

"Du CAD/CAM au KAD/KAM"
ou
de la CONCEPTION ASSISTEE par ORDINATEUR à
la CONCEPTION ASSUREE par les CONNAISSANCES

Patrick SERRAFERO
Président Directeur Général
KADE-TECH
15 chemin du Petit Bois, F-69130 LYON-ECULLY
Tel: 04 72 86 11 00, Fax: 04 78 33 43 12,
E-mail: patrick.serrafero @ kadetech.fr

Résumé:

Les systèmes de CAO évoluent. Ils changent progressivement de générations par augmentation de la sémantique des objets géométriques modélisés dans leurs structures de données. De la représentation graphique 2D des années 70, l'évolution aboutit aujourd'hui aux modèles paramétriques des années 90 en passant par les modèles géométriques 3D volumiques et surfaciques des années 80. C'est la génération CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) purement géométrique.

Cette génération CAD/CAM arrive au bout de ses capacités de modélisation. La finalité de représentation interactive, géométriquement cohérente et réaliste, de produits industriels est atteinte.

Aujourd'hui, face aux nouveaux défis de l'industrie manufacturière, l'enjeu devient la conception réactive de produits industriels aux fonctionnalités, résistance, fabricabilité et montabilité assurées.

Ces enjeux ne peuvent pas être abordés sans la prise en compte, par l'ordinateur, de connaissances et de règles de conception reflétant les savoir-faire et l'expérience des différents métiers des Bureaux d'Etudes. Une nouvelle génération d'outils, centrée non pas sur la modélisation géométrique (i.e.: le QUOI CONCEVOIR) mais sur la modélisation des connaissances de conception (i.e.: le COMMENT CONCEVOIR), voit le jour.

Cette nouvelle génération CAO, baptisée KAD/KAM (Knowledge Aided Design / Knowledge Aided Manufacturing ou Conception Assurée par les Connaissances), a pour finalité, par l'utilisation de connaissances industrielles ainsi capitalisées et modélisées, la génération automatique de modèles 3D de couples produit/procédé technologiquement cohérents et optimisés, automatiquement mis en plans.

Ce papier propose une présentation de cette génération KAD/KAM émergente où l'activité de conception sera assurée et certifiée, non pas par l'ordinateur, mais par des connaissances métier partagées entre l'homme et la machine. La traçabilité des décisions de conception et des raisonnements technologiques sera garantie. Diverses solutions possibles de conception seront explorées et partiellement ou totalement générées automatiquement. Les savoir-faire de conception seront partagés et enrichis.

1. - INTRODUCTION

Les systèmes de CAO évoluent. Ils changent progressivement de générations par augmentation de la sémantique des objets géométriques modélisés dans leurs structures de données [Ser1]. De la représentation graphique 2D des années 70, l'évolution aboutit aujourd'hui aux modèles paramétriques des années 90 en passant par les modèles géométriques 3D volumiques et surfaciques des années 80. C'est la génération CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) purement géométrique.

Néanmoins, cette génération CAD/CAM a atteint son objectif: la représentation interactive topologiquement cohérente et réaliste de produits industriels.

Aujourd'hui, face aux nouveaux défis de l'industrie manufacturière, l'enjeu devient la conception réactive de produits industriels aux fonctionnalités, résistance, fabricabilité et montabilité assurées. C'est la finalité d'une nouvelle génération CAO, baptisée KAD/KAM (Knowledge Aided Design / Knowledge Aided Manufacturing ou Conception Assurée par les Connaissances), présentée ci-après.

2. - CONCEPTION ROUTINIÈRE vs CONCEPTION INNOVANTE

Différentes classes de problèmes de conception de produits industriels sont à clarifier. La catégorisation suivante peut être proposée:

