

C.A.O ET GENIE CIVIL

Par

Mouloud BELACHIA

Institut de Génie Civil, Centre Universitaire de Guelma

Résumé

L'utilisation de systèmes de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) dans le domaine du génie civil en général, et du bâtiment en particulier, commence à se généraliser depuis quelques années. L'aptitude qu'offrent ces systèmes à assumer des fonctions aussi diverses que gérer des données (fonction SGBD), visualiser des objets complexes (fonction graphique) et évaluer techniquement et économiquement des solutions (fonction calcul) a favorisé la pénétration de la CAO dans ce secteur, pourtant caractérisé par une activité de conception éclatée entre différents acteurs et dans le temps.

Mots clés : CAO • SGBD • modelers graphiques • bâtiment • génie civil.

1 INTRODUCTION

1.1 Rappel historique

Dès le milieu des années 60, des chercheurs, d'abord anglo-saxons, se posèrent le problème de l'application de l'informatique à la conception architecturale, alors que la conception assistée par ordinateur (CAO) commençait à se développer dans quelques secteurs qui allaient devenir les premiers champs d'application de cette nouvelle discipline informatique (électronique, mécanique).

Les premiers travaux furent principalement axés sur la méthodologie du projet et s'orientèrent fréquemment vers l'automatisation de certaines phases du processus de conception. Ainsi, des programmes d'allocation spatiale, de génération de formes, etc., furent développés. Ces recherches, qui s'appuyaient la plupart du temps sur de gros systèmes matériels, ressemblaient davantage d'une approche théorique et universitaire que d'une vision réaliste des pratiques professionnelles.

Parallèlement, s'engageaient des développements, le plus souvent sur des systèmes lourds également, de systèmes destinés à automatiser certaines tâches qu'on situe généralement à la marge de la conception proprement dite : calcul de structures, calculs techniques divers, tracé de plans, visualisation tridimensionnelle, etc.

Peut-être peut-on retrouver dans ces deux directions de recherche distinctes les influences respectives des secteurs "pilotes" d'application de la CAO : la conception de circuits électroniques dans le premier cas, avec une modélisation figée du processus de conception et une recherche de procédures automatisées ; la conception en mécanique dans le deuxième cas, avec la prédominance du calcul technique et de la notion d'aide à la conception ?

La première voie (allocation spatiale, etc.) semblait avoir abouti à une impasse, les équipes de recherche se sont orientées à la fin des années 70 suivant deux directions : les généraux de CAO, le domaine d'application devenant provisoirement secondaire et, à l'opposé, la voie dite des utilitaires s'inspirant des tentatives engagées par les praticiens "pionniers" en les systématisant [1]. Une telle rupture a sans doute eu des effets relativement négatifs sur la recherche, les premières équipes se déconnectant de toute réflexion sur les pratiques spécifiques au bâtiment (au point que certaines se sont même "recyclées" vers d'autres secteurs d'application de la CAO), les autres ayant finalement souvent perdu leurs acquis en matière de méthodologie informatique et de CAO.

Au début des années 80, les quelques équipes qui se maintenaient sur le sujet ont tenté d'associer les différentes démarches. Le développement des techniques informatiques, qui mettait à la portée des chercheurs et des professionnels des puissances de calcul et des capacités inconcevables quelques années auparavant, et les progrès en matière de logiciel permettaient enfin de réconcilier autour d'un même objectif

l'approche pragmatique et l'approche théorique. Un certain consensus pouvait s'établir sur ce que pourrait être à terme un système de CAO pour l'architecture : système construit autour d'une structure de données apte à supporter une définition du bâtiment à concevoir évoluant au cours du processus, disposant d'applications indépendantes adaptées aux différents besoins des concepteurs (évaluations, visualisation, calculs techniques, production de documents - plans et pièces écrites, etc.), avec une bonne maîtrise des interactions *homme - machine* (aide à la saisie de données, à la création de données, aux modifications, etc.).

