

CHAPITRE 1

LA CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR

« Il est prévu que l'informatique sera pour le travail intellectuel ce qu'a été le moteur pour le travail manuel »

1.1 INTRODUCTION

Il y a quelque 2000 ans, Archimède a dit : « *Donnez-moi un levier et un point d'appui et je soulèverai la terre* ». Sur cette idée repose toute la mécanisation du travail manuel. Il proposa de donner un levier à nos muscles permettant ainsi d'en multiplier la force. Il aura fallu deux millénaires pour que les connaissances et la maîtrise technologique de l'homme soient suffisamment avancées pour permettre de mettre en pratique cette idée et de la généraliser à toutes les activités ou tâches manuelles.

On a alors assisté à ce qui est convenu d'appeler la révolution industrielle qui a consisté à exploiter cette idée par la mise au point de machines de toutes sortes comme autant de «leviers» pour le travail manuel. Le tout a été accompagné d'investissements massifs dans ces machines ou équipements, résultant dans une hausse très forte de la productivité. Par exemple, on cite dans le domaine agricole des investissements de l'ordre de 70,000\$/ouvrier. Ceci a permis le passage dans le monde occidental, de sociétés agraires(moyen âge) où à toute fin pratique, l'ensemble de la population se consacrait à la production de nourriture, à une société industrielle. Avec la mécanisation, nous observons que le pourcentage de la population agricole est de 3% à 6%, selon les pays, témoignant de la hausse de la productivité découlant de cet investissement. La main-d'oeuvre ainsi disponible a été utilisée pour la production de biens manufacturés.

De façon analogue, les investissements dans le domaine industriel de l'ordre de 20,000\$/ouvrier ont également haussé la productivité de ces travailleurs. (Curieusement, on remarque que cet investissement est inférieur à celui déployé dans l'agriculture). De manière qu'aujourd'hui, le pourcentage de la population active dans la production de biens de consommation est aux environs de 40%. On note donc une assez grande marge d'amélioration dans ce secteur, et il n'est pas interdit de prédire qu'avec un investissement équivalent à celui consacré au domaine agricole, on puisse hausser la productivité de l'industrie manufacturière et réduire le pourcentage de la population affectée à ce secteur. Là encore, la main-d'oeuvre libérée est absorbée par le secteur des services dont la part de la population active est passée de 5 % au début du siècle à 35 % de nos jours. Dans ce secteur, l'investissement est encore très faible et se situe aux environs de 3000\$/travailleur.

Pour réaliser les hausses de productivité, il faut que deux conditions soient réunies. D'abord que la technologie existe et ensuite que le coût de la machine soit suffisamment abordable pour qu'il soit

1.2 *Chapitre 1*

rentable de remplacer le travailleur par des machines. Dans le cas de l'agriculture, ces conditions sont réalisées et il ne reste que des améliorations marginales possibles au niveau de la mécanisation. Les progrès viendront surtout de la biotechnologie. Dans le domaine industriel, il reste une marge de manoeuvre largement inexploitée et on assistera à des hausses de productivité (et des investissements nécessaires) lorsque la technologie permettant ces gains deviendra disponible. On songe surtout à la robotique et la fabrication assistée par ordinateur pour ce domaine d'activité.

Ces domaines sortent du cadre de cette présentation qui est plus précisément sur la conception assistée par ordinateur, activité que l'on peut cataloguer dans le secteur des services.

Dans ce secteur, les coûts sont en très grande partie reliés aux salaires, dans des proportions variant entre 70 % pour un bureau d'études d'ingénieurs à 85 % pour un hôpital. Ces chiffres en font donc une cible idéale pour remplacer la main-d'oeuvre par des machines. Or l'investissement dans ce secteur est très faible, de l'ordre de 2000\$/travailleur. La raison est très simple, jusqu'à présent, la technologie permettant de hausser la productivité dans ce secteur n'était pas disponible. Cependant, depuis quelques années, nous avons assisté au développement et à la mise en marché d'équipements essentiellement de nature informatique pour l'automatisation du travail de bureau. Ces équipements regroupés sous le vocable de bureautique s'appliquent dans ce premier assaut du domaine des services, aux tâches les plus monotones et répétitives, et qui se prêtent particulièrement bien à la mécanisation. Par exemple, la comptabilité, le traitement de texte, la mise en fiches et le classement, et certaines fonctions de gestion.