- **classe 1 (conception créative et conception innovante):** problèmes de conception pour lesquels l'espace du vocabulaire métier n'est pas connu avant de démarrer la session de conception. Les concepts et termes métier (ex: "étanchéité", "coulisseau", "frette", "déplacement sinusoïdal", "capteur céphalique", "bride de liaison", ...) de ces problèmes de conception sont alors définis dynamiquement et interactivement au fur et à mesure du déroulement de l'activité de conception. Il en va de même pour les contraintes métier sur les objets représentant le produit industriel conçu. La conception d'un "magnétoscope à enregistrer les rêves" relève de cette catégorie,
- **classe 2:** problèmes de conception pour lesquels le nombre final de concepts métier (ex: "gorge", "rainure", "frette", "joint", ...) est connu avant de démarrer la session de conception:
 - **sous-classe 21 (conception paramétrique):** problèmes de conception pour lesquels le nombre final d'objets représentant le produit industriel conçu et relevant chacun d'un concept métier donné (ou classe d'objets) est connu avant de démarrer la session de conception. Ces problèmes sont aussi baptisés re-conception et un bon modelleur géométrique paramétrique est capable de fournir toutes les ressources nécessaires de modélisation (arborescence géométrique, entités paramétrées, contraintes numériques, ...) du produit industriel conçu,
 - **sous-classe 22 (conception routinière):** problèmes de conception pour lesquels le nombre final d'objets n'est pas connu avant de démarrer la session de conception (ex: gamme d'usinage, nombre de vis de bridage, topologie variable, ...).

Le cadre de ce papier est la **conception routinière de produits industriels**, soit 80% de l'activité des Bureau d'Etudes en comptant les éléments administratifs de ces activités [cf. Annexe A1].

3. - Du DEVELOPPEMENT PHYSIQUE au DEVELOPPEMENT VIRTUEL de PRODUITS INDUSTRIELS

La conception et le développement de produits industriels peuvent, très schématiquement, être divisés en 2 phases majeures:

- **phase définition:** à partir du contenu du cahier des charges fonctionnel du produit à concevoir, il s'agit de choisir les matériaux des pièces constituantes et de générer différentes formes géométriques candidates à la matérialisation physique du produit conçu,
- **phase validation:** à partir des formes géométriques candidates précédemment définies, il s'agit de s'assurer de leur validité des points de vue résistance des matériaux, cinématique, comportement dynamique, fabricabilité, montabilité ... voire d'être capable de les modifier légèrement en vue de leur optimisation géométrique.

Avant l'arrivée massive des technologies de XAO, le déroulement d'un cycle complet de conception simultanée du couple produit/procédé (dit de "ductcess design" [Ser2]) était une activité méthodique de génération d'information, classiquement structurée et rétro-bouclée de la façon suivante,

- **conception du produit industriel:** les informations générées sont:
 - **cahier des charges fonctionnel** (au sens de la norme X50-150 [Afn1]): permettant la correcte définition des fonctions de service et d'estime du futur produit, résultat d'une phase d'analyse du marché et de retour d'expérience sur les produits existants,
 - **schéma fonctionnel, synoptique, architecture systémique et pré-dimensionnement:** permettant l'étude des grands choix fonctionnels, architecturaux et technologiques, résultat d'une activité d'avant projet,
 - **maquette physique:** permettant la définition des formes géométriques d'esthétique et l'étude de l'assemblage, résultat d'un travail manuel de façonnage sur un objet statique en bois, résine, polystyrène , ...,
 - **prototype dynamique:** permettant l'étude du comportement en fonctionnement du produit, résultat d'un travail artisanal de construction d'un objet dont la cinématique reproduit celle du produit envisagé,
 - **dessins de définition:** permettant la stabilisation des définitions géométriques du produit industriel, résultat d'une tâche de conception détaillée s'appuyant sur les informations obtenus en phase de maquettage physique et de prototypage dynamique,
- **conception du procédé industriel:** les informations générées sont:
 - **gammes d'usinage, d'assemblage et de contrôle:** permettant l'obtention d'un produit fonctionnel et fabricable, résultat des pré-séries assurant la validité du processus,
 - **dessins des moyens de production et de la transitique:** permettant l'obtention d'un produit fonctionnel, fabricable et économique (ie: produit compétitif), résultat de la série de production qui assure la fabrication de masse du produit à des coûts acceptables et dans les délais impartis,

L'introduction massive des technologies en XAO fait subir à ce processus de "ductcess design" (ie: de conception simultanée du couple produit/procédé) une mutation profonde: **sa virtualisation**. En effet, le développement physique du produit est progressivement remplacé par son développement virtuel.

La motivation essentielle à cette mutation est la réduction drastique des temps de cycle de conception du ductcess, elle-même conséquence de 3 tendances organisationnelles de fond:

- généralisation des essais virtuels et de la simulation numérique, en complément aux essais physiques sur maquettes et prototypes,
- montée en puissance des définitions virtuelles et du maquetage numérique, en complément, voire en remplacement des maquettes et prototypes physiques,
- motivation forte pour des définitions "justes du premier coup" afin d'éviter les nombreux allers et retours chronophages entre Bureaux d'Etudes et des Méthodes.

