

Chapitre 1 : CAO des Machines Electriques : Etat de l'Art

1. Introduction

L'introduction de l'informatique et son utilisation dans un processus de conception remontent maintenant à un quart de siècle. Nous assistons actuellement à une véritable explosion dans ce domaine et la totalité des bureaux d'études est maintenant concernée par l'informatique de conception.

Cette explosion est due à plusieurs facteurs dont les trois principaux nous paraissent être :

- les progrès considérables de la puissance disponible des ordinateurs : en 10 ans, la puissance a été environ multipliée par 10 ;
- le nombre et la qualité des logiciels, aussi bien ceux à caractères généraux disponibles sur le marché que ceux dits de métier développés par les utilisateurs eux-mêmes ;
- la chute importante et continue des prix du matériel, c'est-à-dire ordinateurs, consoles, imprimantes, traceurs, etc.

Ces différents progrès rendent possible l'utilisation de l'informatique scientifique dans les bureaux d'études. Dans ce domaine, les activités couvertes actuellement sont variées :

- Dessin Assistée par Ordinateur (DAO) ;
- Conception Assisté par Ordinateur (CAO) ;
- calcul et optimisation des structures : élasticité, vibrations, thermique, etc. ;
- calcul d'écoulement des fluides ;

1.1. Dessin Assisté par Ordinateur

Il s'agit de réaliser une définition en deux dimensions (2D) dans laquelle on réalise un dessin traditionnel : les vues se rappellent entre elles uniquement parce que le dessinateur l'a prévu et les a construites de cette façon. Bien entendu, certaines opérations peuvent être automatisées et certaines constructions peuvent être obtenues à la suite de calculs réalisés par l'ordinateur. Cela implique qu'en DAO il est impossible de construire automatiquement une coupe, de calculer un volume ou de tracer une perspective de l'objet en cours d'étude. Cependant, les possibilités du poste de travail, l'aide d'algorithmes de plus en plus puissants et le recours à l'utilisation de programmes experts permettent de faire mieux et plus vite qu'à la planche à dessin classique, principalement dans le cas de dessins de détail ou de modifications de plans déjà réalisés en DAO.

Les outils d'analyses par ordinateur des dispositifs électrotechniques de façon générale ne permettent que de déterminer les performances des machines électriques en partant d'une conception initiale ou d'une expérience, cela implique qu'un problème de dimensionnement qui utilise des outils de CAO doit être traité obligatoirement par un processus itératif. Dans ce contexte, on cherche généralement à établir une méthodologie de conception la plus efficace possible pour les machines électriques de façon générale.

La CAO est née aux États-Unis à la fin des années 50, quand General Motors et le Massachusetts Institute of Technology (MIT) ont imaginé de dialoguer avec un ordinateur autrement qu'avec des cartes perforées, des bandes magnétiques ou des rubans de papier perforé. Ces efforts ont permis, avec d'autres travaux effectués par General Motors et IBM, la naissance de l'informatique interactive (c'est-à-dire le dialogue direct entre l'utilisateur et l'ordinateur) et du premier écran graphique, base fondamentale de tout équipement de CAO.

Les premières idées d'utilisation de ce nouvel outil ont été de s'en servir pour la définition et le contrôle de pièces de carrosserie ; il est possible de situer les débuts de cette application vers les années 65 avec, malgré tout, un caractère très exceptionnel.

Vers 1970, le processus s'est accéléré avec une première conjonction des trois facteurs précédents (puissance des ordinateurs, progrès des logiciels et des prix) permettant des investissements industriels plus importants, dont beaucoup étaient destinés à la définition des formes de carrosserie et de tôlerie. Les autres investissements concernaient la réalisation de plans classiques avec l'aide de l'ordinateur ou la réalisation de schémas électroniques. C'est aussi vers cette époque qu'un certain nombre de travaux portant sur les techniques de représentation et de manipulation de formes complexes, dans lesquelles l'objet est constitué de surfaces, ont abouti. Les services de production, et particulièrement les services d'outillage, ont commencé à s'intéresser à ces techniques (principalement ceux qui étaient concernés alors par la commande numérique). C'est ainsi que sont nés les systèmes de CFAO – Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur – qui sont maintenant très largement répandus.

