

Chapitre III.2

Mettre en forme l'information technique

Contenu du chapitre III.2

Où il sera question de l'histoire de la CAO, de la genèse de plusieurs instruments de conception.

Où nous nous demanderons quelles sont les propriétés des nouvelles pratiques induites par l'ordinateur.

Où nous verrons finalement que la CAO n'est pas plus intégrative que les formes de graphisme technique qui l'ont précédée, mais qu'elle joue constamment non seulement sur les trois registres : visualisation, la fabrication et calcul mais aussi sur celui de la gestion des informations techniques.

Plan du chapitre III.2

Histoires de la CAO.

La CAO et la gestion de l'information.

D'une intégration à une autre.

D'une intégration à une autre

Dans la partie précédente (II), nous avons vu que le graphisme technique en tant qu'instrument de conception apparaissait comme un moyen de prescription pour la fabrication passant par la standardisation des pratiques de fabrication. Or, depuis la seconde guerre mondiale, la conception a connu des développements importants, liés à la mise au point et à la diffusion de nouveaux instruments de travail destinés à faciliter cette activité.

Dans le chapitre précédent (III.1), nous avons décrit, à partir d'un terrain d'investigation particulier, la place de l'instrumentation dans la coordination, sous des formes qui conjuguent la standardisation, la formation, etc.

Il convient, dans ce chapitre, de s'interroger plus largement sur différents instruments que l'on regroupe sous le label de la « CAO ». A partir d'une revue bibliographique commentée et associée à une brève investigation dans un bureau d'études du CERN¹, nous décrirons et analyserons l'émergence de ces nouveaux instruments et les enjeux qui y sont liés. Nous montrerons ainsi que les instruments d'aide à la conception sont aussi les vecteurs d'une prescription portant sur l'activité de conception elle-même. Dans un premier temps, nous nous arrêterons sur l'histoire de l'émergence de la CAO depuis la seconde guerre mondiale, pour poser la question des enjeux et des orientations de ces développements technologiques, en tension entre les soucis de la fabrication, du calcul et de la visualisation pour le concepteur.

Dans un second temps, nous reprendrons l'exemple du chapitre précédent pour introduire alors l'idée centrale de ce chapitre, à savoir que la CAO est aussi un instrument de la réorganisation des pratiques, et notamment celles liées à la gestion des données. Il s'agit de mémoriser, cataloguer, diffuser les informations nécessaires au travail de conception.

¹ Centre Européen de Recherches Nucléaires, Genève.

En exploitant l'étude de cas du chapitre précédent (III.1) et en tenant compte des études exposées dans le paragraphe 1, nous formulerons finalement l'hypothèse principale de la partie III du mémoire : la CAO serait un nouvel instrument par le fait, non pas qu'il intègre la conception et la fabrication, mais qu'il pose explicitement la question de la coordination.

1. Histoires de la CAO

En première analyse, nous définirons la CAO comme l'ensemble des instruments qui s'appuient sur l'ordinateur : logiciels, écrans, claviers, tables traçantes, etc. Dans l'optique qui est la nôtre dans ce mémoire, la CAO, émergeant progressivement à partir de la seconde guerre mondiale, est à saisir tout à la fois comme un ensemble d'instruments et un vecteur de savoirs pour les bureaux d'études et les ateliers.

Dès lors, une série d'interrogations émerge dans ce nouveau contexte. Dans quelle mesure ces instruments et les savoirs correspondants induisent-ils des pratiques nouvelles de la conception et de la fabrication ? Le rôle des acteurs de la conception et de la fabrication est-il redéfini avec cette nouvelle instrumentation ? Assiste-t-on à l'émergence d'une nouvelle forme de coordination ?

Les interviews d'enseignants en mécanique ou de concepteurs de bureau d'études soulignent fréquemment que les logiciels de CAO ne relèvent souvent que d'une logique géométrique :

« on voit qu'ils sont faits par des informaticiens, par des mathématiciens ».

Comprenons par là que la représentation des formes, des surfaces et des volumes ne semble pas être le seul aspect intéressant pour l'utilisateur de la CAO. Nous verrons bien, dans cette partie, que la CAO ne relève pas uniquement de la géométrie. Dès ses origines au MIT², si elle s'impose comme un instrument de visualisation, elle entretient aussi des liens avec la fabrication et le calcul. Plus précisément, on observe qu'une forme de standardisation des pratiques de conception se caractérise, durant cette

période, par une mise en exergue des savoirs de conception au moyen d'instruments qui constituent les vecteurs de la coordination entre les acteurs. Le propre de ce paragraphe est d'en donner des repères historiques.

Il existe peu d'études d'envergure sur l'histoire de la CAO, qui tentent de lier les pratiques de la conception avec d'autres éléments *a priori* exogènes. En ce qui concerne la France, les travaux de Jean-Pierre Poitou montrent que les pouvoirs publics (via les universités, les centres de recherche et les entreprises publiques comme Renault) ont joué un rôle prééminent dans le succès d'instruments très présents à l'heure actuelle dans l'industrie : CATIA et EUCLID³, que nous étudierons plus loin dans cette partie.

La posture de ce chapitre est de partir des clés de lecture tirées des travaux d'Irmela Gorges⁴ qui étudie comparativement les Etats-Unis, l'Allemagne et la France pour préciser trois éléments de ce qui constitue, pour elle, la CAO : la *visualisation* (ou l'aspect graphique), la *fabrication* et le *calcul*. Gorges montre que ces trois aspects ne se développent pas de la même manière partout ni au même moment, et surtout qu'ils sont défendus par des groupes d'acteurs parfois fort différents mais qui, finalement, se font chacun le porte-parole d'un aspect particulier de la CAO.

Calculer-Représenter-Fabriquer, ou ce que cache le sigle de « CAO »

Sur la période allant de 1955 à 1985, la CAO possède trois orientations, d'une certaine manière trois histoires plus ou moins parallèles : elle peut être un instrument pour la *conception*, pour la *représentation* ou pour la *fabrication*. Pour chaque aspect, il y a des acteurs, des lieux, des institutions, bref des réseaux différents mais qui, parfois, se rencontrent. Cette triple histoire est présente, à des degrés divers, dans les trois pays étudiés : les Etats-Unis, l'Allemagne et la France. La différence entre ces trois genèses

² Massachusetts Institute of Technology, USA.

³ POITOU (Jean-Pierre), *30 ans de CAO en France*, Paris : Hermès, 1989.

⁴ GORGES (Irmela), «The impact of society on C.A.D. research in the U.S.A., France and Germany, 1955 through 1985», in PERRIN (Jacques), VINCK (Dominique) (eds.), *The role of design in the social shaping of technology*, Bruxelles : Cost A4, 1996 (Vol.5), 155-183.

nationales de la CAO provient autant de l'économie, de la politique que de la culture, d'après la thèse d'Irmela Gorges.

Le cas des Etats-Unis se caractérise par une claire subdivision entre les différentes phases de l'histoire de la CAO. A chaque phase apparaissent des acteurs clés pour son développement. Tout d'abord, il est financé par les crédits militaires, jusqu'à la fin des années 1960. Durant cette période, l'enjeu est de sauvegarder les intérêts politiques face à l'Union Soviétique, dans le contexte de la guerre froide⁵, en renforçant l'industrie aéronautique (avions et hélicoptères). La seconde phase, qui prend son envol dans les années 1960, connaît ensuite le développement d'une recherche appliquée dans le domaine non militaire, dans des entreprises comme Computer Vision. La troisième phase, elle, concerne le travail sur des solides (« *la modélisation des solides* »), qui commence dans plusieurs universités au milieu des années 1970. Enfin, la quatrième phase s'amorce à la fin des années 1970, à l'aide des financements de l'Etat, des fondations scientifiques et de l'industrie pour supporter l'industrie au début d'une période de récession, alors que les intérêts militaires —encore présents— jouent néanmoins un rôle de moins en moins prééminent pour ce qui concerne le développement de la CAO.

C'est aux Etats-Unis que se révèlent en premier lieu les enjeux autour des trois activités que nous avons préalablement mentionnées. Pour cela, s'attacher à la création même du terme de « *CAD* » (dont « *CAO* » est la traduction en français) est instructif pour discerner qu'il est le produit des interactions entre divers acteurs en jeu ayant des points de vue différents. Ce terme serait né au MIT, au début de l'année 1959⁶, au cours de débats portant sur des études relatives à la programmation graphique pour les procédés de conception en ingénierie mécanique. Les protagonistes sont des

⁵ Rigoureusement, après 1947-48, date de ce qui est convenu d'appeler le début de la Guerre Froide. Quoi qu'il en soit, le répit après la Seconde Guerre Mondiale est de brève durée.