Dans le domaine du génie, sont apparus les équipements de dessin assisté par ordinateur permettant de réaliser, pour ce type de tâches, des gains de productivité appréciables. Pour ces activités essentiellement de nature cléricale, la technologie est disponible et grâce aux progrès récents, à des coûts abordables. Dès lors les applications et les bénéfices sont immédiats. Mais que peut-on espérer (ou craindre) dans le travail intellectuel, secteur de services par excellence? Est-il possible de concevoir des machines qui comme le levier permettront de multiplier la capacité du cerveau?

On songe ici à ces fonctions qui nécessitent jugement, imagination, prise de décision, analyse et intuition. On peut facilement prévoir les réactions des professionnels, forts de leur formation, se sentant à l'abri de ces vulgaires machines à qui la croyance populaire octroie les plus grandes gaffes et auxquelles on veut bien accorder le statut de puissants nigauds. Non vraiment, ce n'est pas demain qu'on pourra automatiser leur noble profession. Comment pourra-t-on doter ces machines de ces caractéristiques humaines qui les distinguent et mettent un rempart entre eux et les autres travailleurs ? Force nous est de constater un certain poids à ces arguments. Cependant, il existe des ordinateurs capables de battre aux échecs non pas un maître mais un très bon joueur, de poser des diagnostics médicaux passables dans certaines situations, d'entretenir une conversation du style rencontre-dans-une-salle-d-attente. Ces succès (réussites) indiquent tout simplement que la technologie n'est pas encore prête et que l'automatisation du travail intellectuel se fera progressivement.

On abordera d'abord les tâches répétitives (calculs), les fonctions exigeant une grande mémoire (catalogue, annuaires téléphoniques), et l'analyse et le classement (problèmes se formulant mathématiquement). Dans cette première étape l'ordinateur s'allie à l'homme, il devient une extension de la mémoire de celui-ci, et de son cerveau pour ce qui a trait à des menues tâches. Il est assez naturel que les sciences et en particulier, le génie soient les premiers domaines d'applications. Cependant, dans les domaines tels que la musique, la médecine, le droit, de tels liens sont également en voie de développement. Le pari de l'industrie occidentale est que l'informatique sera l'élément pour restructurer l'appareil productif de nos sociétés néo-industrielles caractérisées par la prédominance du secteur tertiaire.

1.2 LA CONCEPTION

La recherche d'une définition de la conception assistée par ordinateur est un exercice plutôt futile, et nous avons préféré une explication plus proche du vécu du travail de l'ingénieur. Il s'agit d'imaginer, de formuler des solutions pour remplir des fonctions bien définies à l'intérieur d'un ensemble de contraintes. Généralement, l'atteinte d'une solution (d'un design) n'est pas directe sauf pour des problèmes extrêmement simples. Le processus est plutôt itératif tel qu'illustré à la Figure 1.1. De façon simpliste, on distingue d'abord le choix d'un modèle représentant le phénomène physique du problème. Ensuite, un premier design est élaboré et, on vérifie si les contraintes sont satisfaites. On modifie le design et on répète jusqu'à ce que le design vérifie les contraintes.

On peut décrire la conception ou le design comme un processus itératif au cours duquel un objet est conçu et modifié afin qu'il puisse remplir des fonctions bien définies et se conformer à un ensemble de contraintes.

On identifie plusieurs étapes dans cette démarche:

- i) création d'un modèle de l'objet,
- ii) analyses, essais et simulation,
- iii) construction de prototypes,
- iv) modifications,
- v) réalisation de l'objet.

À quelques variantes près dans l'enchaînement de ces étapes, la méthodologie est la même que l'objet, soit un barrage, un circuit électrique, une pièce mécanique, etc.

Autres caractéristiques communes à l'ensemble des activités de conception sont les moyens ou média utilisés par le concepteur:

- i) **outils analytiques** - formules empiriques et équations issues de modèles mathématiques. Ceux-ci sont utilisés aussi bien lors de la création d'un modèle, lors de son analyse, ou des modifications;

- ii) **information** - propriétés et caractéristiques de toutes sortes, design antérieurs, etc. Ces informations auxquelles l'ingénieur fait appel sont contenues dans des manuels, dans sa propre mémoire, dans des plans, etc. Leurs formes sont variées : chiffrées, graphiques, textuelles. On a recours aux informations également à toutes les phases du processus de conception;
- iii) **communication** - l'ingénieur doit communiquer ou consacrer les résultats de son travail à l'une ou l'autre des phases. Par exemple, il lui faut communiquer la forme du modèle pour la réalisation d'un prototype, ou bien les résultats d'un calcul de contraintes pour réaliser certaines modifications. Les modes de communication sont graphiques, chiffrés ou bien textuels.