4. - Du "No-AO" au KNOW-HOW

Il est intéressant de regarder, du point de vue de la réduction qualitative des temps de cycle de conception, l'impact de l'introduction des technologies de l'information, en prenant pour hypothèse le développement d'un produit imaginaire, dont la durée de la phase manuelle classique (ie: phase "No-AO", sans XAO) de définition papier serait de 100 heures et celle de la phase de validation physique serait également de 100 heures.

L'arrivée des techniques de calcul par élément finis et équations intégrales permet de remplacer un nombre important d'essais physiques par des simulations numériques, sans pour autant totalement supprimer les essais physiques car le recalage des modèles et les vérifications ultimes sur modèles physiques restent nécessaires.

L'arrivée des techniques de DAO puis de CAO permet de remplacer le triplet main/rotring/calque par le triplet main/souris/écran afin de gagner du temps lors des phases de définition détaillée, de mise à jour et de modifications des dessins et des maquettes virtuelles tridimensionnelles, sans pour autant supprimer les phases d'esquisse, de recherche de style, d'avant projet et de pré-dimensionnement. La disponibilité des modèles numériques tridimensionnels de CAO permet alors une très forte intégration définition/simulation, les outils de calcul utilisant justement les définitions géométriques de la CAO.

Le tableau suivant résume qualitativement les gains de cycle, en prenant pour hypothèse conservatrice que toute activité manuelle informatisée voit son temps de réalisation divisée par 10 et que l'activité informatisée correspondante prend 2 fois moins de temps que l'activité manuelle associée:

Génération	Définition papier	Définition numérique	Validation physique	Validation virtuelle	Total Processus	Gain relatif	Gain cumulé
Manuelle No-AO	100 h	-	100 h	-	200 h	-	-
Essais virtuels	100 h	-	10 h	50 h	160 h	-20%	-20%
DAO	10 h	50 h	10 h	50 h	120 h	-25%	-40%
CAO intégrée	10 h	50 h	10 h	5 h	75 h	-37%	-62%
KAD/KAM	10 h	5 h	10 h	5 h	30 h	-46%	-85%

La génération actuelle "CAO intégrée" particulièrement bien couplée aux essais numériques (qui en utilisent alors les modèles tridimensionnels) permet d'espérer une division par 2 à 3 des cycles manuels de conception.

Le tableau montre aussi qu'une nouvelle génération d'outils informatiques, baptisée "KAD/KAM" (pour "Knowledge Aided Design / Knowledge Aided Manufacturing" ou Conception Assurée par les Connaissances) permettant de diviser par 10 les temps de production des définitions numériques peut trouver sa place. Pour cela, les définitions numériques du produit industriel sont générées automatiquement par des bases de connaissances. La génération "KAD/KAM" correctement intégrée aux essais numériques permet alors d'espérer une division minimale par 6 des cycles manuels de conception routinière.

5. - Du CAD/CAM au KAD/KAM

Cette génération KAD/KAM est fondée sur la prise en compte, par l'ordinateur, de connaissances et de règles de conception reflétant les savoir-faire et l'expérience des différents métiers des Bureaux d'Ingénierie.

Ces outils, centrés non pas sur les modèles géométriques (i.e.: le QUOI CONCEVOIR) mais sur la modélisation des connaissances de conception (i.e.: le COMMENT CONCEVOIR), ont pour finalité la génération automatique de modèles 3D de couples produit/procédé technologiquement cohérents et optimisés, semi-automatiquement mis en plans.

Les gains de cycles de conception proviennent alors essentiellement de la capacité des systèmes KAD/KAM à générer automatiquement des modèles et formes géométriques respectant les règles métier des Bureaux d'Etudes et des Méthodes et à explorer systématiquement, à coût marginal, l'ensemble des solutions possibles pour une architecture produit donnée.