⁶ Voir REINTJES (J. F.), *Numerical Control, Making a New Technology*, New York-Oxford: Oxford University Press, 1991, 93 et suiv ; cité par GORGES (Irmela), *op.cit.*, 160-161.

représentants de la division conception du département d'ingénierie mécanique du MIT ainsi que deux groupes de travail sur la fabrication. Le premier travaille sur un programme dit APT⁷, le second sur le pilotage de procédés de fabrication⁸ au sein d'un mouvement né au cours de la Seconde guerre mondiale. Il s'agit, plus précisément, du laboratoire d'automatisme du MIT⁹, rebaptisé au cours des années 1950 sous le nom de laboratoire des systèmes électroniques¹⁰. Celui-ci étudie le développement de programmes informatiques pour le pilotage numérique de machines outils¹¹.

En fait, le premier but des programmeurs de machines est *d'automatiser les procédés de conception en ingénierie mécanique pour standardiser le graphisme technique* qui pourrait alors être transformé en commande de la fabrication par la planification de la production. En outre, le point de vue des ingénieurs de conception est de *développer un programme qui pourrait non seulement remplacer la routine du travail de représentation graphique¹² effectué par les dessinateurs¹³ mais aussi aider, assister le travail des ingénieurs à différentes étapes du procédé de conception¹⁴*. En somme, le choix du terme de CAD semble *marquer une première victoire de la conception —représentée par le département de mécanique— sur la fabrication*.

⁷ Ce sigle signifie Automatic Programmed Tools. Voir ROSS (D. T.), «The Early Days of CAD, SofTech/MIT 89/10/03», An invited paper for the International Symposium Advanced Geometric Modelling for Engineering Applications, Production technology Centre, Technische Universität Berlin, 1989 (N° 8-10) ; cité par GORGES (Irmela), *op.cit.*, 159.

⁸ Terme utilisé par Irmela GORGES : « [for] *examining control processes* ».

⁹ Servomechanisms Laboratory.

¹⁰ Electronic Systems Laboratory.

¹¹ « *the developpment of computer programs for the numerical control of machine tools* », pour reprendre les termes de GORGES.

¹² Sur la notion de routine, voir notamment les travaux de Bernard CONEIN : citons, entre autres, CONEIN (Bernard), «La notion de routine : problème de définition», *Sociologie du travail*, 1998 (4/98), 479-489.

¹³ « *drafstmen* », en anglais.

¹⁴ D'après Irmela GORGES, le représentant de l'US Air Force au MIT évoque déjà dans un article de 1957 une « *drawing machine* » ou machine à dessiner. Pour preuve, Irmela GORGES cite ROSS (D. T.), «The Early Days of CAD, SofTech/MIT 89/10/03», An invited paper for the *International Symposium 'Advanced Geometric Modelling for Engineering Application'*, NO.8-10, Technische Universität Berlin: Production Technology Centre, 1989.

Selon Gorges, le cas de l'Allemagne est différent : il se caractérise par une stabilité du réseau comprenant des groupes économiques, sociaux et politiques dans le domaine de la machine-outil. C'est pourquoi, l'aspect « *fabrication* » est particulièrement important et reçoit les financements. Les institutions formant ce réseau sont des lieux de rencontre des acteurs : des directeurs de recherche dans le domaine de la fabrication et des industriels des machines-outils sont présents dans les comités d'administration des fondations scientifiques par le biais desquels sont financées les recherches. Il peut paraître paradoxal, ajoute Gorges, que dans un contexte *a priori* aussi favorable, aucun instrument de CAO ne se soit imposé, à la différence des Etats-Unis et de la France. Mais ce paradoxe n'est pas levé dans l'étude de Gorges sur laquelle nous nous fondons.

En France, justement, les premiers systèmes se développent dans la recherche, au sein des entreprises et indépendamment des efforts américains. En se fondant sur les travaux de Jean-Pierre Poitou, nous relevons que le succès français semble tenir aux liens étroits entre les scientifiques, les développeurs de programmes informatiques à la fois dans l'industrie militaire et civile et dans les universités. Le transfert de technologie se fait notamment lorsque des chercheurs créent leur entreprise, les systèmes s'enrichissent et se développent au gré des fusions ou des collaborations entre entreprises : c'est le cas de Peugeot et Citroën, de Renault et Matra ou encore, nous l'avons vu dans le chapitre précédent, de Schneider Electric (qui résulte d'une fusion juridique de plusieurs entreprises, principalement Merlin Gerin et Télémécanique).

Le cas de la France est intéressant car le décodage du succès de deux logiciels, EUCLID et CATIA, révèle de nombreux enjeux dans la genèse de la CAO. Poitou caractérise en fait une exception française à partir des conditions institutionnelles. Il la relie également à une culture tournée vers l'abstraction et la géométrie qui tient une place de choix dans la formation et la pratique des ingénieurs et techniciens. Plus précisément, la géométrie descriptive aurait joué le rôle, avant même la CAO,

d'« *amplificateur intellectuel* »¹⁵ : dans notre vocabulaire, d'*instrument de conception*. Dans un premier temps, nous ne nous démarquons pas de cette lecture de type culturaliste, en ce sens que des spécificités nationales comptent parmi les raisons fondamentales pour expliquer des histoires différentes de la CAO. Il ne s'agit pas pour nous de discuter si la CAO constitue ou non une avancée technique capitale —ce que Poitou affirme— mais de ne pas prendre au pied de la lettre les arguments de certains acteurs, notamment des prescripteurs comme des entreprises qui vendent des logiciels de CAO, ou des consultants dont le cheval de bataille est la « *modernisation* » des entreprises. En cela, nous rejoignons Poitou lorsqu'il avance que l'argument d'amélioration de la rentabilité est spéculaire car « *on n'[en] a, a priori, aucune idée précise* ».

La CAO ne se cantonne pas à des questions de matériels (ordinateurs, imprimantes, etc.) ou de programmes (logiciels). Poitou signale que les fournisseurs de CAO constatent certes que les nouveaux clients leur posent d'abord des questions sur les matériels et les logiciels, mais que, après quelque temps de pratique, de l'ordre de deux ans, ils se préoccupent surtout des systèmes de gestion des banques de données. En complément de l'étude exposée dans le chapitre précédent, nous verrons que ces aspects ne sont pas annexes, bien au contraire. En d'autres termes, ce sont les aspects de gestion de l'information et la place de la fabrication qu'il ne faut pas délaissier. Poitou en parle comme des « *aspects pratiques* » complémentaires des « *aspects cognitifs* » qui caractérisent la conception.

En somme, l'histoire de la CAO que nous exposons tend à refuser de cantonner le savoir à la conception d'une part, et la mise en œuvre à la fabrication d'autre part. Pour tenir ces deux termes, développons plus amplement le cas des logiciels EUCLID et CATIA.

¹⁵ Expression de Daniel VERNET, élève de Pierre BEZIER qui joua un rôle particulier dans l'histoire de la CAO chez Renault, dès les années 1950.

Cas de CATIA, ou comment imposer un instrument

Élément clé du complexe militaro-industriel français, l'entreprise Dassault¹⁶ bénéficie d'un apport notable de financements publics. Cette entreprise se consacre essentiellement à l'étude et au développement des avions ; elle sous-traite la plus grosse part de la fabrication. Dassault est principalement un bureau d'études, et secondairement un lieu d'assemblage. Il s'appuie sur tout un ensemble de sous-traitants comme, par exemple, la SNIAS¹⁷.

D'après Poitou, c'est à partir de 1972 ou 1973, que la direction de Dassault décide que, désormais, la forme de tous les avions Dassault sera définie exclusivement sur ordinateur. Les premiers sont les MERCURE et ALPHA-JET. La mise en œuvre passe par une enquête, en Europe et aux Etats-Unis, destinée à définir les instruments appropriés. Les conclusions, datant de fin 1974, portent à la fois sur le domaine des études et de la fabrication.

