance. Ce développement ne consiste pas seulement à élaborer des programmes d'exploitation qu'utilisent les dessinateurs, mais il comprend aussi la constitution de fichiers et la mise au point de méthodes de résolution des problèmes de dessin qui dérivent directement des pratiques des dessinateurs. A cet égard on peut dire que le système intègre en partie le savoir-faire du dessinateur.

Cependant cette intégration peut être réalisée par le dessinateur lui-même qui participe alors au développement du système ou par une équipe chargée de la diffusion de la CAO, provenant en partie du BE et initiée à l'informatique.

Une nouvelle forme de différenciation des activités, qui ne repose plus uniquement sur l'expérience professionnelle c'est-à-dire sur des compétences de « métier » propre à chaque secteur d'activité, mais sur la distribution de savoirs de type informatique, se développe alors progressivement dans ces bureaux d'études.

– Lorsque au contraire, l'introduction d'un système correspond plutôt à un objectif de rationalisation du travail d'études et de diminution des délais de réalisation, le système est souvent qualifié de « *planche à dessin électronique* » et la gestion du système relève avant tout de l'informatique.

Quelles sont les conséquences de ce mode d'intégration d'une nouvelle technologie sur les pratiques de formation interne et les exigences de recrutement ?

On peut remarquer que les systèmes de CAO-DAO sont le plus souvent conçus de façon à demander peu de formation supplémentaire par rapport aux formations traditionnelles de dessin, de mécanique ou d'électricité, lorsqu'on se limite à l'utilisation du système.

Mais comme le montrent les analyses des modes d'utilisation des différents systèmes, ceux-ci doivent très souvent être « adaptés » aux pratiques et aux

produits des bureaux d'études. Cette adaptation a déjà été réalisée dans le cas des systèmes de conception de forme, par définition, pourrait-on dire puisqu'ils ont été conçus dans les entreprises. Il s'agit cependant d'un cas particulier d'application de la CAO qui, parce qu'il est fortement lié au produit et demande un investissement très lourd en matériel informatique, est peu susceptible de généralisation.

Ce n'est pas le cas des applications à l'outillage ni au dessin de pièces en trois dimensions, utilisant des systèmes « ouverts ». L'adaptation de ces systèmes, sous forme d'élaboration de mesures ou de développement d'applications spécifiques à des produits particuliers exige des connaissances supplémentaires de type informatique comme l'apprentissage du langage du système ou parfois du FORTRAN (22). Dans la plupart de ces cas, une équipe réduite est ainsi mise en place pour développer le système et former les dessinateurs. Du point de vue de la formation, ce clivage revêt une certaine importance. Si l'utilisation des systèmes n'est pas réservée à des dessinateurs titulaires de formations particulières, il semble que ceux qui ont un diplôme de niveau III (BTS, DUT) se retrouvent beaucoup plus fréquemment dans les équipes chargées de la gestion et du développement des systèmes.

De plus, les exigences des employeurs en matière de formation privilégient aussi à l'embauche des titulaires de formation de niveau III, sans pour autant que les recrutements à un niveau inférieur (niveau IV en général), disparaissent complètement.

Au-delà des effets sur la composition et l'évolution des différentes catégories de dessinateurs, on peut se demander si l'informatisation n'est pas susceptible d'entraîner des modifications importantes dans la gestion du travail d'études.

La fréquence des changements dans les logiciels (la succession des différentes « générations »), le développement de nouvelles applications et l'amélioration des mesures constituent en effet un phénomène permanent qui modifie constamment les méthodes de travail des bureaux d'études.

Cette permanence du changement s'oppose à la rigidité antérieure des méthodes de travail, rigidité qui rendait souvent difficile les évolutions liées à la transformation des produits et des méthodes de fabrication. Cette rigidité était souvent vécue et décrite comme un ensemble de « traditions », les traditions du bureau d'études. Ces traditions étaient aussi le support de la prévision et du contrôle du travail : prévision quant à la nature des résultats et de leur qualité, prescription et contrôle des délais de réalisation du travail. Ce mode de régulation des activités d'études paraît être mis en question par l'informatisation et il resterait à en étudier les effets.

(22) La connaissance de l'anglais est aussi souvent utile pour comprendre par exemple les messages d'erreurs qu'envoie le système lorsqu'on arrive au niveau du logiciel.

