

UNE APPROCHE GLOBALE DE LA CAO DANS LE DOMAINE MÉCANIQUE

par P. GIRE

*Ancien Élève de l'École Polytechnique,
Ingénieur du Cabinet Arthur Andersen et Cie*

INTRODUCTION

Jusqu'à ces dernières années, l'utilisation de la Conception Assistée par Ordinateur (C.A.O.) dans le domaine mécanique a été réservée aux grandes entreprises plus particulièrement des secteurs aéronautiques et automobiles. L'objet de la C.A.O. était soit de réaliser une fonction ou un calcul que seul le recours à l'informatique permettait d'envisager, soit d'améliorer la rentabilité d'une opération très ponctuelle du processus de conception. Cette utilisation donnait lieu à des applications spécifiques telles que :

- la modélisation de surfaces gauches (voilures aéronautiques ou carrosseries automobiles),
- la simulation de mécanismes (trains d'atterrissage, robots...) faisant appel aux possibilités dynamiques de la C.A.O.,
- le calcul de structure par la méthode des éléments finis,
- etc...

L'amélioration constante des possibilités et des performances des logiciels C.A.O. et la réduction du coût des équipements permettent maintenant d'envisager une utilisation plus généralisée de la C.A.O.

L'automatisation ne doit plus seulement concerner des tâches ou des fonctions isolées mais prendre en compte l'ensemble du processus de conception et de fabrication.

Dans cette approche, l'objectif visé est une amélioration globale du processus et non plus seulement une amélioration ponctuelle liée à une opération ou à un type de pièces particulier. Cette amélioration globale naît de l'exploitation informatique des informations nécessaires à la définition du produit introduites dans le système le plus en amont possible du processus de conception. Cette exploitation informatique entraîne la suppression de redondances et assure la cohérence des résultats obtenues (plans d'ensemble, plans de détail, nomenclatures...). En revanche, la nécessité de disposer de l'ensemble des informations de définition sur le système C.A.O. peut conduire à concevoir certaines pièces sur celui-ci avec une rentabilité nulle. L'amélioration de productivité n'est sensible qu'au niveau global.

L'objet de cet article est de présenter les avantages potentiels de cette approche globale, de proposer une méthode d'implantation de la C.A.O. et d'illustrer les principes présentés par un cas concret d'application.

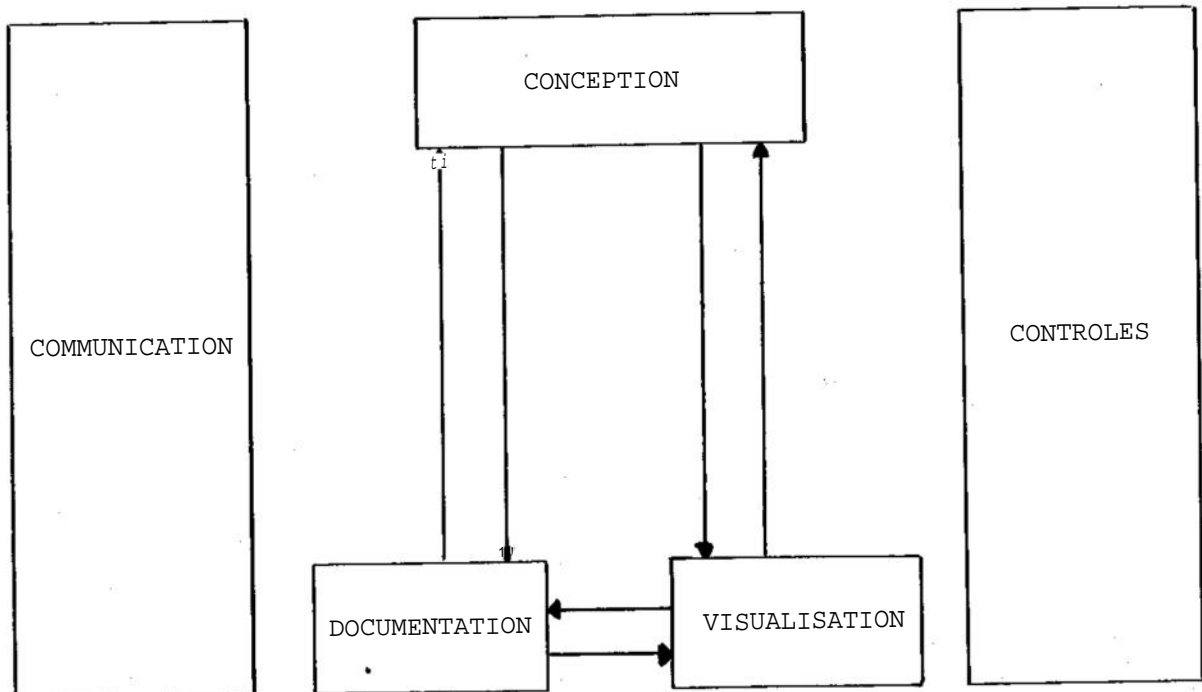
LES AVANTAGES POTENTIELS DE LA C.A.O.