Pour ce qui concerne la fabrication, Renault¹⁸ apporte l'aide technique initiale. Dassault n'est tout d'abord pas équipé et se tourne vers la SOFERMO à Meudon, filiale de Renault qui utilise une fraiseuse reliée au logiciel UNISURF, capable de définir géométriquement des surfaces (notamment pour la carrosserie) et de piloter l'outil de fraise.

Quant aux études, selon Poitou, les premiers efforts de développement dans le domaine de la CAO portent d'une part sur les fondements théoriques et la mise au point d'algorithmes, d'autre part sur des programmes graphiques interactifs à commande numérique. Entre les deux subsiste une lacune importante qui, selon les acteurs, nécessite une intégration plus poussée. Pour cela, il y a deux possibilités : soit le développement en interne des instruments, soit l'achat d'un produit du marché, comme le logiciel américain CADAM. Si l'on suit Poitou, la première option permet de s'assurer

¹⁶ Plus précisément : Avions Marcel Dassault-Bréguet Aviation.

¹⁷ Société Nationale des Industries Aérospatiales.

¹⁸ A l'époque, il s'agit en fait de la RNUR, Régie Nationale des Usines Renault.

la maîtrise totale du système ainsi produit¹⁹, alors que la seconde voie peut sembler plus rapide.

En fait, la décision de la direction de Dassault est d'adopter les deux voies à la fois. Leur position est la suivante : l'essentiel de l'activité de Dassault réside dans la conception d'avions, plutôt que dans la fabrication, qu'elle sous-traite en majeure partie. Du point de vue des délais d'étude, de la qualité et de la nouveauté des produits, l'aide d'un instrument comme la CAO serait donc décisive pour une entreprise de cette sorte où la fonction étude est à ce point développée. Mais surtout, la direction de Dassault estime que la *CAO est une technique d'automatisation qui agit à la fois dans la conception du produit mais est susceptible de définir les instructions destinées à l'ensemble des autres automates*. En d'autres termes, la *CAO a une fonction organisatrice de l'ensemble de la production*. Les préoccupations de Dassault semblent, à ce moment du processus, concerner plus les délais que les prix : la crainte principale est de ne plus pouvoir produire un prototype aussi rapidement qu'auparavant. En conséquence, dominer la CAO —*instrument d'étude et d'ordonnancement de la production*— permet non seulement de préserver, mais encore renforcer de cette position de maître d'œuvre dans un réseau de coopération international. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, il s'agit d'instrumenter —en concevant un instrument— la coordination technique.

Qu'en est-il de la seconde option, consistant à rechercher un instrument à l'extérieur de Dassault ? Après études, le logiciel choisi est CADAM²⁰, élaboré par l'avionneur Lockheed. Dassault acquiert la totalité des instructions du programme (le « *code source* »), ce qui lui permet d'en poursuivre le développement à ses fins particulières. En outre, premier acquéreur en Europe, Dassault peut espérer faire prévaloir, vis-à-vis de Lockheed, sa propre logique d'utilisation de CADAM, qui est alors rebaptisée

¹⁹ Comme nous allons également le voir pour le cas d'EUCLID : cf. infra.

²⁰ Computer Aided Design and Manufacturing.

DRAPO²¹. Lockheed développe parallèlement CADAM et confie à IBM le soin de le commercialiser.

L'utilisation de DRAPO se développe de la fin 1975 à 1980. Dès 1978, rapporte Poitou, on peut lire dans le magazine d'IBM que les installations de DRAPO mobilisent sept ordinateurs de la série 370, et vingt-sept écrans graphiques. Il ne s'agit pas uniquement d'un ensemble de machines mais de la constitution d'une banque centrale de données, où sont enregistrées les formes d'avions —« *élément décisif* [, selon Poitou,] *de la diffusion du système* »—. Élément clé de la diffusion d'un nouvel instrument, la capacité de structuration de l'information est, dans ce cas, comme pour OI3C²², au centre de la genèse. Comme l'écrit Poitou,

« *Un élément décisif de la diffusion du système fut la constitution d'une banque centrale de données, où étaient enregistrées les définitions de formes des avions.* »

En outre, si CADAM semble donner satisfaction pour son côté « *ergonomique* » (i.e. confort d'utilisation) et ses capacités en matière de dessin, il semble laisser à désirer quant à la « *modélisation tridimensionnelle* » (i.e. la définition des formes d'un objet dans l'espace). Poitou signale que, pour cela, à partir de 1977, Dassault travaille également en interne sur un logiciel nommé CATI²³, spécifiquement dévolu à la représentation tridimensionnelle. En 1980, sur les cent cinquante-cinq ingénieurs chargés de la CAO, vingt d'entre eux se consacrent à CATI. Cette équipe dite « *des géomètres* », est relativement distincte du reste du service « *CFAO* ». Au sein de celui-ci, quelques personnes assurent la maintenance de DRAPO ; le reste s'occupe de la diffusion au sein de Dassault des méthodes de la CFAO et de la formation à celles-ci.

Pour CATI, les techniciens de Dassault sont particulièrement attentifs à l'importance de la visualisation, au cours du travail d'étude, aux formes à trois dimensions, et donc au choix des écrans. En effet, comme le disent eux-mêmes des concepteurs,

²¹ Définition et Réalisation d'Avions Par Ordinateur.

²² Voir le chapitre précédent (III.1).

²³ Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive.

« *il y a des cas où c'est l'œil qui juge* ».

Ce qui signifie que, quelle que soit la qualité de la représentation, y compris avec des instruments informatiques, l'appréciation, l'ajustement du concepteur ne sont pas du tout évacués.

L'objectif immédiat de ce double travail —adaptation externe de CADAM et développement interne de CATI— est de permettre à Dassault d'assurer complètement la définition et l'usinage des maquettes de soufflerie. A plus long terme, il s'agit de mettre en place un ensemble d'instruments, une architecture de systèmes susceptibles de développements sans rupture. Enfin, à très long terme, compte tenu de la longueur du cycle de vie d'un modèle d'avion —environ 30 ans—, conserver les données géométriques primordiales dans une définition rigoureuse, exacte et toujours accessible quelle que soit l'évolution informatique à venir.

En conséquence, si nous pouvons faire nôtre la conclusion de Poitou selon laquelle CATI est d'abord un système conçu et élaboré pour les besoins propres de Dassault, et plus particulièrement pour l'étude des structures d'avions, force est de constater que la conception des systèmes d'armes, des systèmes électriques ou de commande bénéficient de l'émergence croisée de plusieurs outils. En d'autres termes, la *CAO est un lien entre la mécanique, l'électricité et l'électronique* qui sont autant de domaines pour lesquels Dassault n'éprouve pas le besoin d'investir autant que dans les programmes de structure et d'aérodynamique.

Pour autant que la genèse de CATIA puisse le montrer, la CAO est-elle un simple instrument de définition géométrique ? Poitou précise que

« [dans le dilemme] *garder de manière interne ce savoir-faire (...) ou disposer d'un outil commun qui nous donnerait un avantage de plus dans ce programme de coopération international (...) la réponse a été très nette (...) assurer la maîtrise d'œuvre de programmes internationaux (...) au niveau des études* »,

car telle est

« la finalité profonde de la société Dassault qui n'est pas tellement une société de production ».

Ce présent chapitre avance que, justement, ce n'est pas tant la géométrie, le mode de représentation des formes qui caractérisent le mieux à ce stade la genèse d'un tel instrument de conception. En effet —et nous reprenons là les arguments de Poitou—, Dassault décide de vendre CATI, notamment aux concurrents, pour conserver une supériorité sur eux dans le domaine des études. Avec un point de vue différent de celui de Schneider Electric qui choisit de conserver OI3C strictement pour l'usage interne, Dassault semble considérer que —nous suivons également Poitou sur ce point— *l'instrument ne confère pas par lui-même une supériorité absolue* : l'élément décisif est plutôt le savoir-faire du personnel du bureau d'études et son habileté à employer la CAO : en d'autres termes,

« on peut faire une mauvaise CAO avec un bon outil, et presque une bonne CAO avec un mauvais outil... »

Avec Lockheed, IBM est un autre allié de Dassault. IBM cherche un produit complémentaire notamment dans le domaine tridimensionnel. Après l'examen de l'offre mondiale en ce domaine, elle retient trois produits : l'un présenté par l'avionneur américain Northrop, le second présenté par le groupe japonais Nissan, et enfin CATI de Dassault. Après une étude dans les trois entreprises, CATI est retenu pour bénéficier du réseau commercial d'IBM. Aux journées de l'Informatique industrielle et de l'Automatisme de 1981, un responsable de Dassault annonce que

« le système CATI serait prochainement mis en vente par un grand constructeur d'ordinateurs, qui, bien que non cité, fut parfaitement identifié par le public »²⁴.