1.2 Contexte

Comme dans bien d'autres secteurs de pointe, l'industrie de la construction dans notre pays est appelée à connaître une évolution très marquée au cours des années prochaines. L'utilisation de l'ordinateur mène tout droit au virage technologique.

Le constructeur pourra modifier à loisir les plans des maisons usinées, celles en "Kit prêt-à-monter" ou encore des traditionnelles. La conception assistée par ordinateur est devenue un outil de travail au même titre que l'indispensable marteau ou tournevis.

En fait, de plus en plus, les ingénieurs de génie civil cherchent à informatiser le processus entier de conception des ouvrages de génie civil.

L'architecte manifeste un intérêt croissant à informatiser les tâches quotidiennes de mise en œuvre de plans architecturaux et d'apporter les modifications nécessaires par l'intermédiaire de l'outil informatique. Les plus importants bureaux d'ingénieurs ont déjà intégré l'utilisation des systèmes de CAO.

La conception assistée par ordinateur commence à se généraliser dans le domaine du génie civil. Les problèmes à résoudre sont bien sûr différents et l'adaptation d'outils existants, comme le développement d'outils spécifiques, ne vont pas sans poser de nombreux problèmes dus à ces différences.

2 SPECIFICATION DE LA CAO

2.1 Qu'est ce que la CAO ?

Définition de la conception d'un ouvrage : Concevoir un ouvrage, c'est traduire les vœux d'un maître d'ouvrage sous la forme d'une entité fiable et réalisable. Ce passage entre le "flou" exprimé par le "client" et le probable de la réalisation se matérialise par le choix [2] :

- des formes (approche architecturale des enveloppes de l'ouvrage),
- des solutions technologiques (matériaux, géométrie, structure, isolation, équipement, etc.),

- des méthodes de construction (matériels, mises en œuvre, organisation du chantier, etc.).

Ces choix sont affinés à l'aide de simulations qui permettent d'envisager et de comparer plusieurs solutions. Ces simulations peuvent être, par exemple :

- visuelles (perspectives de l'architecte qui veut vérifier ses choix et montrer au client ce que sera l'ouvrage),
- mécaniques (calculs de structure de bureau d'études qui permettent de prévoir la résistance et la stabilité de l'ouvrage),
- thermiques (calculs des coefficients thermiques caractéristiques de la construction qui conduisent au bilan thermique de l'enveloppe),
- acoustiques (étude du comportement acoustique de l'ouvrage en vue d'une éventuelle correction ou isolation phonique),
- économiques (évaluation de l'impact des coûts unitaires sur le prix prévisionnel de l'ouvrage, calcul des coûts globaux).

Il apparaît donc que la notion de conception est indissociable de celle de simulation, qui permet d'aboutir à une solution compatible tant avec la destination finale de l'ouvrage qu'avec les règles de l'art de la construction.

G.A Lang propose la définition suivante de la CAO : *"La conception assistée par ordinateur se préoccupe de la création des données qui décrivent l'objet à concevoir, de la manipulation de ces données, afin d'aboutir à une forme achevée de la conception et de la génération des informations nécessaires à la fabrication de cet objet à partir des données de description stockées dans l'ordinateur"*.

2.2 Apports de l'assistance

Avant l'apparition des outils de CAO, les différentes simulations dont nous venons de parler, quand elles étaient menées, étaient faites "à la main", ce qui prenait beaucoup de temps et interdisait de ce fait l'examen de nombreuses variantes (chaque variante étant synonyme de temps d'étude supplémentaire).