Le tableau ci-après compare, du point de vue de la génération automatique d'information, les capacités de la génération KAD/KAM vis-à-vis de la génération actuelle de CAO géométrique:

Génération automatique de:	CAO: Conception Assistée par Ordinateur	KAD/KAM: Conception Assurée par les Connaissances
cahier des charges fonctionnel	non	non
schéma fonctionnel, architecture systémique et pré-dimensionnement	non	oui, avec exploration de plusieurs architectures possibles
maquette numérique	non, générée de manière interactive	oui, générée de manière semi- interactive à automatique
dessins de définition	oui, à partir de la maquette numérique	oui, à partir de la maquette numérique
gammes d'usinage et d'assemblage	non	oui, pour les technologies de production classiques (fraisage, tournage, forgeage, ...)
dessins des moyens de production et de la transitique	<i>Revient à la conception d'un produit industriel, le produit à concevoir étant alors une usine de production.</i>	

Il est intéressant de noter que la génération automatique de gammes d'usinage relève d'ailleurs d'un problème de conception (ie: la conception du procédé) pour lequel la génération automatique de formes géométriques est la difficulté centrale. Il s'agit notamment de trouver les formes géométriques intermédiaires par lesquelles passe successivement le brut usiné avant d'aboutir à la forme finale de la pièce ainsi que la forme des volumes connexes de copeaux à usiner à l'aide des macro-opérations d'usinage.

Les générations automatiques d'informations et de formes géométriques valides au regard du savoir-faire de l'entreprise confère à cette génération KAD/KAM d'outils la particularité d'une **conception assurée par les connaissances**. En effet, aucune forme géométrique violant les règles de conception stockée en bases de connaissances n'est acceptée à l'écran sans le consentement explicite de l'opérateur qui prend alors la responsabilité de cette décision de conception.

Le triplet main/souris/écran est alors remplacé par le triplet connaissance/moteur-d'inférence/écran.

Les connaissances de conception sont alors partagées par l'homme et la machine.

6. - CATEGORISATION des CONNAISSANCES de CONCEPTION

Pour une classe donnée de produit à concevoir, les savoir-faire de conception peuvent être rassemblés dans un document de référence constitué de fiches, baptisé "**Bréviaire de Connaissance**".

Les connaissances de conception d'un produit industriel ne sont pas toutes de même nature [Ser3]. Des éléments méthodologiques doivent alors être utilisés pour les rassembler et les catégoriser (ex: KOD, KADS, CYGMA, ...). La méthode CYGMA [Kad1] propose une taxinomie en 5 niveaux pour la catégorisation des connaissances de conception selon la nature des informations qu'elles représentent. Cinq parties distinctes constituent alors le Bréviaire de Connaissance:

- **le Glossaire Métier**, constitué d'une liste alphabétique de termes métier permettant la définition fonctionnelle et structurelle du produit conçu,
- **le Livret Sémantique**, proposant une organisation hiérarchique des termes du Glossaire Métier par explicitation des liens sémantiques existant entre les différents termes métier,
- **le Cahier des Règles**, constitué d'une liste alphabétique de règles métier capitalisant l'expertise de conception organisée en contraintes, conseils et choix métier (ie: "les 3C") et rédigées à l'aide des termes du glossaire métier,
- **le Manuel Opérateur**, proposant une organisation hiérarchique des règles métier du Cahier des Règles par explicitation du processus de conception du produit conçu organisé en activité métier,
- **le Recueil de Cas**, constitué d'un Référentiel correspondant à une liste alphabétique de cas de référence servant à la validation de la connaissance métier et d'un Bêtiérisier, correspondant à une liste alphabétique de cas d'erreur, violant notablement des règles métier de conception.

Le tableau de synthèse suivant présente l'organisation d'un Bréviaire de Connaissance:

Contenant	Contenu	Constitué de Fiches	A la base du/des	Hierarchie de
Glossaire Métier	Vocabulaire Métier	de Termes métier	Modèle Produit	-
Livret Sémantique	Sémantique Métier	de Structures métier	Vues Produit	Termes Métier
Cahier de Règles	Expertise Métier	de Règles métier	Règles Produit	-
Manuel Opératoire	Processus Métier	d'Activités métier	Modèle Processus	Règles Métier
Recueil de Cas	Expérience Métier	de Cas métier	Etudes de cas	-

L'annexe A2 présente un extrait des volets Vocabulaire et Expertise du Bréviaire de Connaissance FLANGE pour la conception optimale de liaisons à brides.