En effet, en juillet 1981, une vingtaine de personnes de Dassault créent une filiale, Dassault Systèmes, dans le but de développer CATI, devenu CATIA.

²⁴ Cité par POITOU (Jean-Pierre), *op.cit.*, 1988.

A partir de 1984, CATIA est en mesure de créer des éléments en géométrie à deux dimensions, soit directement, soit par projection d'éléments dans l'espace. En outre, sont offertes les fonctions usuelles du dessin technique : cotations, hachures, symboles, etc.

Au terme de la période étudiée par Poitou, CATIA est utilisé en 1985 à des degrés divers, par 80 % des sociétés occidentales d'aéronautique (notamment Boeing). Il constitue, ajoute Poitou, une base commune pour des projets internationaux. L'objectif principal de la décision de commercialisation est ainsi atteint : faire que CATIA s'impose parmi les coopérants à des projets aéronautiques. Selon Dassault, CATIA constitue

« un standard, sinon le standard »²⁵.

Que conclure de cette genèse de CATIA ? Coopération, stratégie, savoir, conception mêlées à la stratégie commerciale (achat, vente) et à la veille technologique : *l'histoire de CATIA est au cœur de l'histoire de Dassault*. Pour emprunter les mots de Poitou,

« l'informatique fournit un certain nombre d'instruments pour aider la production, mais même et surtout à l'aide de l'ordinateur, la production, dans ses aspects cognitifs [conception] et pratiques (fabrication), demeure une affaire de politique industrielle et d'organisation active de l'entreprise pour mettre en valeur sa base technologique. Donc sur l'ensemble du cycle de conception-fabrication la CFAO bien exploitée a un double effet d'intégration et d'amplification du potentiel de l'entreprise, tout en étant aussi l'origine d'une certaine destruction d'un certain type de savoir. »

Cas d'EUCLID, ou l'industrialisation d'un instrument

Le logiciel EUCLID naît dans un laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur du CNRS. Pour notre réflexion sur les formes de coordination nous verrons que retenir de la thèse de Jean-Pierre Poitou selon laquelle la place des « *intérêts publics* », au travers des entreprises nationalisées ou proches de l'Etat

(Renault, Matra) ou des institutions (CNRS), peut être relativement préservée et que la recherche publique peut aboutir à des réussites industrielles.

La version officielle de l'histoire d'EUCLID, établie par l'entreprise Datavision qui développe ce logiciel, est la suivante :

« EUCLID est né en 1970 du besoin de modéliser des formes tridimensionnelles complexes, pour y greffer des calculs d'aérodynamique ou d'hydrodynamique. En 1980, il apparaît comme le seul système industrialisé de conception assistée par ordinateur véritablement tridimensionnelle, c'est-à-dire travaillant directement sur l'objet à concevoir... et non sur sa représentation symbolique, le dessin. Entre ces deux dates (près de soixante années-hommes de développement), l'équipe qui sous la conduite de Jean-Marc Brun a réalisé ce logiciel de plus de 70 000 instructions, est toujours restée fidèle à cette philosophie ».

Lorsqu'il est commercialisé, EUCLID est, dans les années 1970 et en première analyse, un logiciel qui permet de représenter directement les solides « *par leurs frontières* » : le terme parfois utilisé par les utilisateurs est « *logiciel surfacique* ». Ainsi, un cube est décrit par ses six faces qui sont des carrés, une boule par une sphère (comme une orange par sa pelure).

L'un des géniteurs d'EUCLID est un chercheur en dynamique des fluides, Jean-Marc Brun. Jean-Pierre Poitou décrit le contexte :

« les ordinateurs numériques supplantent les calculateurs analogiques et, de ce fait, les maquettes [sont] remplacées par des listes de nombres. L'un des enjeux est de trouver un substitut virtuel à la maquette physique mais aussi de visualiser les formes et les flux simulés, étudiés par le calcul : au départ, donc, il s'agit d'assurer des calculs mais aussi de mettre en forme, de représenter. »

²⁵ Cité par POITOU (Jean-Pierre), *op.cit.*, 1988.

Un premier décalage par rapport au dessein initial se produit du fait des demandes d'universitaires, architectes ou urbanistes qui ont des exigences en termes de représentation graphique²⁶. En effet, EUCLID est présenté au public en 1970 lors d'une réunion des utilisateurs de tables traçantes Benson. Il y suscite l'intérêt des architectes, alors qu'il est initialement prévu pour l'étude des fluides. L'une des premières réalisations étudiées grâce à lui est d'ailleurs la maison du Prince de Gramont, en Bourgogne.

Une convention est conclue entre l'ANVAR²⁷ et MICADO :

« MICADO a joué un rôle un peu subalterne mais précieux pour maintenir EUCLID pendant deux ou trois ans à une époque où l'ANVAR ne savait pas très bien qu'en faire... On a eu un contrat d'association avec l'ANVAR pour la mise en couveuse d'EUCLID qui était utilisé par quelques industriels dont Renault »²⁸.

« Devant la carence de l'industrie française », pour reprendre les termes des protagonistes, Nicolaïdis, Théron et Brun, ces derniers décident de créer leur propre société pour valoriser EUCLID. Fondée en janvier 1979, elle prend le nom de Datavision, avec un capital de cinq cents mille Francs, dont quarante pour cent reviennent à l'ANVAR en échange du droit d'exploiter EUCLID en toute propriété, sans que le CNRS n'en tire *in fine* aucun bénéfice pécuniaire. Au début, Matra est un client d'importance : sa branche militaire passe commande du logiciel. Dans une perspective analogue à celle que nous avons vue dans le cas de Dassault pour CATIA, Matra souhaite avoir la maîtrise du logiciel qu'il utilise en l'internalisant pour contrôler son développement : Datavision se voit ainsi proposer d'entrer dans le groupe Matra et prend, finalement, le nom de Matra-Datavision. En 1981, un contrat est signé avec le ministère de l'Industrie pour favoriser son expansion sur les marchés étrangers.

²⁶ « (...) la réalisation de facettes à plus de quatre côtés qui pouvaient être non convexes. », in POITOU (Jean-Pierre), *op.cit.*, 1988.

²⁷ Agence Nationale de Valorisation de la Recherche, chargée de favoriser le développement industriel de la recherche publique en France.

En France, le constructeur automobile Renault joue, en outre, un rôle clé : Poitou signale qu'en 1978, déjà, le bureau d'études « *train et suspension* » de Renault utilise EUCLID pour l'étude d'un train du modèle R14. Si l'essai est jugé satisfaisant par l'entreprise, elle préfère néanmoins utiliser ses logiciels propres, UNISURF et RA 3D. Elle se décide pourtant à chercher un instrument à l'extérieur de l'entreprise, en complément, afin de pouvoir représenter les volumes des objets et non plus les surfaces délimitant ces mêmes objets, comme dans la représentation-frontière. Renault, pour cela, met à l'essai le logiciel Computervision, CATIA et EUCLID. Ce dernier est, finalement, préféré. En outre, SURFAPT, logiciel développé par Renault pour la commande numérique comme évolution d'UNISURF, intéresse Matra-Datavision. Le logiciel EUCLID de Matra-Datavision est reconnu comme performant pour le travail en volume, ainsi que la structure de la base de données. Finalement, en avril 1984, Matra-Datavision et Renault (via sa filiale Renault-Automation) décident de réaliser pour la fin de 1985 l'intégration : une fusion d'EUCLID, d'UNISURF et de SURFAPT en un seul produit qui sera le produit de base utilisé par le groupe Renault.

1985 est le point final de l'étude que mène Poitou et sur laquelle nous nous fondons. Les idées qui précèdent correspondent à son analyse, que nous avons reprise de manière synthétique. A ce stade de ce chapitre, quel regard porter sur EUCLID, dans la perspective de notre étude sur la coordination ?