L'ordinateur, du fait de sa puissance (capacité à traiter un grand nombre d'opérations en un temps court) et de l'infailibilité de sa mémoire, permet de décharger l'utilisateur des tâches fastidieuses. Le gain de productivité dans les processus de conception se traduit par [2] :

- une plus grande précision dans la structuration des éléments du projet (les éditeurs graphiques possèdent des outils qui permettent de limiter, voir d'éviter les imprécisions ou les incohérences de l'étude),
- une bonne maîtrise des évolutions successives du projet (prise en compte instantanée et globale des

- modifications, cohérence dans le suivi du projet, etc.),
- la récupération automatique d'informations relatives au projet (métré, quantitatifs, nomenclatures, etc.),
- une excellente qualité des sorties (plans ou documents textuels), toujours actualisés et d'une grande précision.

Ces quatre points justifient amplement l'intérêt des outils de CAO, mais il faut faire deux remarques importantes.

Tout d'abord, il serait erroné de croire qu'un outil de CAO "fait gagner du temps" dans l'introduction des éléments du projet. Les gains de temps se feront sentir de façon très sensible aux stades des sorties d'une part et des modifications du projet d'autre part.

Ensuite, il est capital de ne pas perdre de vue que l'ordinateur ne "concevra" jamais de l'art à la place de l'homme (il s'agit bien de conception assistée par ordinateur et non de conception par ordinateur), même si l'on envisage l'introduction des systèmes experts qui sont encore au stade de devenir une réalité industrielle courante mais qui restent le plus souvent du domaine de la recherche expérimentale (le système expert ne fait qu'exploiter un "savoir-faire" du concepteur, ce qui est beaucoup mais insuffisant pour pouvoir parler d'intelligence artificielle).

2.3 Comparaison des processus de conception avec et sans l'informatique

Si l'on schématise les relations des différents intervenants dans le processus-type de conception d'un ouvrage (Figure 1), on constate la multiplicité des documents qui transitent entre ces partenaires de l'acte de construire [2].

On comprend aisément que la moindre modification

doit être répercutée sur l'ensemble des pièces définissant le projet, ce qui est loin d'être une mince affaire !

La seconde figure (Figure 2) montre comment une utilisation rationnelle de l'informatique permet de garantir la cohérence de l'ensemble du projet [3], les différents partenaires "puisant" les informations dans une base unique, donc de ce fait constamment "à jour". Il s'agit là, bien entendu, d'une vision idéale du projet informatisé, mais des recherches ont déjà montrées sa faisabilité.

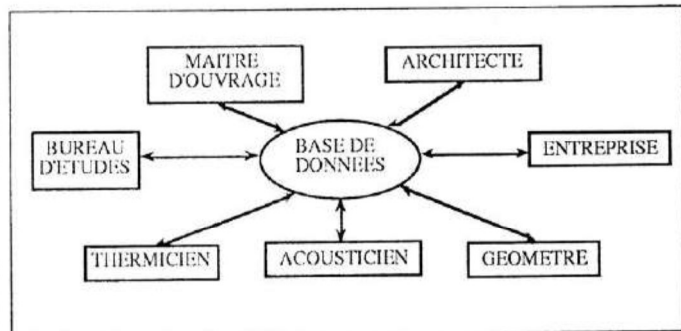


Figure 2 : Processus de conception informatisée d'un ouvrage.

Cette structuration du projet implique bien évidemment que les différents intervenants parlent le même langage, tant du point de vue de leur métier (les différentes normalisations sont là pour les aider) que de celui des outils informatiques qu'ils utilisent.

3 LES ÉTAPES D'ÉLABORATION D'UN SYSTÈME DE CAO

Un système de CAO doit pouvoir :

- prendre le relais de tout un ensemble de tâches de manipulation de l'information,
- intégrer des programmes spécialisés sans reconstruire le système,
- s'adapter aux diverses manières de travail du concepteur
- repérer, sinon proposer, des éléments de solution