Enfin, au début des années 80, les bureaux d'études mécaniques ont commencé à s'équiper de moyens CAO, là encore grâce à une avancée notable des logiciels, du matériel et des prix : en effet, il a été possible d'utiliser de nouveaux objets mathématiques, les solides, permettant l'accès aux propriétés de masse des pièces modélisées (centre de gravité, moments d'inertie, etc.) qui intéressent fortement le mécanicien.

2. Définitions et étapes de CAO

Le terme de « Conception assistée par ordinateur » ou bien la CAO est aujourd'hui utilisée à tort et à travers, ce qui lui vaut de perdre de sa signification. Pour des personnes, cette appellation couvre l'ensemble des tâches qu'un ordinateur est capable d'assumer lors du développement de produits techniques, les spécialistes utilisent plutôt le vocabulaire de «X» assistée par ordinateur (XAO), où «X» peut être remplacé par «dessin», «fabrication», «conception». D'autre part, il est naïf de croire que l'emploi des moyens de CAO n'est justifié que lors du calcul des circuits électroniques intégrés, avant de disserter sur les différentes possibilités de CAO dans le domaine des machines électriques.

Pour des gens, la conception relève de la création d'un objet par la pensée et l'imagination, un ordinateur est donc, par essence incapable de concevoir. Toutefois, dans le travail de l'ingénieur, la création s'accompagne d'un certain nombre de tâches (opérations mathématiques ou logiques) fastidieuse et répétitives. Celles-ci peuvent être accomplies par des moyens automatiques et la frontière entre le calcul

pur et la CAO est relativement subjective. Pour d'autre gens, un groupe de programmes de calcul ne mérite le nom de « logiciel de CAO » que dans la mesure où il permet d'assister le travail de l'ingénieur de manière simple, cohérente et suivie d'un bout à l'autre d'un développement.

Un outil de CAO est un moyen de simulation permettant la définition de la structure du dispositif à concevoir, son dimensionnement et la détermination de ces performances à partir de ces spécifications géométriques de construction et des conditions d'utilisations. En partant d'un *cahier des charges donné*, il permet d'explorer automatiquement l'ensemble des solutions possibles.

De sa part, un problème de CAO optimisée consiste à concevoir un dispositif du point de vue structure, dimensionnement et conditions d'utilisations, pour obtenir de meilleures performances et respecter un ensemble de *contraintes préalablement exigé* par un cahier des charges. Le choix de la structure du dispositif à concevoir est une première étape de CAO. Elle est généralement assez délicate et exige de la créativité et/ou de l'expérience. En effet, on fait appel d'habitude à l'expérience au le savoir-faire, ou on agit par similitude avec d'autres applications plus ou moins proches et déjà traitées. Pratiquement, une étude sommaire de toutes les solutions possibles doit être faite et un premier choix en fonction d'une vérification plus ou moins satisfaisantes du cahier des charges. Le choix définitif du dispositif ne se confirme qu'à la fin de la deuxième étape de CAO concernant le dimensionnement du dispositif en question. La deuxième étape de CAO est un problème de dimensionnement qui est généralement non linéaire et n'a pas une solution unique. En effet, on peut souvent trouver plusieurs conceptions d'une machine électrique, voir même une infinité, qui respectent le cahier des charges prédéfini. Donc un processus de conception peut être décomposé en deux étapes élémentaires, à savoir, le *choix de la structure* à concevoir, ensuite le *dimensionnement* de structure choisie.

2.1. Choix de la structure du dispositif

La première étape d'une méthodologie de conception, consiste à définir la structure du dispositif qui est apte à satisfaire les *exigences* dans le cahier des charges qui comprend généralement les *performances à réaliser* et les *contraintes à respecter*. Dans cette étape, il faut faire une collecte des contraintes nécessaires liées aux solutions possibles, existantes ou nouvelles et ensuite choisir la plus adaptée au cahier des charges, cette étape exige la créativité ou de l'expérience, le choix définitif du dispositif ne se confirme qu'à la fin de la deuxième étape.