Selon Poitou encore, EUCLID est un logiciel qui s'efforce de reproduire en termes informatiques le langage usuel du dessinateur et d'associer à cette traduction des moyens de calcul. Le langage est considéré comme fondé sur la géométrie. Il procède par création et nomination d'êtres géométriques fondamentaux (cercles, cubes, etc.), par transformation géométrique de ces créations (assemblage, fusion, etc.), par contraintes de positionnement, de lieu et d'enveloppe, par intersection, etc. Selon les termes parfois

²⁸ Propos de Jean-Marc BRUN rapportés par POITOU.

utilisés par les concepteurs eux-mêmes ou les enseignants de conception, il s'agit dans ce cas d'une représentation de type « CSG »²⁹.

Selon Poitou, EUCLID doit couvrir, dans la perspective de ses géniteurs, l'ensemble des besoins du bureau d'études : dessin, calcul, simulation, archivage, méthodes, et ne pas se limiter au dessin. Il doit être « *ouvert, adaptable, perfectible* ». Il doit, enfin, être indépendant des marques d'ordinateur. Bref, il offre à l'ingénieur une « *maquette virtuelle* », comme instrument fondamental de la conception permettant de dépasser les limites imposées jusque-là par le papier, support du « *plan* », dont le nom même indique qu'il contraint le projet à s'inscrire dans deux dimensions. Il doit donc utiliser un langage commun : la géométrie est leur langage naturel.

Remarquons que contrairement à la plupart des logiciels considérés jusqu'ici, EUCLID n'a pas été conçu par des « *ouilleurs* », des spécialistes de la fabrication dont le problème est de définir des passes d'outils, i.e. la manière de guider un outil comme la fraise, par exemple. EUCLID est d'abord développé par des physiciens comme un instrument de modélisation. Il semble qu'il faille attendre 1985, date de la liaison avec SURFAPT pour être doté d'un instrument en matière d'usinage qui rende EUCLID opérationnel.

Ainsi, ce logiciel correspond, dans la perspective de ses géniteurs, à l'*idéalisation des instruments de la conception*, en ce sens qu'il s'agit de l'instrument qui permet d'embrasser l'ensemble des logiciels possibles : ce serait l'instrument par excellence, l'archétype. Poitou reprend à son compte ce point de vue. Nous l'avons évoqué à plusieurs reprises, les concepteurs affirment très souvent, lorsqu'on les interroge, que leurs pratiques ne se résument pas à de la géométrie. Aussi, la genèse d'EUCLID montre que les procédés de traduction se produisent entre plusieurs contextes d'usage. C'est ce point que nous reprendrons plus avant dans ce chapitre.

²⁹ Constructive Solid Geometry.

*Cas de la CAO au CERN, ou quelques enjeux de la division du travail*³⁰

De la naissance du CERN, dès 1954-1955³¹, à la fin des années 1970, la pratique de la conception est proche de ce que nous avons étudié dans la partie précédente (II).

Le calque est le support privilégié du concepteur. Le dessinateur dessine au crayon dur (de type « H7 ») pour commencer l'étude, afin de laisser une trace nette sur le calque. Les crayons mous sont rares, et il est difficile de gommer. Le calque est ensuite contrôlé par quelqu'un d'autre pour donner son accord le cas échéant. Le « té » (grande règle qui se cale sur les bords de la planche inclinée en bois sur laquelle le concepteur dessine) et l'équerre sont utilisées mais « *on [fait] beaucoup au doigté [à main levée,] que ce soit pour les trous, les chanfreins, etc.* ». Les concepteurs du CERN semblent travailler beaucoup avec des vues dites « *en plan* », et non dans l'espace. Selon un concepteur, « *la perspective n'est faite que lorsqu'il y a trop de traits* ». La gomme peut servir au grattage du calque mais permet aussi de limiter la diffusion de l'encre sur le papier lorsque le concepteur repasse à l'aide d'un « *graphos* » ou d'un « *rotring* », sortes de porte-encre. Les calques, ou les contre-calques plus gras (pour les distinguer, le second garde la trace des empreintes digitales) pour certaines corrections, sont utilisés pour produire les plans à l'aide du système héliographique : cela donnent les « *bleus* » que nous avons évoqués dans la partie II. Les cotes sont faites à la fin du dessin.

Ce qui est pourtant frappant est que les concepteurs interrogés établissent presque systématiquement un parallèle avec leurs expériences antérieures, dans d'autres entreprises. La point soulevé touche toujours l'organisation du travail et, plus

³⁰Je voudrais exprimer ma vive reconnaissance à Bertrand NICQUEVERT (responsable de bureau d'études dans lequel j'ai passé une semaine), ainsi qu'à Claude MENOT, Samy CHEMLI, Jacques PIER-AMORY, Louis BAISIN, Angelo MERLINO, Jacques ANDRE, Eric VAN UYTVINCK sans oublier Hilde ELATTAR. A cela s'ajoutent les échanges étroits et continuels avec Pascal LECAILLE, du CRISTO, qui y passa des nombreux mois pour les besoins de sa propre thèse.

³¹ Pour une histoire du CERN, voir HERMANN (A.), KRIGE (J.), MERSITS (U.), PESTRE (D.), *History of CERN*, Amsterdam: North Holland, 1987 (vol.1), 1990 (vol.2), 1994 (vol.3).

précisément, la division du travail qui est, comme le décrit Yves Deforge dans son étude générale³², l'un des aspects les plus importants du graphisme technique.

Les propos relevés sont assez convergents. Pour un concepteur qui a travaillé chez Creusot-Loire Industrie, dans les années 1970, il existe trois catégories au sein des bureaux d'études : le « *dessinateur* » (c'est lui qui fait la cotation), le « *dessinateur-projeteur* » et le « *projeteur* ». Il peut y avoir des grades différents, comme celui de « *projeteur principal* ». Pour reprendre les mots d'un concepteur, pour un projet donné,

« [c'est d'abord] *l'ingénieur* [qui] *définit les grandes dimensions* [de l'objet à concevoir]. *Puis, avec le [projeteur] principal, il établit les grandes lignes* [de la conception] *et les opérations* [à réaliser]. *Puis, [chaque] dessinateur d'étude [se voir confier] un sous-ensemble. Puis, il y a l'exécution et la petite étude si nécessaire. Puis les détails.* »

Un autre concepteur du CERN revient sur son passage dans une entreprise américaine implantée en Italie. Son récit ressemble au précédent : le bureau d'études est séparé en rangées où l'on trouve à chaque travée côte à côte un dessinateur (qui assure la cotation), un projeteur, un adjoint chargé du contrôle et le chef. Le contrôle consiste à vérifier chaque cote en annotant le plan avec un crayon à double mine : côté bleu pour valider, côté rouge pour invalider.

D'une certaine manière, la division du travail est moins prononcée au CERN. Pour situer encore le contexte dans lequel nous allons scruter l'introduction de la CAO, notons la remarque du concepteur le plus ancien du bureau d'études, présent pratiquement depuis la création du CERN. Il insiste en particulier sur les interactions avec la fabrication :

« *On suivait nos travaux à l'atelier [Je suis] partisan de laisser la liberté aux mécaniciens* ».

³² On se reportera à l'introduction générale pour situer plus précisément DEFORGE (Yves), *Le Graphisme Technique (son histoire et son enseignement)*, Seyssel : Champ Vallon, Coll. Milieux, 1981.

Les interactions avec l'extérieur du bureau d'études, avec la fabrication, sont tout aussi nombreuses ainsi qu'en interne, avec les concepteurs. On ne retrouve pas la segmentation des tâches :

« *ici, [au CERN,] on fait tout[e une partie du projet soi-même].* »

C'est dans ce contexte que la CAO apparaît aux débuts des années 1980. Quelques concepteurs, bientôt quatre, se mettent à travailler sur deux logiciels particuliers : EUCLID et AUTOCAD « *pour [effectuer] les détails [des pièces à concevoir]* ». Est-ce par choix ? Pour avoir interrogé deux d'entre eux, je réponds par l'affirmative.

Dans le cadre de cette brève investigation, néanmoins, il est possible de formuler l'hypothèse : *l'introduction de la CAO semble se produire au moment d'une modification en profondeur du mode d'organisation du travail*, d'une part du fait d'une diminution de la population technique —population qui se définit par différence avec les physiciens qui y effectuent leurs expériences— en raison du non renouvellement vieillissement de la pyramide des âges et du fait, d'autre part, de l'augmentation de la sous-traitance dans les activités de conception et de fabrication.