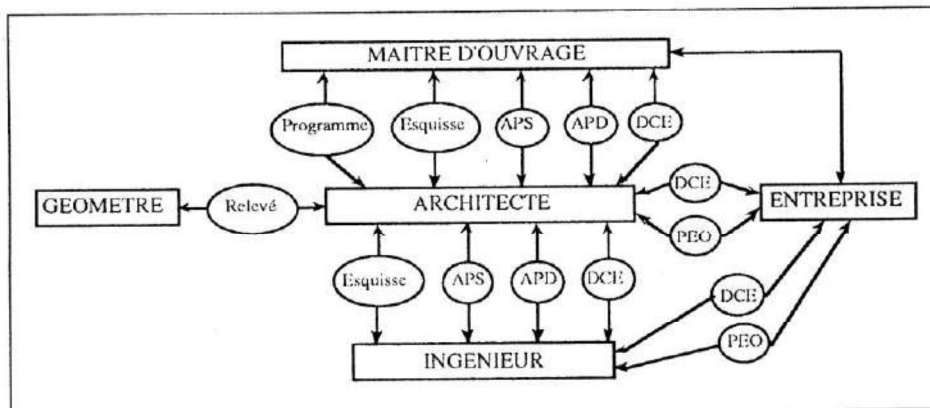


Figure 1 : Processus traditionnel de conception d'un ouvrage.

susceptibles d'amélioration,

- apporter au concepteur un ensemble d'évaluation ou de constats relatifs à la cohérence de son projet [3].

3.1 Choix d'un SGBD

Il s'agit du développement d'un prototype de système de CAO pour l'ingénierie bâtiment sur la base d'une modélisation bien spécifiée. Cette modélisation doit pouvoir passer par le choix d'un système de gestion de base de données.

Une base de donnée est un ensemble d'informations structurées et organisées sous forme de fichiers, ayant pour but de faciliter l'accès à une information ou à un groupe d'informations spécifiques. Un système de gestion de base de données (SGBD) est constitué par l'ensemble des programmes permettant la manipulation et la maintenance de la base.

Agissant comme une interface entre l'utilisateur et les données, le SGBD a pour fonctions de regrouper des informations hétérogènes, issues de différentes bases de données, de créer une description de ces données et de faire évoluer celles-ci en fonction des besoins et des applications [4] : autoriser l'utilisateur de ces données par extraction, modification, suppression, conformément à cette description ; rechercher, afficher ou éditer une information de différentes manières et sous différentes formes (tableaux, graphiques, rapports, étiquettes, etc), effectuer automatiquement des calculs sur les données numériques de la base, incorporer les résultats obtenus dans des rapports imprimés ou les stocker dans la base pour une utilisation ultérieure ; veiller à l'intégrité de la base et la protéger contre tout incident. Bref, gérer toute une "mémoire", celle d'une entreprise par exemple.

Comparables à des langages de programmation très évolués, avec leurs macro-commandes, ces logiciels, apparus depuis une vingtaine d'années, ne sont disponibles sur micro-ordinateurs que depuis une dizaine d'années, leur fonctionnalité restait limitée.

Les SGBD ne sont pas dédiés à une application spécifique ou à un type d'application. Ils sont caractérisés par la manière dont ils structurent les données suivant un modèle. Ils se répartissent en quatre catégories.

❑ Les SGBD hiérarchiques : les données sont représentées sous forme de structures arborescentes (Figure 3), composées d'une hiérarchie d'enregistrement de données.

❑ Les SGBD réseaux (également appelés Codasyt) : les données sont représentées sous forme d'enregistrements liés les uns aux autres (Figure

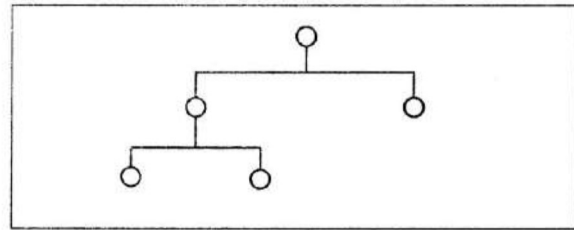


Figure 3 : Modèle hiérarchique.