L'introduction d'un système C.A.O. dans une entreprise concerne non seulement les bureaux d'études mais aussi tous les services qui exploitent des informations liées à la conception ou à la fabrication des produits.

Après l'étude de l'apport de la C.A.O. aux bureaux d'études, l'examen du service commercial et du bureau des méthodes permet d'illustrer l'apport de la C.A.O. en dehors des bureaux d'études.

L'Apport de la C.A.O. aux Bureaux d'Etudes

L'apport de la C.A.O. aux bureaux d'études est examiné vis à vis des cinq fonctions qui permettent la définition d'un produit et qui sont illustrées par le schéma ci-après.



Ponction Conception

L'objet de cette fonction est de déterminer les caractéristiques d'un nouveau produit à partir d'une expression de besoin plus ou moins précise.

L'apport de la C.A.O. vis à vis de cette fonction est relativement faible. La C.A.O. ne remplace pas la réflexion ou le savoir faire. Elle permet toutefois l'automatisation de phases de calcul ou de cycles simples de conception lorsque leur formalisation est possible. A titre d'exemple, les paramètres d'un circuit hydraulique (diamètre des tuyauteries, dimension des électrovannes, puissance de la centrale...) peuvent être déterminés automatiquement à partir des caractéristiques des récepteurs (longueur, diamètre des vérins...) et des caractéristiques du mouvement (force, vitesse de déplacement...).

Le principal apport de la C.A.O. au niveau de cette fonction est d'éviter la conception de pièces déjà existantes dans le patrimoine historique de l'entreprise. L'utilisation de code morphologique permet à partir de la description des caractéristiques de forme et de dimension de la pièce à concevoir (par exemple : pièce de révolution, nombre de diamètres extérieurs, nombre de trous excentrés, dimensions principales...) d'identifier les pièces analogues déjà existantes. Le concepteur peut alors soit réutiliser une pièce existante, soit créer une nouvelle pièce en adaptant l'une des pièces proposées.

Fonction Visualisation

Le but de cette fonction est de fournir une représentation graphique plus ou moins codifiée des produits en cours de conception afin de servir de support à cette conception et à la réalisation ultérieure.

Les systèmes C.A.O. facilitent largement cette visualisation.

Les possibilités d'insertion et de manipulation d'images permettent :

- de réaliser un schéma à partir de figures de bibliothèques stockées sur disque magnétique et appeler à l'écran par l'intermédiaire de menus ou de touches fonctions,
- de réutiliser et de modifier aisément des parties de plans existants.

Les possibilités d'extraction d'informations permettent :

- pour un système 2D, de produire automatiquement à partir d'un plan d'ensemble l'ébauche des plans de détail qui définissent les pièces dont l'ensemble est constitué,
- pour un système 3D, d'extraire d'un modèle tridimensionnel les vues, coupes et perspectives nécessaires.

En outre, l'utilisation de programmes de pièces paramétrées permet des gains spectaculaires. Par exemple, une vis à bille nécessitant une journée de dessin environ peut être définie par une vingtaine de paramètres. La fourniture de ces paramètres au programme nécessite quelques minutes de travail, le programme produit ensuite le plan de manière autonome.

Toutefois l'utilisation de tels programmes n'est pas toujours rentable. L'amortissement de leur développement nécessite une fréquence d'utilisation des pièces faisant l'objet de programmes paramétrés relativement élevée. En outre, le recours à un langage informatique peut constituer un frein aux évolutions futures en figeant la méthode de conception d'une pièce.

Fonction Documentation

Cette fonction a pour objet d'enrichir les documents graphiques produits lors de la fonction précédente afin de fournir les informations nécessaires à tous les services concernés par la conception et la réalisation des produits.

Elle consiste essentiellement :

- soit à compléter les documents graphiques au moyen de cotes, tolérances, informations complémentaires...
- soit à produire des documents complémentaires tels que nomenclatures de composants, spécifications d'achat ou d'usinage...