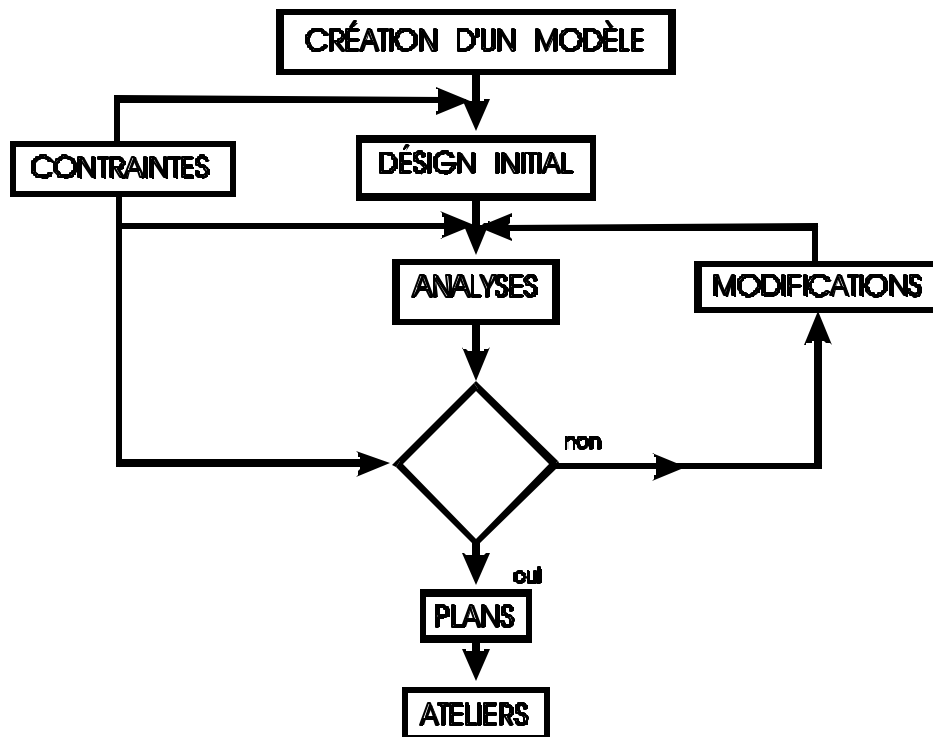


Figure 1.1 La conception.

Pris séparément, ces aspects donnent lieu à des activités quantitatives (ou non créatives) et des activités qualitatives (créatives). L'aspect créatif de l'activité de design se manifeste évidemment lors de la création d'un modèle, mais également tout au long du cheminement, c'est-à-dire dans le choix d'une méthode de calcul plutôt qu'une autre, l'appel à telle information ou l'interprétation d'un calcul, l'élaboration d'une modification à la suite d'une simulation, etc. La coordination de toutes ces activités en fonction d'un objectif et menant à une réalisation est la processus de design.

1.3 LA CONCEPTION ASSISTÉE

À mesure que l'envergure et la complexité des projets augmentent, chacune des étapes et des moyens mis en oeuvre deviennent plus élaborés et nécessitent une certaine spécialisation. Ainsi le concepteur ne peut

plus communiquer avec un technicien à l'aide d'un dessin fait rapidement à main levée au-delà du stade préliminaire. La réalisation des pièces est telle que beaucoup d'information doit être transmise de façon complète et non équivoque. Ceci a donné lieu au dessin industriel, c'est-à-dire la codification de la communication graphique. De façon semblable, on ne peut plus analyser les contraintes dans une pièce mécanique ou la réponse d'un circuit par une simple formule tirée d'un manuel. On utilise plutôt un calcul numérique par une méthode discrète tels les éléments finis. Le concepteur communique au programme de calcul la géométrie de la pièce (ou la topologie du circuit) sous une forme codifiée.

Donc à chacune des étapes, le concepteur fait appel à des "intermédiaires" qui restreignent, ralentissent et augmentent le temps et le coût d'un design. Pire encore, alors qu'il travaille avec le même objet, il le communique par différents médias à différents "intermédiaires" (dessins ou coordonnées chiffrées).