4) et constituant des ensembles de données en intersection.

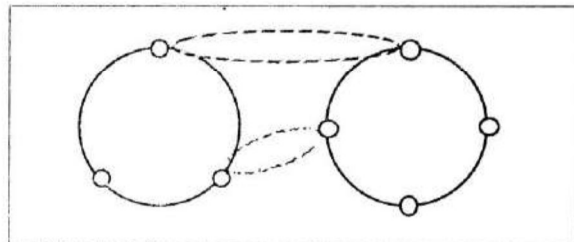


Figure 4 : Modèle en réseau.

❑ Les SGBD relationnels : ils permettent la gestion de manière dynamique les liens entre fichiers (Figure 5). Intégrant souvent des boîtes à outils très sophistiquées, notamment des langages de quatrième génération, pour faciliter le développement d'applications, les SGBD relationnels jouent en quelque sorte le rôle d'atelier de génie logiciel.



Figure 5 : Modèle relationnel

❑ Les SGBD orientés objet : c'est une nouvelle génération de SGBD, qui introduit de nouveaux concepts tels que les objets et les connaissances, et de nouveaux types de relation et modes de raisonnement (logique, déductif). L'approche "objet", comme celle adoptée par les langages orientés objet de type smalltalk, C++, Lisp, etc., apportent des solutions à la gestion des entités plus complexes, par l'intermédiaire de la représentation dans ces systèmes des objets dotés de caractéristiques géométriques, physiques, mécaniques, etc.

3.2 Choix d'un modelleur graphique

La qualité essentielle d'un outil de CAO digne de ce nom, est qu'il soit capable d'associer aux informations graphiques, qui constituent les données du projet, des informations textuelles qui se rapportent aux éléments graphiques.

En effet, actuellement le dessin à l'ordinateur nécessite une structure de travail très rigoureuse, systématique et méthodique. L'utilisateur doit pouvoir compter sur un répertoire complet de symboles (appareils sanitaires, ameublement, éclairage et électricité) et de détails normalisés. Pour permettre la réalisation de tels outils, nous avons besoin d'un modelleur graphique.

Le modelleur graphique est un outil permettant de structurer des informations graphiques (ainsi que certaines informations complémentaires, alphanumériques en général) créées ou manipulées selon un schéma conceptuel prédéfini ou défini par l'utilisateur à des fins d'utilisation externe. Il permet la gestion d'entités complexes à partir et par l'intermédiaire de leur représentation graphique.

En simplifiant, on peut classer les modelleurs graphiques en deux catégories [6] :

- Les modelleurs graphiques de bas niveau qui se limitent strictement à la gestion des entités et de leur représentation graphique, c'est-à-dire associer aux entités graphiques manipulées une signification pouvant être interprétée par des logiciels de traitement.
- Les modelleurs graphiques intelligents prenant en compte une part importante du comportement du modèle notamment pour ce qui concerne les problèmes de cohérence, de validation ou de faisabilité technique élémentaire qui peuvent (ou doivent) être réglés dès la phase de saisie.

Autour du modelleur graphique retenu, nous pouvons développer une surcouche dans un langage approprié pour rajouter les fonctionnalités nécessaires et indispensable à son exploitation au sein du système.

3.3 Formulation du schéma conceptuel

Le schéma conceptuel fournit une représentation de la réalité vue dans l'ensemble.

Il correspond à la synthèse des différentes interprétations de la réalité, même si aucun utilisateur n'a effectivement cette vision complète.

En définitif, un schéma conceptuel doit comporter trois parties essentielles :

- la définition des ensembles de référence (les domaines),
- la définition des relations,
- la définition des contraintes d'intégrité.