L'apport de la C.A.O. à cette fonction est lié aux possibilités suivantes des systèmes C.A.O. :

- stockage de l'information : les caractéristiques techniques des composants dont les symboles graphiques constituent des figures de bibliothèques sont stockées dans des fichiers techniques et peuvent être utilisées ou consultées. A terme, des banques de données maintenues par les fournisseurs de composants pourraient éviter à leur différents clients de tenir à jour leurs propres fichiers,
- extraction des informations : les données initiales figurant sur les plans et en particulier la désignation ou le code des composants utilisés peuvent être extraites et restituées sur d'autres documents comme les nomenclatures. Au niveau de ces documents, les informations extraites peuvent être complétées par des informations supplémentaires issues des fichiers techniques.
- retroannotation : le plan peut être lui-même enrichi par des informations issues de ces fichiers techniques. Ces informations sont automatiquement positionnées sur des supports de textes figurant sur le plan et reconnus par des attributs.

Le schéma ci-après illustre les principes d'insertion de composants, d'extraction et de retroannotation d'informations.

Fonction Contrôle

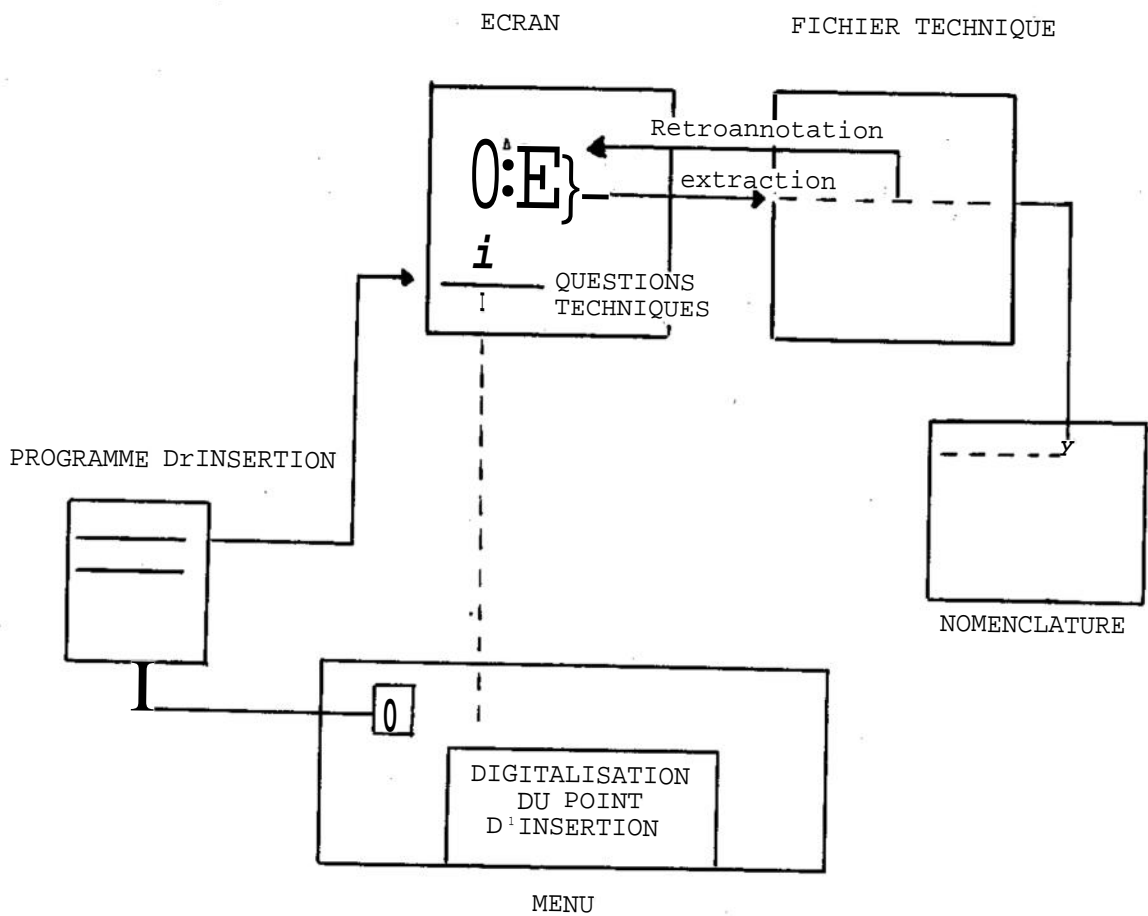
Les objectifs principaux de cette fonction sont :

- de s'assurer de l'adéquation des produits conçus aux spécifications de contrôle,
- de contrôler la cohérence des documents produits (plans d'ensemble et de détails correspondants, plans et nomenclatures...),
- de s'assurer de la simultanéité des mises à jour de la documentation en cas de modifications,
- de suivre les délais d'étude.