2.2. Dimensionnement de la structure choisie

Une fois la structure est choisie selon la première étape, il s'agit dans cette deuxième étape de déterminer les paramètres géométriques et éventuellement physiques et de commande du dispositif, satisfaisant les performances et respectant les contraintes préalablement définies dans le cahier des charges. Dans cette étape, on utilise des modèles mathématiques très développés, permettant de relier quantitativement les paramètres descriptifs d'un système (paramètres géométriques, physiques et de commande) aux paramètres caractéristiques du dispositif (facteur de puissance, rendement, force de démarrage,... etc), notamment ceux

qui apparaissent dans le cahier des charges. Cependant, dimensionner une structure correspond à l'opération inverse c'est-à-dire, il est question de déterminer les grandeurs descriptives du dispositif pour satisfaire aux caractéristiques et aux conditions de fonctionnement prédefinies dans le cahier des charges.

L'existence d'une solution n'est pas toujours garantie, surtout si le cahier des charges est trop contraignant ou irréaliste ou si la structure choisie pour le dispositif n'est pas bien adaptée au cahier des charges. Dans un cas contraire, plusieurs solutions voire même une infinité, se présentent, ce qui correspond à un cahier des charges réalisable. Dans ce cas, il s'agit de tirer ces solutions et trier la meilleure en se basant sur un ou plusieurs critères choisis arbitrairement ou déduits naturellement du cahier des charges.

3. Nécessité et applications de CAO

De nombreux domaines d'ingénierie font appel à la CAO, nous avons essayé de faire ici un résumé des plus importants domaines d'applications de la CAO pour voir l'ampleur que prend cette dernière, avec ses outils associés (DAO, FAO.....).

- Acoustique :** Etudes sur la propagation et réflexion du bruit,...etc
- Automatique :** Essentiellement description et simulation des systèmes continus et discrets et de processus.
- Chimie :** Conception et représentation 3D de grosses molécules comme les protéines, par exemple.
- Électronique :** Conception et simulation de circuits intégrés, circuits imprimés, assemblage de cartes électroniques, antenneetc
- Hydraulique :** Modélisation et calcul des écoulements, pressions, vitesses ,.....etc
- Mécanique :** La CAO revêt beaucoup de formes dans ce domaine, la conception et le dessin de pièces mécaniques, la modélisation par la méthode des éléments finis, entre autres, pour le calcul de pressions, déplacement, forces....etc
- Mécanique des fluides :** Etude des phénomènes de pollution thermique,...etc
- Thermique :** Etudes concernant la diffusion de la chaleur, la modélisation par des méthodes numériques pour le calcul des températures,...etc
- Génie Civil :** Dessin et conception de bâtiments et de constructions diverses, calcul de résistance des matériaux, calcul de structures,etc.
- Génie électrique :** Conception des machines électriques, modélisation de phénomènes électromagnétiques par des méthodes numériques tels que la méthode des éléments finis, étude des vibrations mécaniques (phénomène couplé en mécanique et en magnétique), simulation et conception des circuits en électronique de puissance, simulation des réseaux électriques,...etc

Les industries les plus impliquées dans les domaines de la CAO sont les suivantes :

- Industrie de l'automobile :** La CAO intervient dans la fabrication des moteurs (problèmes couplés en mécanique et thermique) et de diverses pièces, jusqu'aux calculs aérodynamiques pour la forme de la voiture.

•**Industrie aéronautique** : Modélisation des turbines, conception et fabrication de pièces diverses, résistances des matériaux aux écoulements fluides,...etc

•**Industrie textile** : Conception de tissus, matière du fil, texture, couleurs, motifs, optimisation du placement et réduction des pertes, ...etc

•**Industrie nucléaire** : Calculs mécaniques et thermiques pour la conception des réacteurs nucléaires, calcul des écoulements de fluides, transferts de chaleur dans les échangeurs thermiques,...etc

•**Industrie chimique** : Essentiellement passage des expériences en laboratoire à une production industrielle, calcul de forme, infrastructure, transport de fluides, rejets de produits toxiques,...etc

•**Domaines pharmaceutiques ou médicaux**: Prothèses dentaires et toutes les prothèses en général, études de formes, résistances des matériaux,...etc

•**Industrie de la chaussure** : Passage de la forme 3D d'une chaussure au 2D pour la coupe du cuir, études de formes, modèles, minimisation de chutes,...etc

•**Industrie sidérurgique** : Conception de fours à chauffage par induction (phénomène couplé thermique et électrique),...etc

4. CAO : mise en œuvre

La mise en œuvre de CAO est, bien sûr, à base de systèmes informatiques, munis de systèmes qui sont munis d'outils spécifiques pour remplir les tâches que requièrent leurs utilisations dans le domaine de la conception.