Aucun lien causal n'est facile à établir entre les deux phénomènes, d'autant que les informations empiriques de cette enquête sont insuffisantes. Néanmoins, nous pouvons conjecturer que, pour reprendre la remarque de l'un des responsables de la CAO au CERN, l'introduction de la CAO aurait favorisé l'émergence de la notion d'équipe. C'est justement parce qu'il a fallu s'approprier ce nouvel instrument au départ, mais aussi, parce que les comportements des ordinateurs sont apparemment imprévisibles, que les concepteurs sont amenés à demander à celui qui en est capable, au sein même du bureau d'études, de débloquer la situation.

Le passage à la CAO (qui se décèle par l'utilisation de l'ordinateur pour le dessin, l'archivage, etc.) ne se fait pas brutalement. Dans le bureau d'études que nous étudions, un concepteur est désigné pour travailler sur EUCLID : il s'agit de se former, de faire des essais, de répertorier ce qui est tenu pour des erreurs (les « *bugs* ») et d'assurer un

lien (une « *interface* ») entre les deux logiciels afin que l'on puisse passer de l'un à l'autre. En fait, le premier concepteur qui s'occupe de CAO revient, par périodes de trois à cinq mois, au sein de l'équipe de bureaux d'études. Petit à petit, il est rejoint par d'autres : ils seront jusqu'à quatre personnes qui travaillent à la genèse de la CAO (l'une d'entre elles se consacre plus spécifiquement à l'interface entre les deux logiciels).

Comme pour la genèse d'OI3C, les acteurs de l'introduction de la CAO au CERN cherchent notamment à construire un exemple type, « *canonique* » en ce sens qu'il sert de référence pour rédiger des manuels d'utilisation du logiciel et pour les tester lorsqu'il y a une modification³³.

« [Il s'agit d'explicitier] *toutes les différences entre les deux systèmes*
[logiciels] »

C'est à partir de ce cas qu'une note de synthèse de deux ou trois pages est rédigée. C'est donc, là encore, par une logique de décontextualisation-recontextualisation que la CAO est introduite ou, plutôt, modifie le contexte dans lequel elle va s'inscrire. En effet, l'instrument n'est pas extérieur aux acteurs, il les remet en cause :

« [la difficulté pour le testeur est que l'on se pose continuellement la question :] *qui est mauvais ? Moi ou l'ordinateur ?* ».

Il s'agit, formulé autrement, de comprendre la cohérence du logiciel :

« [l'ordinateur] *a toujours raison. S'il trouve une raison, il a toujours raison* ».

Progressivement, la conception s'effectue de plus en plus avec la CAO. La mise en pratique de cette dernière est caractérisée par un travail en équipe, entre les concepteurs et les testeurs, mais ces derniers ne possèdent pas leur expérience des ordinateurs. D'une certaine manière, la division du travail diminue quelque peu.

³³ Il est si canonique que, en 1998 lors de la fête interne pour le départ en retraite du premier des concepteurs à se mettre à la CAO, fête à laquelle j'ai pu participer, l'une de ses collègues [en fait, l'une des quatre personnes que j'évoque est une femme, mais j'ai choisi de gommer cet aspect qui n'est pas au centre de mon propos], l'une de ses collègues, donc, qui a collaboré à cette émergence lui a offert une aquarelle évoquant justement cet exemple.

L'utilisation de la CAO dans un bureau d'études ne sépare pas des classiques et des modernes, des rétrogrades et des avant-gardistes. La résistance au changement liée aux générations ne semble pas, au CERN, être une explication possible : les pionniers de la CAO, actuellement en retraite pour la plupart, étaient parmi les plus anciens du bureau d'études.

2. La CAO et la gestion de l'information

La CAO comme instrument d'intégration

« Pour moi, le métier du bureau d'études, du dessinateur est la mémoire de l'entreprise ».

Voilà ce que dit en 1998 l'un des responsables de la CAO au CERN. Quelle peut être la place de la CAO dans un bureau d'études ? De quel type de rupture procéderait la CAO par rapport aux pratiques antérieures ?

Notre propos dans ce paragraphe est d'émettre en premier lieu l'idée que la CAO n'est pas plus un instrument d'intégration que les autres formes du graphisme technique qui l'ont précédée. L'une des différences tient dans la place accordée à l'instrument dans le processus de conception.

Nous tenterons de préciser cette notion d'intégration et nous reviendrons sur la question de la représentation : est-elle l'aspect le plus fondamental pour caractériser la CAO ? peut-elle être simplement décrite comme un ensemble d'instruments et de savoirs afférents manipulant des objets en trois dimensions ?

L'un des points centraux de la thèse de Pascal Laureillard sur la CAO³⁴ est que l'instrument n'est qu'un élément du processus de conception qui ne peut à lui seul réaliser l'intégration : ce serait d'ailleurs plutôt un instrument *pour* l'intégration qu'un instrument *d'intégration*. L'intégration est ici définie principalement comme la prise en

³⁴ Voir LAUREILLARD (Pascal), «Conception intégrée dans l'usage. Mise en œuvre d'un dispositif d'intégration produit-process dans une filière de conception de pièces forgées», *Thèse de Génie Industriel*, Grenoble : INPG-UJF, CRISTO-3S, Soutenue le 12 janvier 2000.

compte de la fabrication dans la conception et désigne sous le terme d'« *intégration produit-process* » les processus visant à définir en même temps un objet et sa manière de le réaliser.

En effet, précise Laureillard, il n'existe pas à proprement parler d'instrument d'intégration. L'intégration apparaît sur le terrain, dans l'action effective de conception à travers la combinaison de plusieurs éléments, comme l'instrument mais également comme l'organisation ou le savoir. L'instrument doit alors être vu et pensé comme un élément — parmi d'autres — qui favorise l'intégration. L'instrument *pour* l'intégration est avant tout un instrument *d'aide à l'activité de conception*, i.e. d'aide à la création de savoirs, à la coopération d'actions, aux apprentissages. Cependant, jusqu'où l'instrument de conception peut-il remplir de telles missions ? La coopération ou les apprentissages ne dépendent-ils pas exclusivement de l'organisation ? L'étude menée durant plusieurs années chez RVI³⁵ montre que l'instrument peut justement favoriser la coopération ou les apprentissages notamment à travers des entités de coopération ou la possibilité de reconstruire des objets communs. Mais cette réponse est encore partielle. L'étude de Laureillard fait ressortir les deux dimensions de l'« *instrument pour l'intégration* » : une dimension technique et une dimension liée à l'activité de conception. Les instruments actuels de la conception sont efficaces dans leur dimension technique mais pauvres dans leur dimension liée à l'activité même de conception. L'enjeu est aujourd'hui d'extraire et d'analyser la logique sur laquelle s'appuient les instruments de conception pour savoir si elle concorde avec l'activité pour laquelle ils ont été conçus.

Les exemples d'OI3C et du CERN ont souligné l'importance de la mise en contexte des instruments. Nous avons vu, en fait, que c'est le double processus de contextualisation-décontextualisation qui transforme un objet en instrument. Il s'agit en première analyse d'une prise en compte de la réalité au travers d'une phase de test et de validation. Plus généralement, il est à la *croisée des acteurs, des savoirs et des autres*

³⁵ Renault Véhicules Industriels.

instruments. L'instrument est consubstantiellement lié à l'action de conception collective d'un objet à fabriquer à partir d'une *entre-définition*. En ce sens, tout instrument est intégratif.

Dans notre optique, la CAO peut donc être un instrument de la conception et de la fabrication dans la mesure où elle compose, selon les cas, avec l'identité collective (comme pour OI3C chez Schneider Electric), avec la mémoire des bâtiments (comme chez Creusot Loire Industries), avec le mode d'organisation (comme un certain degré de non-formalisme au CERN), avec la stratégie (comme pour CATIA chez Dassault), etc.

En quoi, cela dit, la CAO participe-t-elle à l'entre-définition des acteurs, des savoirs et des instruments ? Les nombreux propos des concepteurs évoquant la CAO révèlent que ces derniers sont demandeurs d'une souplesse d'utilisation, d'une prise en compte du contexte et de leurs savoirs qui relèvent moins de la *géométrie* que de la *fabrication* (la « *technologie* », dans la bouche de certains concepteurs).