PRINCIPE D'INSERTION DES COMPOSANTS,
D'EXTRACTION ET DE RETROANNOTATION D'INFORMATIONS

TEMPS REEL

BATCH



L'utilisation de la C.A.O. permet de s'affranchir en grande partie des contrôles de cohérence de documents et de simultanéité de mise à jour ; en effet, dans la mesure du possible, chaque information n'est fournie qu'une seule fois au système pour être ensuite traitée par celui-ci et restituée sous les différentes formes nécessaires. En cas de modification, seul le document de base est modifié sur le système qui effectue automatiquement les mises à jour nécessaires.

Par ailleurs, les possibilités dynamiques de la C.A.O. permettent de réaliser des simulations de mouvements (mouvements d'un robot ou d'un train d'atterrissage...) et d'éviter ainsi de coûteuses remises en cause à l'issue de la fabrication d'un prototype.

Enfin, l'utilisation du système C.A.O. nécessite la mise en place de procédures et de normes de présentation rigoureuses des documents qui ont pour conséquence de faciliter le contrôle des projets en cours.

Fonction Communication

Cette fonction régit les relations entre le bureau d'études et les autres services (commercial, achat, fabrication...).

Généralement la liasse de plans et de documents est diffusée largement à charge pour chacun des services d'y trouver les informations dont il a besoin. Pour faciliter la gestion de la production une partie des informations peut être saisie sur un ordinateur avec les risques d'erreurs que cela comporte.

L'utilisation d'un système C.A.O. permet :

- d'accroître la rapidité de mise à disposition des informations en permettant à chaque service un accès direct à la base de données,
- de fournir à chaque service des documents adaptés à ses besoins tant au niveau de la sélectivité des informations qu'au niveau de leur présentation (formatage, tri...),
- de supprimer les erreurs dues à des saisies intermédiaires grâce aux possibilités de connexion entre systèmes.

L'Apport de la C.A.O. au Service Commercial

Une utilisation séduisante de la C.A.O. au niveau d'un service commercial est la conception interactive du produit en présence du client qui offre les avantages suivants :

- un impact favorable sur l'image de marque (emploi de technologie de pointe),
- une meilleure compréhension réciproque des spécifications et des contraintes,
- un délai plus rapide d'élaboration de la proposition.

Toutefois cette possibilité n'est pas fréquemment applicable car elle nécessite des moyens de représentation des produits suffisamment symboliques pour permettre une conception relativement rapide.

Par contre la C.A.O. offre des possibilités moins spectaculaires mais plus facilement applicables parmi lesquelles :

- la recherche systématique dès la définition du produit de sous ensembles existants et réutilisables ; il s'agit d'une possibilité très intéressante lorsqu'elle se situe au début du processus de conception, c'est-à-dire à un moment où les spécifications proposées par le client sont encore modifiables,

- la possibilité d'exploiter directement des données fournies par le client sous forme de bande magnétique,

- la faculté de modifier rapidement un plan existant qui permet de proposer, sans allongement du délai de réponse, plusieurs variantes ou de réagir rapidement aux demandes de modifications,

- la possibilité d'associer à tout nouveau plan un devis établi automatiquement.

En outre, l'utilisation par le service commercial d'un système C.A.O. conduit à une présentation plus rigoureuse du dossier d'avant projet transmis au bureau d'études et permet à ce dernier une exploitation directe des informations fournies.

L'Apport de la C.A.O. au Bureau des Méthodes

L'intérêt de la C.A.O. pour le bureau des méthodes se situe essentiellement aux niveaux de la préparation des gammes et à celui de la production des bandes de commande numérique.

La recherche systématique de SOUS ensembles analogues décrite au niveau de la conception peut être utilisée au niveau de l'élaboration des gammes. Chaque gamme est défini par modification d'une gamme standard ou existante. Cette utilisation nécessite une définition plus large du code de recherche qui ne doit plus s'appuyer seulement sur des paramètres morphodimensionnels mais intégrer également des données matière, type de machine...

La production des bandes de commande numérique est grandement facilitée par l'utilisation de logiciels permettant de décrire de manière interactive le cheminement de l'outil sur la pièce définie en C.A.O. et capables de produire automatiquement le programme interprétable par la MOCN en fonction du post processeur utilisé.