A titre d'exemple, le schéma conceptuel de l'entité <Etag> : {Base : <Etag>}

- nom :
 - type : chaîne
- surface :
 - type : réel

- implicite
- si besoin /* calcul de la surface de plancher */

Liste-cellule :

- implicite
- liste (<cellule>)
- si besoin/* recherche des pièces de l'étage */
- relie-par :
 - mode : relation-faible
 - type : <circulation verticale>

Le schéma conceptuel peut être subdiviser en deux niveaux :

- Un schéma conceptuel global commun à tous les intervenants et les différentes disciplines relatives à la description du projet bâtiment.
- Un schéma conceptuel spécialisé propre à chaque discipline et contenant la description des objets de chaque spécialiste.

Le partitionnement du schéma en fonction de la spécificité de chaque technique ne satisfait pas pleinement la notion de vision multitechnique. En effet, un certain nombre d'objets communs à tous les intervenants doivent être abordés avec un point de vue propre à chaque concepteur. Ainsi le comportement de ces objets devra être adapté au concepteur du moment. Cet aspect polymorphe des objets leur permet de répondre avec un "vocabulaire" compréhensible par l'interlocuteur.

Le schéma conceptuel représentant la structuration des objets décrivant le projet, se doit d'être toujours adapté au niveau de définition du bâtiment. Ainsi, il faut faire évoluer ce schéma avec cette définition au cours du processus de conception. Mais le plus important, dans ce sens, consiste à proposer une évolution des objets de manière non prédéterminée. En effet, le mode de travail des concepteurs, la spécificité du projet font que le cycle de transformation de la structure des objets n'est pas prédéfini.

3.4 Constitution de la base d'algorithmes techniques

Le concepteur doit disposer d'une palette d'outils d'évaluation technique adaptée à une définition évolutive du bâtiment [5].

Ces études techniques portent sur plusieurs composantes principales (structure, thermique, acoustique, fondation, économie, analyse de la qualité, gestion de la cohérence et faisabilité, etc.), exploitables à chaque stade du processus de conception, allant de l'esquisse jusqu'aux plans d'exécution de l'ouvrage.

Pour chaque discipline ou technique traitée, nous définissons des niveaux de conception en fonction de l'état de définition des ouvrages associés, des performances à réaliser et des traitements à effectuer. Le nombre de niveau de conception dépend de chaque