4.1. Matériel

Le matériel de base est un ordinateur qui assure une connexion étroite avec des périphériques graphiques, que ce soient des écrans, des traceurs de courbes ou des tables de dessin. Ce matériel doit être capable de traiter des problèmes techniques nécessitant une grande capacité de traitement numérique, mais également de stocker en mémoire un grand nombre d'informations correspondant aux données de description de l'objet en cours de conception.

En outre, sa liaison avec un écran de visualisation doit être immédiate ou, au moins, très rapide pour assurer une interactivité indispensable au travail de conception. La liaison avec les unités de tracé, qui sont généralement lentes, n'a pas besoin d'être aussi rapide. Pendant longtemps, les systèmes ont fonctionnés à base de mini-ordinateur. Aujourd'hui, ce concept est remplacé par celui de *station de travail* qui comprend une capacité *mémoire importante*, une capacité de traitement souvent très grande et un écran en relation directe avec la mémoire. Une telle station de travail est parfaitement adaptée au travail en mode graphique interactif et devient donc l'outil de base idéal de tout système de CAO.

4.2. Logiciel

Dans un système de CAO, le logiciel est l'élément fondamental qui va permettre de conférer au système les qualités de fonctionnement, de convivialité, de fiabilité qui en feront le partenaire efficace du concepteur. Le logiciel d'un système de CAO peut être décomposé en trois éléments essentiels mais dont

les fonctions sont bien distinctes : le logiciel de base, le logiciel finalisé et les logiciels d'applications. Ces derniers constituent la couche la plus externe du système et sont spécifiques à chaque famille d'applications (mécanique, électronique, électrotechnique,...etc).

Le logiciel de base est consacré à la gestion et à l'optimisation du fonctionnement interne de l'ordinateur et de ses périphériques. Cette partie du logiciel est le système d'exploitation qui accomplit les tâches qui permettent au programme de l'utilisateur d'être exécuté fidèlement en gérant de manière optimale les ressources de l'ordinateur, de la station de travail ou du réseau.

Par contre le logiciel finalisé est centré sur les aspects fondamentaux de l'interaction entre le concepteur et son projet et gère les aspects généraux de structuration des informations et de gestion des algorithmes propres à tous les systèmes de CAO. Il est formé de tous les outils qui permettent, à partir du logiciel de base, de traiter toutes les applications relatives à l'objet en cours de conception.

5. Outils de CAO

Plusieurs outils de CAO ont été développés pour réaliser les deux étapes de CAO des machines électriques. On va décrire brièvement, le principe de base de ces outils et énumérer leurs différents types, que ce soit ceux concernant le choix de la structure à concevoir, ou ceux du dimensionnement de la structure choisie.

5.1. Outils d'aide au choix de la structure du dispositif à concevoir

Cette étape est difficile à programmer car il s'agit de faire une collecte de connaissance et d'intégrer l'expérience, le savoir faire et la créativité.

On peut simplifier cette étape, en mettant en place une base de donnée qui regroupe l'ensemble des solutions qui existent pour des problèmes typiques et leurs caractéristiques respectives. Une comparaison des performances et des caractéristiques requises par le cahier des charges avec celles de la base de données permet de choisir systématiquement la structure la plus adaptée du dispositif à concevoir.

Des outils performants se basant sur l'intelligence artificielle sont naturellement les plus adaptés à ces types de tâches.

5.2. Outils de dimensionnement de la structure du dispositif à concevoir

Dans tous les domaines de la science, les ingénieurs sont amenés à concevoir de nouveaux dispositifs. Cette conception, au début manuelle est basée sur l'expérience et la pratique et elle devient de plus en plus automatisée grâce à l'arrivée des ordinateurs. En effet, l'introduction de modèles analytiques basés sur les mathématiques est une première phase pour le dimensionnement, ensuite l'utilisation des modèles numériques autorise les concepteurs à dimensionner par modifications successives les dispositifs et permet de réaliser des modèles de plus en plus performants.