CONCLUSION : L'Apport de la C.A.O. à l'ensemble du Processus de Production

A tous les niveaux du processus de conception et de fabrication l'utilisation de la C.A.O. conduit :

- à une meilleure cohérence des informations (concept de base de données unique enrichie au fur et à mesure de l'avancement de la conception),

- à une meilleure accessibilité aux informations et à l'historique de production (notamment grâce à l'utilisation de processus de recherche par code morphodimensionnel),

- à une standardisation des composants utilisés et des produits conçus,

- à l'automatisation des tâches les plus répétitives.

L'ensemble de ces améliorations a pour conséquence une réduction des délais et des coûts de conception et de réalisation des produits, une amélioration de la fiabilité des études, un accroissement de la rapidité de réaction de l'entreprise vis à vis de l'évolution du marché.

UNE METHODE D'IMPLANTATION C.A.O.

L'acquisition lors de l'introduction d'un système C.A.O. des avantages présentés précédemment n'est pas assurée tant du fait des spécificités de l'activité de chaque entreprise que de la complexité des systèmes C.A.O. et des mutations importantes que leur mise en oeuvre nécessite dans l'organisation. En outre, compte tenu du coût encore élevé des systèmes C.A.O., les décisions d'investissement en la matière doivent être prises avec précaution, les systèmes doivent être choisis en connaissance de cause et leur mise en oeuvre doit être rapide et complète. Ces contraintes nécessitent l'utilisation d'une méthode appropriée c'est-à-dire adaptée au problème C.A.O. et pouvant couvrir l'ensemble du processus de développement depuis l'étude d'opportunité jusqu'à la mise en oeuvre de système.

Une telle méthode est présentée ci-dessous, elle comprend les quatre phases suivantes :



Le plan C.A.O.

L'objectif d'un plan C.A.O. est de fournir les bases permettant de décider de l'utilisation de la C.A.O. et des moyens à mettre en oeuvre. Outre, une analyse de l'existant et des besoins, les principales étapes d'un plan C.A.O. sont les suivantes :

- élaborer un projet global d'application de la C.A.O. qui détermine les domaines d'application et l'impact sur l'organisation des bureaux d'études, les méthodes de travail, les processus de conception et les flux d'information. La principale difficulté lors de l'élaboration d'un tel projet est d'apprécier la faisabilité technique des solutions envisagées compte tenu des possibilités réelles des systèmes (par exemple la manipulation de données volumiques peut se révéler beaucoup plus lourde que prévu) ;

- évaluer les enjeux économiques de la C.A.O. : cet évaluation a pour but la valorisation des gains quantifiables (réduction des coûts et des délais...) et l'identification des avantages non quantifiables (amélioration de la qualité, réduction des erreurs, influence sur l'image de marque...). Généralement, les seuls gains quantifiables ne suffisent pas à justifier la mise en oeuvre d'un système C.A.O. et le choix d'investissement résulte le plus souvent d'un acte de foi des dirigeants basé soit sur les avantages non quantifiables soit sur la conviction que l'utilisation d'un tel outil est indispensable à terme à la survie de l'entreprise ?

- élaborer un programme de développement qui fixe les principales étapes d'acquisition des matériels et logiciels, de développement et de mise en oeuvre des applications, de formation, de recrutement de personnel spécialisé...
- sélectionner un ensemble représentatif de l'activité de l'entreprise sur lequel seront effectuées les premières analyses détaillées des phases suivantes.

La Selection des Equipements

La détermination des matériels et des logiciels C.A.O. à acquérir est rendu difficile par :

- l'importance sur le marché des systèmes clés en main dont l'acquisition implique un engagement concernant les matériels et les logiciels avec un même fournisseur,
- la complexité des logiciels C.A.O. ; certains systèmes disposent de plus de 400 commandes (insérer une ligne...), chaque commande disposant elle-même en moyenne d'une dizaine de modifieurs (la ligne peut être insérée horizontalement, tangente à une entité, parallèle...),
- la difficulté d'apprécier les performances ? sur des figures complexes, certaines commandes peuvent nécessiter plusieurs minutes de temps de réponse.

Compte tenu de ces caractéristiques, la sélection d'un système C.A.O. doit être effectuée en deux temps :

- **une présélection sur dossier permettant d'identifier deux ou trois fournisseurs possibles,**
- une sélection définitive effectuée à partir de la réalisation en collaboration avec chaque constructeur présélectionné de tests portant sur un jeu d'essais élaboré à partir de l'échantillon représentatif et en fonction des points faibles classiques des systèmes C.A.O.