7. - EXPLOITATION des CONNAISSANCES de CONCEPTION

Pour un ensemble donné de connaissances de conception, 3 types de conditionnement et d'exploitation sont possibles, fonction des contenants utilisés (baptisés les "3 B") et du degré d'informatisation engagé pour l'exploitation des connaissances qu'ils contiennent:

- **le Bréviaire de Connaissance:** comme déjà présenté, il s'agit d'un contenant dont le support est le papier. Le bréviaire de connaissance permet la constitution d'une documentation métier de référence sur les savoir-faire de conception d'un produit donné. Il peut alors facilement s'assimiler à une norme technique interne à l'entreprise et s'inscrire dans une démarche d'assurance qualité ISO 9001 qui demande la maîtrise des processus de conception par un système de procédures écrites,
- **la Banque de Connaissance:** il s'agit d'un contenant dont le support est l'hypertexte. La banque de connaissance permet une informatisation multi-média du bréviaire de connaissance afin d'en faciliter la consultation par les mécanismes de références croisées des hypertextes. L'ergonomie de sa consultation (par mot-clef, par navigation thématique, ...) et sa facilité de distribution (par reproduction de son support numérique) en font un excellent outil de partage et d'enrichissement de la mémoire technique de l'entreprise,
- **la Base de Connaissance:** il s'agit d'un contenant dont le support est la règle informatisée. La base de connaissance est la forme la plus sophistiquée et la plus puissante d'informatisation des savoir-faire de conception. Ils sont alors exploitables par un moteur d'inférence, véritable algorithme de simulation des raisonnements déductifs. L'objectif est alors de fournir, en temps réel, une assistance permanente aux décisions de conception de l'utilisateur à l'aide d'une application métier dont la finalité est la conception assurée par les connaissances. L'ensemble des valeurs possibles des paramètres de conception et des formes géométriques candidates sont constamment encadrées par des domaines de valeurs numériques et géométriques montrant, à tout instant et à priori à l'utilisateur, les degrés de liberté restant dans son activité de conception. Afin de trouver la solution optimale, plusieurs solutions de conception possibles peuvent être explorées automatiquement ou interactivement grâce à un mécanisme de gestion d'hypothèses et de retour arrière du moteur d'inférence. Toute solution trouvée est réputée conforme à l'ensemble des savoir-faire de conception stockés dans la base de connaissance de l'application métier.

Le tableau de synthèse suivant présente les 3 types de conditionnement et d'exploitation possibles pour un ensemble donné de connaissance de conception:

Contenant	Motivation industrielle	Support	Outil d'exploitation
Bréviaire	Conservation des savoir-faire	Papier	Documentation Métier de l'Ingénieur
Banque	Consultation des savoir-faire	Multi-média	Guide Métier de l'Ingénieur
Base	Assistance par les savoir-faire	Règle informatisée	Application Métier de l'Ingénieur

8. - DOMAINES d'APPLICATION de la GENERATION KAD/KAM

Les domaines d'application de la génération KAD/KAM relèvent de toute activité de conception et peuvent être résumés par les "5P":

- **plant design:** conception d'usine et d'atelier de production, une usine étant multi-produits,
- **product design:** conception de produits industriels, un produit étant multi-pièces,
- **part design:** conception de pièces élémentaires, une pièce étant multi-gammes,
- **process design:** conception de gammes, une gamme étant multi-opérations,
- **price design:** conception rapide de devis et chiffrages.

Le "plant design" revient à la conception d'un produit particulier: l'usine de production.

Le "process design" peut, dans certain cas, se ramener à la conception d'un produit particulier: par exemple dans le cas d'une pièce moulé, le procédé consiste notamment à concevoir le moule d'injection.

Le "part design" présente un caractère générique, comme le "process design", éventuellement commun à plusieurs entreprises, fonction des technologies de production utilisées: pièces en tôle découpée et pliée [Chr1] [Ser4], pièces forgées, pièces usinées, pièces injectées, pièces moulées, ...

Enfin, le "price design" peut être proche de la conception préliminaire de produit par les connaissances d'architecture et de dimensionnement simplifiées qu'il implique afin d'être capable de proposer des devis fonction de la nomenclature pièces du futur produit.

Les annexes A3, A4, A5 présentent des exemples de base de connaissances opérationnelles et multi-modeleurs géométriques dans les domaines du "product design" (A.M.I. FLANGE), "part design" (A.M.I. NETTFORM), "process design" (A.M.I. ATOU-Tour).