A partir de ses propres investigations au CERN, Pascal Lécaille³⁶ établit que l'un des enjeux centraux des instruments, à l'époque du numérique, est de *pouvoir véhiculer des informations hétérogènes* : des notes, des remarques, des esquisses, en somme des inscriptions. Lécaille s'appuie sur l'exemple d'un séminaire sur le maquettage numérique, auquel il a assisté en 2000. L'organisateur présente aux participants une volumineuse brochure renfermant les transparents des différents intervenants :

« *On avait pensé vous donner des CD-Rom à la place (l'année dernière, c'était encore dans des gros classeurs, ce n'était pas pratique, ajoute-t-il), mais beaucoup d'entre vous aiment prendre des notes dessus...* ».

Lécaille souligne par là que le plus important est justement de pouvoir « *écrire dessus* »³⁷. En d'autres termes, les instruments informatiques devraient permettre

³⁶ Je m'inspire des travaux de Pascal LECAILLE (du CRISTO), dont la thèse en cours d'achèvement traite des modèles numériques en conception.

³⁷ En d'autres termes, « *c'est un peu comme si les chefs de projet de développement des instruments CAO dans une entreprise disaient : on avait pensé vous donner des disquettes contenant les objets 3D mais*

également aux utilisateurs d'avoir prise sur les données : il s'agit notamment de stocker, modifier et partager ces dernières. Nous verrons, la gestion est un aspect fondamental dans le développement de la CAO.

Une aide à la gestion technique

Dans le second bureau d'études que nous avons décrit dans le chapitre précédent (III.1§2), les expressions « *délai* », « *nous sommes débordés* », « *je suis à la bourre* », « *je n'ai pas le temps pour...* » sont récurrentes. Ces expressions prennent d'autant plus de relief que les concepteurs ne passent pas seulement leur temps à concevoir, tâche hautement valorisée, mais aussi à gérer des plans, des documents et surtout de nombreuses données. Le bureau d'études possède un grand nombre d'armoires à tiroirs horizontaux se mouvant sur rails, de nombreuses boîtes métalliques, des tubes renfermant des plans, des tables remplies par des papiers comportant des textes, des tableaux. Il n'est pas rare qu'une feuille A4, appelée « *nomenclature des cotes* », soit posée sur un plan A0 à côté d'une station de travail, énumérant les noms et les grandeurs dimensionnelles. De telles listes doivent être constamment mises à jour afin d'assurer la cohérence de l'ensemble des documents (textes et plans) correspondant à un produit et ce tout au long de sa vie industrielle et commerciale.

Il apparaît, lors des visites à différents sites de Schneider Electric, que les concepteurs consomment beaucoup de feuilles A4. Ils les utilisent pour dresser des tableaux à double entrée, par exemple avec le nom des cotes et le nom des conditions fonctionnelles (CF). Certaines cases sont remplies d'une croix pour signifier que la cote correspondante rentre dans la chaîne permettant de satisfaire telle ou telle condition fonctionnelle.

C'est ici qu'OI3C devrait intervenir et modifier la donne puisqu'il possède, en effet, un « *gestionnaire de cotes* », c'est-à-dire la liste complète des cotes d'un projet. C'est un

on vous a laissé les plans, parce qu'on sait que vous aimez écrire dessus ». Voir LECAILLE (Pascal) et al., «Aspects sociologiques et ergonomiques du monde virtuel», *Projet BRITE-EURAM « Digital*

support de la mémoire de la conception. Par ce biais, l'instrument est supposé intégrer la dimension économique dans le processus de conception : une cote n'est jamais respectée qu'avec une certaine approximation, « *la tolérance* », laquelle pèse d'autant plus lourdement sur les coûts de fabrication qu'une grande précision est requise.

Le gestionnaire de cotes d'OI3C est donc supposé être à la fois : un *instrument de simulation*, puisqu'il calcule les répercussions d'une modification d'une dimension (cote ou tolérance) sur d'autres dimensions ; un *instrument de visualisation* de ces modifications et de leurs incidences d'une grandeur sur l'autre ; un *instrument d'aide à la conception*, proposant aux concepteurs des éléments, des données (notamment issues des normes de fabrication ISO) leur permettant de se construire un point de vue économique.

Ces opérations mobilisent de multiples acteurs (le dessinateur n'est pas toujours celui qui opère une modification du plan, par exemple) et de nombreuses données à manipuler, recopier, transmettre et mémoriser : par exemple, un projet d'équipement électrique de Schneider Electric peut comporter jusqu'à 700 cotes incluses dans quelques 300 chaînes de cotes. Pour réussir cette « *gestion des données techniques* », les concepteurs utilisent abondamment la photocopieuse. Ils reproduisent des formats préexistants³⁸ qu'ils remplissent, complètent, commentent avec le « *critérium* » ou « *porte-mines* », instrument que le concepteur promène toujours avec lui dans la poche de la chemise.

Une fois dans les mains des utilisateurs, non plus seulement les utilisateurs-pilotes et les experts en chaînes de cotes mais les concepteurs ordinaires, OI3C devient surtout un gestionnaire de cotes, bien plus qu'un « *solveur-traducteur mathématico-graphique* » couplé à Pro/ENGINEER. De nombreuses observations et discussions avec les

Mock-Up Visualisation », Bruxelles-Grenoble : Commission de l'Union Européenne-CRISTO, 2000.

³⁸ Voir REVERDY (Thomas), « L'écriture des procédures. Le rôle des formats dans l'assurance qualité », in VINCK (Dominique) (dir.), *Ingénieurs au quotidien. Ethnographie des activités de conception et de l'innovation*, Grenoble : PUG, 1999.

utilisateurs-pilotes ont révélé que la tâche la plus délicate et la plus fastidieuse de leur point de vue est bien la gestion technique des données : leur attention se focalise sur elle, et de là s'expriment les attentes et se constituent d'éventuelles résistances.

OI3C apparaît finalement bien protéiforme : le solveur (instrument de calcul) supposé en être le cœur n'est, en fait, qu'un élément parmi d'autres. L'interface avec les autres instruments de CAO est une composante qui retient déjà plus d'attention. *Quant au gestionnaire technique conçu comme un utile adjuvant devient, à l'usage, un élément central, répondant aux problèmes rencontrés dans les pratiques quotidiennes des concepteurs.*

3. D'une intégration à une autre

Les exemples de passage à la CAO que nous avons abordés ne semblent pas correspondre à une rupture totale avec le passé, ni à une simple continuité avec les pratiques en cours. Dans ce paragraphe, nous discuterons de cette nouvelle forme d'intégration que semble être la CAO.

Nous avons établi dans la partie II de ce mémoire que le graphisme technique, avant l'introduction de la CAO —*grosso modo*, avant la Seconde guerre mondiale (même si cela dépend des contextes)—, ne se résume pas à l'aspect représentation sur un plan d'un objet dans l'espace. Il est tout autant réducteur de ne voir dans la CAO qu'un instrument permettant de travailler en trois dimensions (« *en 3D* », selon l'expression usuelle). Tout d'abord, le graphisme en deux dimensions, parfois appelé « *plan* », est toujours la seule référence contractuelle légale, entre un donneur d'ordres et un sous-traitant par exemple. En outre, nombre de concepteurs répètent que les graphismes en deux dimensions possèdent une richesse d'informations. C'est pourquoi les plans 2D conservent parfois une place importante dans l'activité de conception. Plus encore, les concepteurs se plaignent parfois de la conception même des instruments de CAO :

« ils sont conçus par des informaticiens, des matheux. Pas par des concepteurs.

Ils ne comprennent rien à notre métier ».

Dit autrement, les instruments de CAO doivent permettre aux concepteurs de prendre en compte des informations non géométriques, comme par exemple les points de départ d'usinage, les plans de frappe d'une matrice de forge comme le souligne Laureillard dans son étude à RVI.

Le passage à la CAO, au CERN, n'est pas faire table rase. Si les planches à dessins tendent à disparaître quasi complètement au milieu des années 1990, une personne continue en 1998 à en utiliser. Certains concepteurs qui travaillent sur ordinateur ont besoin de « *faire une première approche sur la planche* » pour, disent-ils, avoir une meilleure vue générale : « [j]'aime bien le format A3 », plus grand que l'écran de l'ordinateur³⁹. En outre, commencer un travail sur la feuille de papier permet de porter des annotations.