La Classification et l'Analyse Fonctionnelle

Cette phase a pour objet de déterminer les développements à réaliser et les nouvelles procédures à mettre en place avant la mise en oeuvre d'un système C.A.O.

Cette phase doit prendre en compte d'une part les caractéristiques de l'équipement C.A.O. et ses possibilités, d'autre part les spécificités de la production de l'entreprise.

La détermination des traitements à réaliser doit s'appuyer sur une classification des pièces utilisées et produites par l'entreprise. Cette classification peut être réalisée par le dépouillement d'un échantillon historique de la production et limitée dans un premier temps à l'ensemble représentatif identifié lors de la première phase. Cette classification a pour but de constituer des catégories de pièces en fonction :

- de la nature des pièces (pièces principales qui transmettent la puissance, pièces de liaison ou batis, composants achetés...),
- de la fréquence d'utilisation des pièces,
- du nombre de paramètres nécessaires pour les définir.

Les traitements sont ensuite définis pour chaque catégorie. L'automatisation est d'autant plus importante que la fréquence d'utilisation d'une catégorie est élevée et d'autant plus difficile à obtenir que le nombre de paramètres de définition est important.

La définition des traitements par catégorie est complétée par la détermination de fonctions communes et/ou logistiques (menus, archivage,...) et par la définition des nouvelles procédures associées.

La Réalisation

Cette dernière phase a pour objet de développer les traitements définis dans la phase précédente et de mettre en exploitation le nouveau système.

Cette phase doit être conduite comme un projet informatique classique et doit à ce titre s'appuyer sur des normes de programmation rigoureuses et donner lieu à une documentation complète.

Une formation importante des utilisateurs doit être planifiée car il s'agit pour eux d'une mutation importante de leur méthode de travail et non de la simple mise à disposition d'un outil complémentaire.

UNE EXEMPLE CONCRET D'APPLICATION

Les principes définis dans cet article ont été mis en application dans une entreprise fabriquant des machines outils.

Cette entreprise d'un effectif de 450 personnes effectue les études et assure le montage d'une cinquantaine de machines unitaires par an.

Le cycle de fabrication d'une machine est compris entre 12 et 20 mois.

Les objectifs visés lors de l'introduction de la C.A.O. étaient essentiellement de réduire le cycle de fabrication et de faciliter la réutilisation d'études antérieures compte tenu des similitudes entre machines.

Le système C.A.O. choisi est un système computervision CGP 200 utilisant, le logiciel CADDS4 et doté de huit postes de travail.

PRINCIPALES ETAPES DE DEVELOPPEMENT DE LA C.A.O.

Une étude succincte des différents types de machine a permis de choisir comme ensemble représentatif, le chariot vertical twist qui permet le déplacement vertical de la broche et supporte la rotation de celle-ci.

Une étude historique portant sur une trentaine de machines comportant des chariots verticaux twist a permis d'établir une classification des pièces et d'identifier des groupements de pièces toujours utilisées en même temps appelés "assemblages".

Cette classification a permis de définir et de mettre en place l'ensemble des traitements permettant la réalisation sur C.A.O. des chariots verticaux.

L'étude historique des autres ensembles et leur mise en oeuvre C.A.O. se poursuit actuellement et devrait permettre d'ici deux ans environ de réaliser la quasi totalité des études sur C.A.O.

Au cours de ces études, la définition des assemblages donne lieu à des remises en cause systématiques des solutions techniques à retenir.

PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

Avant l'intervention de la C.A.O., les plans de détail étaient réalisés directement à partir du plan de projet afin de lancer le plus rapidement possible les commandes de composants ou la sous traitance d'usinage ; un plan d'ensemble ou de remontage permettait (par empilage de côtes en particulier) de s'assurer à posteriori de l'adéquation des plans de détail entre eux.

L'utilisation de la C.A.O. a permis d'inverser cette séquence. Le plan d'ensemble est réalisé sur C.A.O. à partir du plan de projet manuel et à l'aide :

- de la base d'assemblages qui contient tous les groupements de pièces susceptibles d'être réutilisés,
- des figures de bibliothèques pour les composants achetés (vis, roulements à billes, patins à galet...),
- de programmes de pièces paramétrées pour les pièces appartenant à une catégorie fréquemment utilisée,
- de programmes généraux d'habillage du plan, de manipulation d'image...