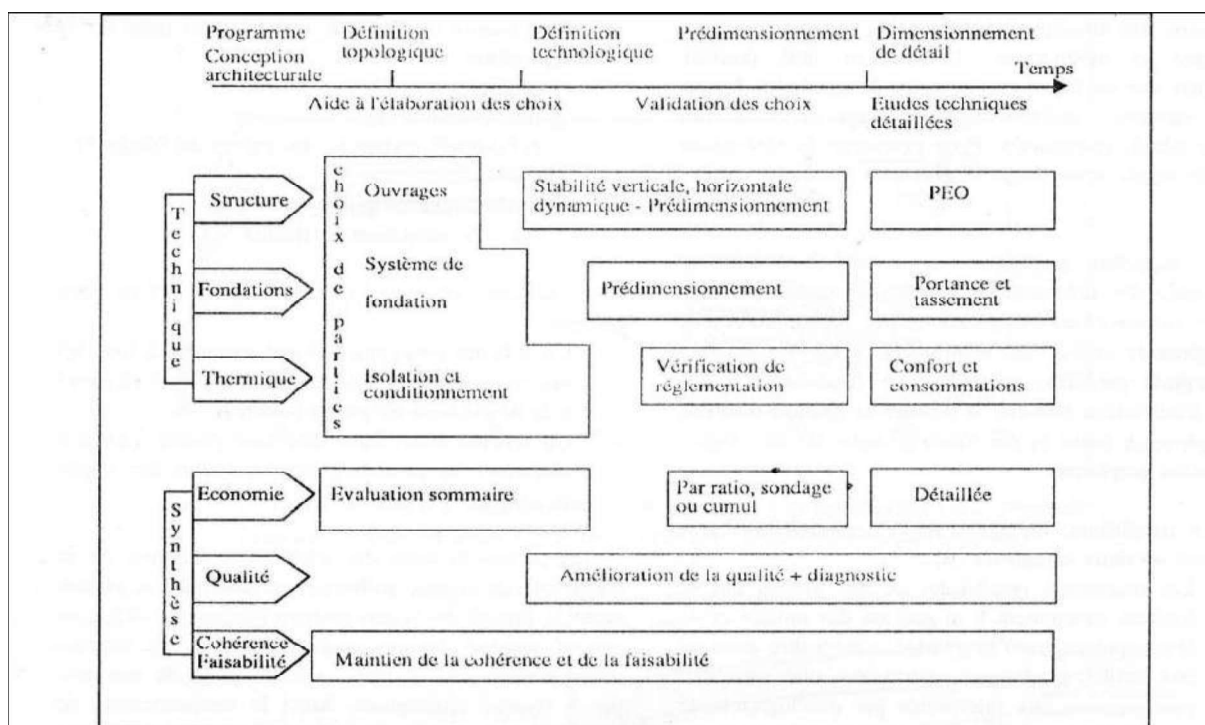


Figure 6 : Processus de conception et traitements.

composante. Notons que la connaissance manipulée (calcul, règle de l'art, savoir-faire, etc.) évolue à travers les niveaux de conception.

A cette organisation générale (Figure 6) qui reste globalement fidèle à la façon de procéder des concepteurs, correspond des modules algorithmiques chargés d'effectuer les traitements spécifiques à chaque moment du processus de conception.

4 LES LOGICIELS DE CAO

4.1 Outils intégrés ou interfacés ?

L'offre en matière de CAO tend à se diversifier et les tendances actuelles conduisent à distinguer :

- les logiciels intégrés (Figure 7) constitués d'une

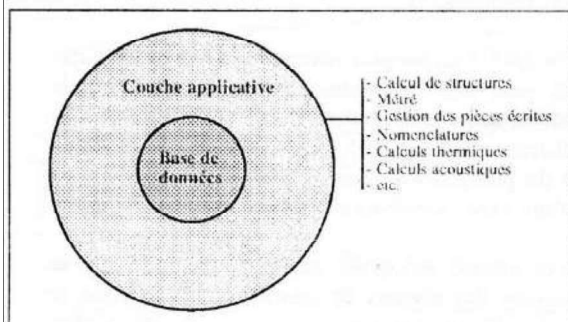
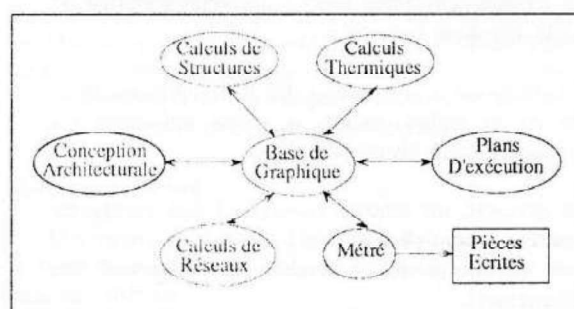


Figure 7 : Structure type d'un logiciel "intégré".

base de données (informations graphiques ou textuelles) qui communique avec une couche applicative (dans laquelle on retrouve les programmes ou applications qui permettent de faire les simulations sur la maquette définie dans la base de données).

- les logiciels "interfacés" (Figure 8), dont la base graphique peut communiquer avec d'autres logiciels ou développements qui prennent en charge les simulations nécessaires à l'élaboration du projet.



* Figure 8 : Structure types des logiciels "interfacés".

Bien sûr, la première classe de logiciels est beaucoup plus séduisante : unicité de la base graphique, transparence des liaisons entre base de données et applicatifs, etc., mais c'est aussi la plus lourde à mettre en œuvre (logiciels très importants, solutions matérielles de haute gamme, etc.).