La CAO entraîne également de nombreuses impressions sur papier. Dans le bureau d'études que nous observons au CERN en 1998, dans une salle réservée où se trouvait, jusqu'à 1996, la « *tireuse de plan* [à partir des calques] », on y relève : un traceur laser capable d'imprimer en noir et blanc six pages par minute en A0, un traceur jet d'encre en couleur (capable d'imprimer environ dix pages par minute), deux imprimantes jets d'encre couleur pour papier et transparent, une imprimante laser (capable d'imprimer des feuilles A4 en recto-verso) et une imprimante laser pour papier A3. D'une certaine manière, à l'ère de la CAO, la production de supports de conception se diversifie : plans en A3 ou A0, notes de réunion de coordination en A4, etc.

En fait, ce serait plutôt la coexistence d'instruments variés qui frappe, à l'analyse. Comme nous l'avons déjà dit, dans l'entreprise Creusot-Loire Industrie, en 1998, des milliers de graphismes techniques sont conservés dans quatre-vingt quinze armoires

³⁹ Pascal BEGUIN a étudié, dans sa thèse, le champ visuel des concepteurs face au l'écran de l'ordinateur, en comparaison avec une feuille de papier. Voir BEGUIN (Pascal), «Travailler avec la C.A.O. en ingénierie industrielle : de l'individuel au collectif dans les activités avec instruments», *Thèse d'ergonomie du Conservatoire National des Arts et Métiers*, 1994.

situées en sous-sol⁴⁰. Un ancien ouvrier s'occupe de ces archives, duplique les calques sur une « *tireuse de plans* » à partir de calques dont certains ont plus d'un siècle pour les bâtiments⁴¹. En effet, l'activité même de l'entreprise —la grosse métallurgie comme le laminage par exemple— se caractérise par la durée des installations : la structure d'un laminoir ne change pas durant des dizaines d'années, quand bien même le système de pilotage peut varier.

Ce n'est pas par archaïsme que les concepteurs du bureau d'études se réfèrent à de tels plans, mais parce que ceux-ci portent des informations qui font encore sens dans leur activité actuelle. Les détruire ferait disparaître la mémoire de l'emplacement des conduites (eau, électricité, etc) ainsi que des fondations dont il faut tenir compte lors de l'installation, par exemple, d'un laminoir.

Une nouvelle forme d'intégration ?

Nous n'avons pas été exhaustifs dans ce chapitre. Des études sont encore à faire sur la matérialité du développement de ce que l'on nomme sommairement la CAO : ordinateurs, écrans, souris, imprimantes, traceurs, etc.⁴². Certains concepteurs m'ont

⁴⁰ Je remercie Michel COURBIER pour la disponibilité dont il a fait preuve lorsqu'il m'a reçu en septembre 1998 au Creusot.

⁴¹ J'ai moi-même noté l'existence d'un graphisme de ponts roulants de 1903.

⁴² Note complémentaire : j'ai l'intention ici de fournir quelques informations de première main pour que cela puisse, le cas échéant, servir de matériaux pour de futures études. Cela demanderait évidemment un travail de fond.

- « 1980-1985 : fin du balayage cavalier (cf. oscilloscope), apparition du balayage-vidéo (pixel qui s'allume) » ; « 1985-1990 : [ère du] PC-Mac. Avant, [ce sont de] gros systèmes informatiques. [Il fallait] partage[r] des ressources à distance. [Ce n'était en fait] pas le même travail. [On avait des] stations de travail, dédiées au calcul et au graphique. » ; « 1989-1990s : vision filaire. Pour la vision réaliste, il fallait [attendre] l'après-midi [que l'ordinateur ait fini de travailler]... » ; « Au départ, les logiciels sont parfois dédiés à une machine particulière ».
- Pour ce concerne le langage de programmation : il y a GL pour « *Graphic Library* » (développé par l'entreprise Silicon qui propose directement des cartes câblées, pour aller plus vite) puis OpenGL (issu d'un Consortium, pour créer un standard de fait), puis GLOptimizer. Un peu antérieur à OpenGL, il y a également Phigs pour le 3D.
- Quelques noms de marques d'ordinateur : avant le développement des stations de travail SUN (« *qui fait [sa] pub [en insistant sur ses cartes graphiques], SGI ou les ordinateurs HP (très costaud au niveau du calcul), il y a avait Appolo racheté par HP désormais. Appolo aurait disparu en 1991* ») réputé pour la qualité graphique, les DAC.

parlé par exemple de la concurrence entre la station de travail et l'ordinateur : ce n'est pas anecdotique car le choix de l'un ou l'autre entraîne dans certaines situations la mise en réseau ou non de l'instrument de travail du concepteur. L'organisation du travail, le mode de coordination ne sont pas forcément les mêmes dans l'un ou l'autre cas.

Outre ce dernier aspect, nous pourrions reprendre une hypothèse de Pascal Lécaille et d'Eric Blanco⁴³ qui s'appuient notamment sur l'expression de Jean-Marc Lebahar à propos de la « *simulation graphique* »⁴⁴ : le graphisme technique est également un support pour faire émerger une définition du problème afin que les participants se mettent d'accord sur les termes mêmes de ce problème. Le graphisme dans la conception sert également à tester une solution : il s'agit pour le concepteur d'établir des croquis sur le papier pour tester une solution rapidement et voir « *si ça tient* ».

Pour autant, nous avons souligné que c'est le versant *gestion technique* qui complète la *visualisation*, la *fabrication* et le *calcul* (autant d'aspects mis en évidence par les autres études auxquels nous avons fait référence, mais aussi par l'étude de cas du chapitre précédent). À souhait, nous n'avons pas utilisé le terme « *base de données* », fréquemment utilisé dans la bouche des concepteurs et responsables informatiques pour décrire d'une manière générique le traitement de l'information. Or, toute forme de stockage n'est pas une base de données⁴⁵.

-
- D'autres noms de marques de logiciels : DMT (utilisé dans l'enseignement en France), CAD+, IDEAS (SDRC, entreprise américaine), SRIM100 (de Cisigraph), MDTV (de Matra, repris ultérieurement dans EUCLID), CADDs (de ComputerVision), AUTOCAD.

⁴³Voir BLANCO (Eric), «L'émergence du produit dans la conception distribuée (Vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécaniques)», *Thèse en Génie Industriel Mention Génie Mécanique*, Grenoble : INPG-Laboratoires 3S-CRISTO, 15 décembre 1998.

⁴⁴ Voir LEBAHAR (Jean-Charles), *Le Dessin d'architecte, simulation graphique et réduction d'incertitude*, Roquevaire : Parenthèses, 1983.

⁴⁵ Note complémentaire : Je remercie Sylvain LAVOISY pour les précisions suivantes, qui décrivent en première analyse, quelques sortes de bases de données :

- Les bases de données relationnelles : l'organisation des données s'appuie sur les relations des données entre elles, avec des règles, des attributs, etc. (exemple : ACCESS, logiciel de Microsoft)
- Les bases de données réparties : elles sont « *administrées par un système de gestion unique dont les éléments sont distribués au sein d'un réseau [informatique]* »
- Les bases de données fichiers : les données sont stockées sous forme fichier.

L'histoire de la CAO nous aura appris qu'il faut déplacer le point de vue exprimé par l'adage récurrent dans le milieu des concepteurs d'instruments de conception : « *il faut que la conception tienne compte, —intègre— la fabrication* ». Verrouiller les solutions trop tôt, figer les options et créer ainsi des irréversibilités risquent de réduire la CAO à la seule logique géométrique et de calcul. La notion de prescription dans la partie II nous a été utile pour suggérer, au contraire, que la coordination entre la conception et la fabrication ne peut se faire que s'il se crée suffisamment de marge de manœuvre. Nous faisons l'hypothèse qu'ici aussi, l'enjeu est de ne pas être trop directif.

Finalement, les différents cas que nous avons exposés dans toute la partie III tendent à montrer la manière de définir de nouveaux instruments, de synthétiser et cristalliser des points de vue particuliers, de reconfigurer les différents pôles de notre tripode analytique (acteurs, instruments, savoirs). Ce qui semble être en jeu est l'*explication des méthodes*. L'intégration produit-process (i.e. concevoir en même temps l'objet et la manière de le réaliser) était déjà présente dans les graphismes techniques sous les formes antérieures ; la prise en compte de la fabrication ne date pas de l'émergence de la CAO. En revanche, des moyens financiers, de nouveaux acteurs apparaissent (acteurs d'interface et de projet, service de coordination, etc.) dont les missions sont d'explicitier des formes de coordination (en créant un nouvel instrument, par exemple⁴⁶).

* *
*

⁴⁶ Voir le chapitre précédent III.1.