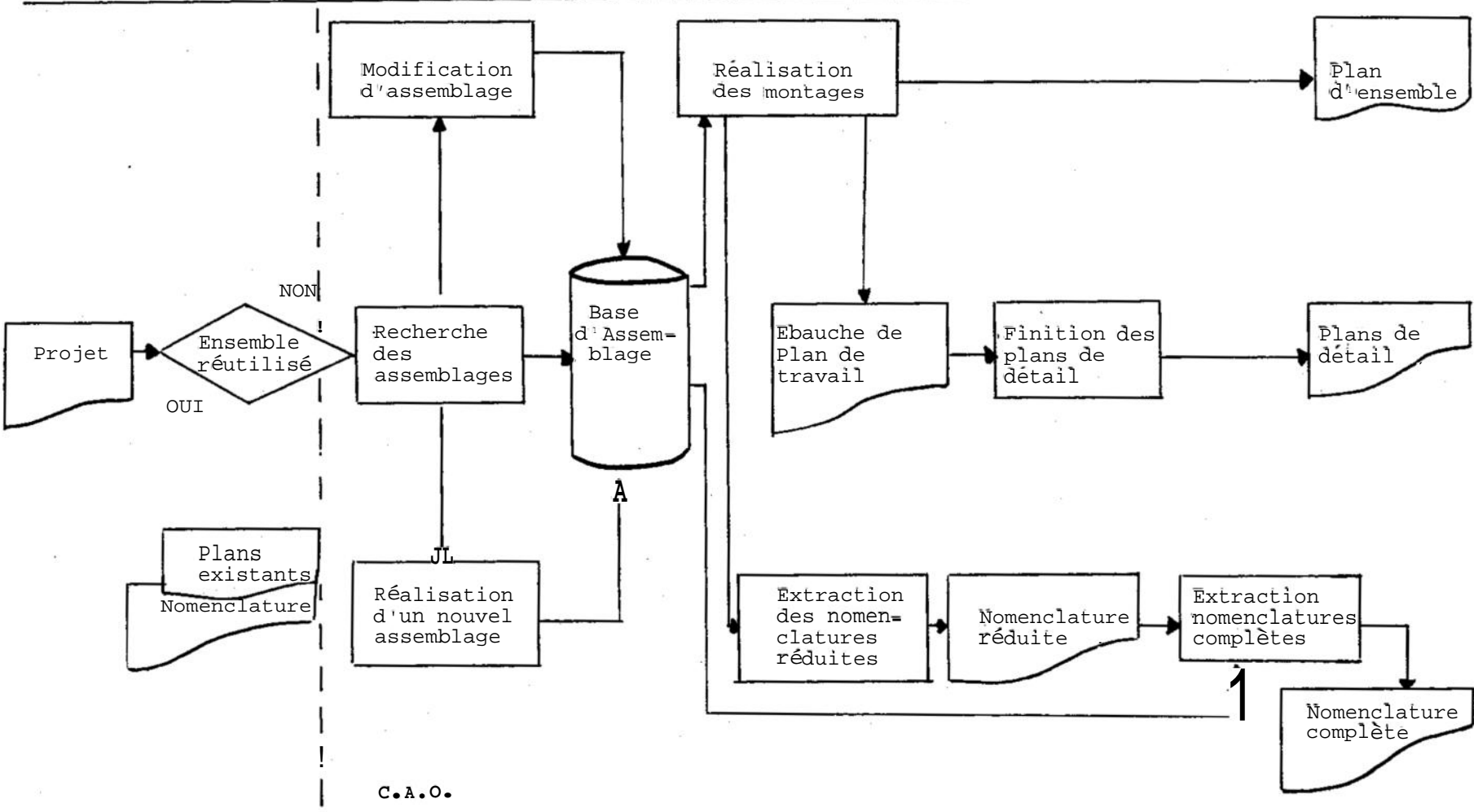
Une fois ce plan terminé, les éléments constitutifs de chaque plan de détail figurant sur le plan d'ensemble sont extraits de celui-ci sous forme d'ébauches de plan de détail. Ces ébauches complétées sur C.A.O. constituent des plans de détail dont la cohérence avec le plan d'ensemble initial est assurée par construction.

A partir du plan d'ensemble, la nomenclature des composants est extraite et transmise par l'intermédiaire d'une liaison 2780 à l'ordinateur de gestion IBM 34.

Une estimation du gain de productivité lié à la mise en place de ce système fait apparaître une amélioration de 40 % environ sur l'ensemble du travail d'études (10 % pour l'extraction de nomenclature, 30 % pour les aides au dessin et la réutilisation d'assemblages existants).

Le schéma ci-après résume la nouvelle procédure de conception ; un exemple de plan d'ensemble produit par le système est également présenté.