Quant à la seconde, si elle présente l'intérêt de la "légèreté" et la souplesse, elle implique que les différents logiciels sachent communiquer entre eux, ce qui pose le problème crucial des interfaces.

Quelle que soit la solution envisagée, il est fondamental d'insister sur l'importance de la base graphique : certains concepteurs de solutions de CAO considèrent que le graphisme est secondaire, alors qu'il est porteur de toutes les informations du projet.

4.2 Les grandes catégories de logiciels de CAO

Il existe trois grandes familles de logiciels :

- les logiciels 2D, qui ne permettent que le travail dans un plan (pas de possibilité de caractériser des points dans l'espace XYZ usuel) ;
- les logiciels 2D et DEMI, associent une "hauteur d'objet" aux objets dessinés en plan. Les objets représentables en trois dimensions sont donc limités (seuls peuvent être générés ceux qui ont une hauteur d'objet constante : cylindres à base quelconque et parallélépipèdes) ;
- les logiciels 3D, qui permettent de spécifier des points et de manipuler des entités dans l'espace XYZ usuel.

Signalons qu'il est tout à fait légitime de parler de logiciel de CAO en 2D (exemple : plans d'implantation électrique, plans d'installation de transport de fluide, etc.) contrairement à ce que pensent ceux qui affirment que les logiciels 2D ne sont que des outils de DAO (qu'ils nomment communément "planche à dessin électrique").

Notons également que les logiciels "2D et DEMI" sont des 3D très sommaires (à considérer plutôt comme une étape pour accéder au "vrai" 3D) mais qui peuvent rendre des services appréciables dès lors que l'on ne manipule que des objets simples.

5 CONCLUSION

Les quelques idées générales que nous venons d'évoquer montrent la nécessité de l'utilisation de véritables systèmes de CAO dans le génie civil. Les contraintes liées à la crise qui affectent le bâtiment dans notre pays imposent, encore plus qu'auparavant, que soient prises en compte de manière simultanée et le plus en amont possible les aspects économique,

technique et qualitatif d'une opération d'étude d'un projet. Cette nécessité se traduit par une tendance à la rationalisation du processus d'ensemble conception - réalisation et par la réalisation d'outils méthodiques propres à chaque filière.

Il est temps d'envisager l'introduction de la CAO dans les enseignements des ingénieurs des secteurs bâtiment et travaux publics. Il faut souligner qu'à cette date, la CAO est très loin d'être à la portée des étudiants-ingénieurs. Mais il est possible de restituer cette technologie dans le programme : il s'agit, compte tenu du profil de nos diplômés, de leur donner des notions de CAO/DAO (et non pas d'en faire des "spécialistes") dans la mesure où la vocation de la majorité des futurs ingénieurs est essentiellement d'être des hommes de terrain et donc des utilisateurs de documents issus de la CAO. Nous restons donc à l'écoute de ceux qui œuvrent pour la mise au point ou pour la promotion de ces nouvelles techniques dans l'enseignement des ingénieurs 6

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Chabert : *"Le développement de la C.A.O. dans le bâtiment - technologies innovantes dans le bâtiment"*, 1983.
- [2] D. Legendre : *"La CAO pour le BTP"*. Informatique appliquée, 1977.
- [3] M. Belachia : *"Maintenance de la cohérence et faisabilité des projets dans un système de CAO bâtiment"*. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 1992.
- [4] A. Messabhia : *"Aide à la définition de la technologie et la modélisation des ouvrages de structure dans un système de CAO bâtiment"*. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 1989.
- [5] M. Belachia, J. Dufau & G. Sauce : *"Integrating controls of project coherence and feasibility into a building CAD system"*. EuropIA'93 Delft, Belgique, Juin 1993.
- [6] M. Mommessin, G. Sauce & G. Gram : *"Un modèleleur graphique orienté objet : Actes de la 11^{ème} conférence internationale"*. Micad92, Paris, Hermès, 11-14 Février 1992.