On atteint donc le point où la coordination de ces activités dépasse la capacité d'un seul cerveau, et ceci en grande partie à cause de certaines fonctions secondaires à caractère non créatif. Heureusement, ces fonctions sont de nature quantitative et peuvent être confiées à des auxiliaires (dessinateurs, programmeurs) et libérer le concepteur pour les tâches qualitatives qui sont du niveau de ses aptitudes et de sa formation. On atteint ainsi la conception assistée dont la nature n'a pas changé. Seulement certaines modalités ont été modifiées.

On peut schématiser cette structure comme à la Figure 1.2. Il est important de maintenir une bonne proportion entre les tâches créatrices et non créatrices. L'efficacité du processus global en dépend.

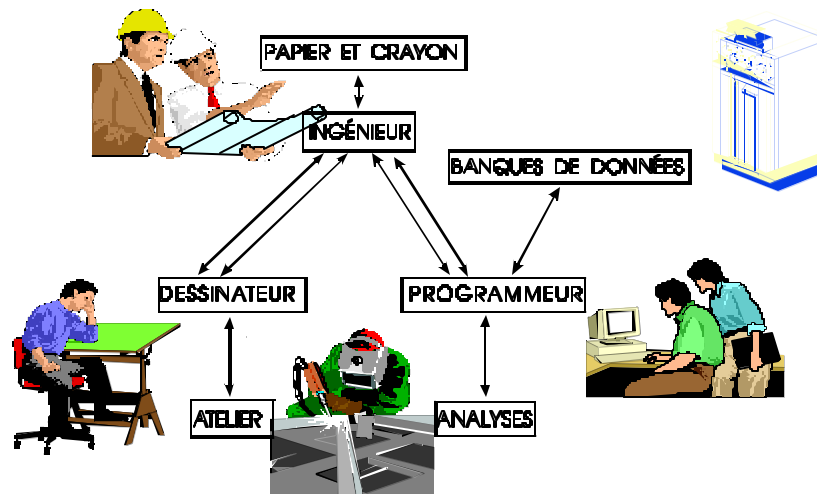


Figure 1.2 La conception assistée.

1.4 LA CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR

Les exigences technologiques donnent lieu à des projets complexes et qui résultent en un morcellement du travail. La proportion des **tâches quantitatives** par rapport aux **tâches qualitatives** augmente et ceci jusqu'au point où elles inhibent le processus de conception. Dans un contexte de marché, il est inévitable

que l'on songe à augmenter son rendement. Les exemples dans le passé industriel ne manquent pas où, par des investissements massifs dans les machines et équipements, on a haussé très substantiellement la productivité des travailleurs. L'industrie se trouve vis-à-vis ses travailleurs intellectuels dans la même situation qu'au début du siècle avec les travailleurs manuels. Le pari des entreprises est que la CAO permettra une hausse semblable de la productivité des ingénieurs.

Les progrès dans le domaine de l'électronique mettent, à la disposition de l'ingénieur, une puissance de calcul, de mémoire et de traitement énorme et ceci à bon marché. D'autre part, la création de logiciels extrêmement évolués permet d'informatiser de nombreuses tâches quantitatives du processus de conception tout en libérant l'esprit pour les tâches de jugement et décisionnelles. On obtient alors un lien symbiotique utilisant au mieux les qualités de l'homme et de l'ordinateur. La division des tâches entre l'ingénieur et la machine n'est certes pas aisée mais déjà des systèmes existants ont fait d'énormes progrès vers une telle intégration. La façon dont le cerveau humain combine des données et fait appel à des ressources en fonction de certains objectifs est complexe et loin d'être claire. La réalisation de cet objectif constitue un des domaines d'avenir et sa maîtrise sera l'équivalent de la révolution industrielle pour le travail intellectuel.

On utilise la capacité de calcul, de stockage et de traitement de l'ordinateur, alliés aux capacités de reconnaissances de formes, d'évaluation, de jugement de situations complexes (conflictuelles) et les possibilités de l'intuition de l'humain pour imaginer de nouvelles solutions.