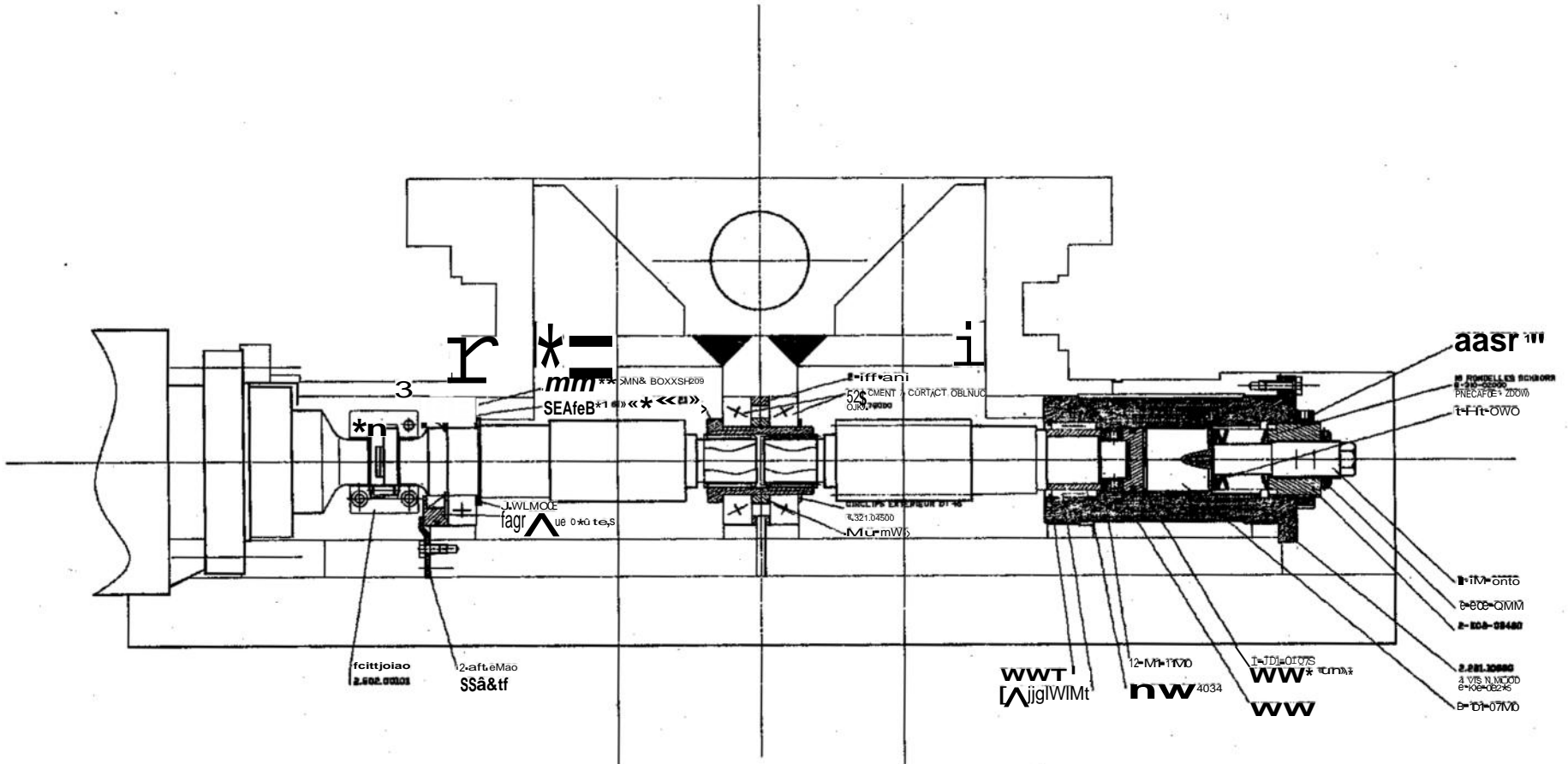
PROCÉDURE DE CONCEPTION



CONCLUSION

Si les gains de productivité obtenus au niveau de cette approche globale ne sont pas comparables à certains ratios présentés dans la presse, ils ont l'avantage de s'appliquer à la quasi totalité du travail d'études.

Ajoutés aux avantages non quantifiables tel que l'amélioration de la qualité des documents produits, la standardisation, la réduction des erreurs, ils justifient l'examen d'une solution C.A.O. pour toutes les entreprises qui réalisent un volume d'études non négligeable.



Chariot vertical twist