AU SOMMAIRE DES AUTRES VOLUMES

VOLUME 2 : LES PME ET LA COMMANDE NUMÉRIQUE par William Cavestro

Introduction

Chapitre 1 : Les PME et l'automatisation

- 1. Une difficulté : la mesure de l'automatisation. Le matériau statistique*
- 2. Un constat : la faiblesse de l'automatisation des PME*
- 3. Le contexte de crise et l'évolution de la sous-traitance*
- 4. Un ajustement difficile de l'offre : la situation de la machine-outil française*

Chapitre 2 : Division du travail, évolution des qualifications et formation

- 1. Avant la commande numérique : des formes hétérogènes de division du travail*
- 2. La division du travail en programmation*
 - 2.1. Les variantes
 - 2.2. L'évolution du contenu des tâches
- 3. Qualification ou déqualification des opérateurs ?*
- 4. Politique de recrutement et de formation*
 - 4.1. Les profils de recrutement en programmation
 - 4.2. Les profils en commande numérique

Conclusion

Annexes

- Annexe 1 : Fiches descriptives d'établissement*
Annexe 2 : Annexes statistiques

Bibliographie

VOLUME 3 : L'AUTOMATISATION DE L'USINAGE ET LE DÉVELOPPEMENT DE LA COMMANDE NUMÉRIQUE par Olivier Bertrand

Chapitre 1 : Les nouvelles formes d'automatisation. Leur adoption et leur diffusion

- 1. L'automatisation concerne différents aspects de l'usinage et progresse par étapes*

- 1.1. Le parc machine-outil à commande numérique (MOCN) est encore faible mais représente une part significative de la production
- 1.2. La place des machines françaises dans ce parc est encore importante, mais de plus en plus menacée
- 1.3. Les facteurs économiques paraissent jouer un rôle déterminant dans les politiques vis-à-vis de l'automatisation...
- 1.4. ... Dont les caractéristiques répondent à de nouveaux besoins

2. La diffusion a touché successivement des types d'entreprises ayant à résoudre des problèmes différents

3. La rentabilité de l'automatisation est difficile à calculer, mais paraît assurée

Chapitre 2 : Organisation, travail et qualification

1. Vue d'ensemble sur les liaisons entre technologie, organisation et travail

- 1.1. Les facteurs liés aux conditions de production
- 1.2. Le rôle des politiques d'entreprise

2. Les structures organisationnelles

- 2.1. L'automatisation n'est qu'un facteur, parmi d'autres, de l'évolution des structures organisationnelles
- 2.2. L'apparition d'une fonction nouvelle de programmation peut être associée avec des structures organisationnelles variables
- 2.3. Ces structures organisationnelles sont évolutives
- 2.4. En maintenance, le maintien des structures est fréquent, mais pas général
- 2.5. L'automatisation affecte plus le mode de fonctionnement des organisations que les structures

3. Division du travail, contenu des tâches et qualification

- 3.1. L'élaboration des logiciels est un investissement important mais exceptionnel
- 3.2. En programmation et en usinage, on observe quatre formes principales de division du travail
- 3.3. Description des opérations de programmation
- 3.4. Une analyse détaillée des opérations d'usinage est nécessaire pour apprécier la qualification des opérateurs...
- 3.5. ... Et l'évolution de cette qualification

Chapitre 3 : Recrutement, profils, évolution professionnelle et formation

1. En programmation, on observe trois profils de recrutement

2. L'affectation des opérateurs sur MOCN est liée à trois critères : compétence, adaptabilité et motivation

3. Accroissement de la mobilité interne

4. La formation continue accompagne généralement l'automatisation, mais avec des formes et une intensité variables

Éléments de conclusion

VOLUME 4 : L'AUTOMATISATION DES FABRICATIONS DE SÉRIE

par Jacques Merchiers

Introduction

1. Tendances récentes de l'automatisation et objectif de l'étude

2. Les transformations du travail humain dans l'automatisation : les notions utilisées

Première partie : Formes d'automatisation et objectifs des entreprises

Introduction

1. Automatisation et rentabilité

2. Automatisation et flexibilité

Deuxième partie : L'évolution de l'organisation du travail

Introduction

1. L'intégration des tâches d'entretien à la fabrication dans un contexte de rentabilité

1.1. Les stades de l'automatisation et l'évolution des modes de coopération

1.2. Transformation de la maintenance : la translation des tâches d'entretien

2. L'automatisation du travail de contrôle et l'accroissement de sa division

3. Concurrence entre fabrication et entretien dans l'automatisation de la fonderie

4. La suppression du travail de fabrication dans un contexte de flexibilité

Troisième partie : Formation, classifications et filières professionnelles

1. La fabrication

2. Le contrôle

3. L'entretien

Conclusion

Reproduction autorisée à la condition expresse
de mentionner la source



Centre d'Etudes
et de Recherches
sur les Qualifications

9, RUE SEXTIUS MICHEL, 75732 PARIS CEDEX 15 - TEL. 575.62.63