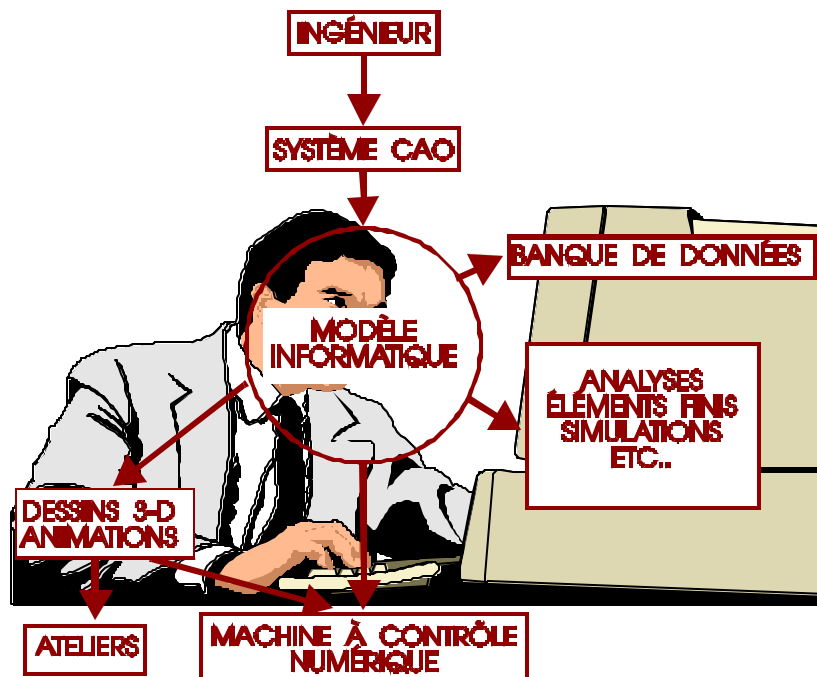


Figure 1.3 La conception assistée par ordinateur.

Les avantages sont immédiatement apparus aux industriels et on a assisté au cours des quelques dernières années à une intégration de l'informatique dans les méthodes de calcul et de conception de l'ingénieur qui peut se schématiser de la façon illustrée à la Figure 1.3.

1.5 AVANTAGES DE LA CAO

Sous l'effet de fortes pressions provenant de la compétition, de la conjoncture économique, de diverses contraintes du public et des organismes gouvernementaux pour de meilleurs produits (et à meilleur marché), l'industrie est forcée de hausser la productivité du personnel technique. Il est vite apparu qu'à l'aide de l'informatique, des économies appréciables sont possibles pour chacune des différentes phases du processus de design.

i) Création d'un modèle

À l'aide des systèmes CAO disponibles sur le marché, la création géométrique d'un objet (pièce, circuit, etc.) est grandement facilitée. On peut également étudier l'objet sous divers angles et en tirer des copies à volonté à différents niveaux de réalisme.

ii) Analyse

Les caractéristiques de l'objet, une fois créé, sont immédiatement disponibles pour des programmes d'analyse ou de simulation (éléments finis, vibrations, réponses en fréquence..) et, en retour, l'utilisateur reçoit les résultats de ces calculs sous forme graphique pour évaluer si l'objet est conforme aux contraintes.

iii) Modifications

Suite à l'analyse ou à la simulation, des modifications sont faciles et rapides à incorporer, au modèle informatique.

Avec un tel outil, il est possible d'envisager plusieurs solutions et de choisir la plus adéquate. A titre d'exemple, on cite dans l'industrie de l'automobile pour la mise au point d'un nouveau modèle.

Il est évident que la CAO n'est qu'un outil, mais un outil qui modifie l'exercice de la profession de l'ingénieur et permet de faire un meilleur travail. Par exemple, dans le domaine des structures, les programmes d'analyses sont devenus très précis et complets de manière à ce que le comportement d'éléments telles les poutres, etc., peut être analysé avec beaucoup plus de fiabilité et de détails qu'avec les formules empiriques utilisées auparavant. Il est alors envisageable d'optimiser un design par l'utilisation itérative de ces outils et de déceler des comportements qui ne seraient apparus que lors de la réalisation du prototype (ou pire, lors du produit fini).

Cette approche est en vigueur depuis plusieurs années dans les domaines de haute technologie (aviation, nucléaire, électronique ...) où les méthodes traditionnelles sont devenues désuètes. La progression de ces

1.8 *Chapitre 1*

méthodes avancées de conception est rapide et à moyen terme, elles seront utilisées dans la plupart des entreprises.