Ces 3 systèmes, exemples d'outils de la génération KAD/KAM, sont baptisés "A.M.I." pour Application Métier Industrielle et mettent tous en oeuvre l'Atelier d'Assistance Métier CAD-X1™ couplé aux systèmes CAO EUCLID3™, CATIA4™ et CADD5™.

9. - BENEFICES UTILISATEUR de la GENERATION KAD/KAM

Les principaux bénéfices identifiés pour l'utilisateur d'outils de **conception assurée par les connaissances**, de la génération KAD/KAM, sont:

- la réduction importante des cycles de conception (cf. Annexe A1) par des facteurs de contraction pouvant atteindre 80 (ex: 15 minutes au lieu d'une semaine pour la conception et le dimensionnement complet d'une liaison à brides optimale),
- l'augmentation des conceptions créatives par l'exploration de concepts nouveaux (cf. A1),
- la suppression des pertes de connaissances et des trous de mémoire technique,
- la réutilisation des connaissances afin d'éviter la réinvention de la roue,
- la conformité des produits et pièces aux règles, standards et critères de calcul, maintenance, montage, ... des Bureaux d'Etudes et Méthodes, validés par l'expérience,
- le maintien d'un niveau constant de qualité de conception pour les activités à caractère répétitif et spécialisé, ceci indépendamment de l'utilisateur concevant les produits et pièces,
- l'assurance qualité et la certification des conceptions par des connaissances métier partagées entre l'homme et la machine pour des conception "justes du premier coup au moindre coût",
- la diminution des allers et retours et demandes de modifications entre Bureau d'Etudes / Bureau des Méthodes / Bureau de Calcul / Bureau d'Essais,
- la conception de pièces conformes à l'outils de production et facilement fabricables,
- la traçabilité des décisions de conception et des raisonnements technologiques,
- la rapidité de détermination des conséquences d'une modification des exigences fonctionnelles du produit,
- l'exploration de plusieurs solutions possibles de conception pour une même exigence fonctionnelle de produit avec choix de la solution optimale selon un critère d'optimisation,
- la simultanéité des activités de conception du couple produit/procédé par l'utilisation des réversibilités mathématiques des règles de définition du ductcess,
- la génération automatique de formes géométriques à topologie paramétrée (ex: liaisons à brides) et non-paramétrée ni prévue à l'avance (ex: gammes d'usinage),
- l'indépendance des bases de connaissances des applications métier du système de modélisation géométrique et de calcul par éléments finis,
- la lisibilité et la cohérence des règles métier des bases de connaissances,
- l'enrichissement des savoir-faire de conception, élément clef de la compétitivité des organisations,
- le partage des savoir-faire de conception, fabrication, montabilité, validation, maintenance, ..., élément clef de la stabilité des organisations et de la formation des nouveaux embauchés,
- la promotion dans l'Entreprise d'une démarche de "conservation de la Mémoire Technique",
- la maîtrise de la qualité des conceptions des sous-traitants, dans une démarche d'Entreprise Etendue,
- ...

10. - TABLEAU de SYNTHESE

Le tableau de synthèse ci-après présente l'évolution des différents moyens XAO de conception et de développement des produits industriels au travers des temps (de -2010 à 2010):

	No-AO	DAO	CAO	Know How
Moyen technique	Conception Générée par l'Homme	Dessin Assisté par Ordinateur	Conception Assistée par Ordinateur	Conception Assurée par les Connaissances
Acronyme	HGD	CAd	CAD/CAM	KAD/KAM
Signification anglo-saxonne	Human Generated Design	Computer Aided Drafting	Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing	Knowledge Aided Design / Knowledge Aided Manufacturing
Génération	Manuelle	Graphique	Géométrique	Cognitive
Définitions géométriques	2D morte	2D interactif	3D interactif	3D automatisé
Bénéfices utilisateur	Dialogue inter-métiers aisé	Modifications des dessins aisées	Simulations statiques et dynamiques aisées	Définitions justes du premier coup au meilleur coût
Qualité principale des conceptions	Créativité	Propreté	Echangeabilité numérique	Assurance qualité et Réactivité
Années de déploiement	-2010 à 1980	1970 à 1990	1980 à 2000	1990 à 2010
Durée d'1 cycle de conception	50 à 10 ans	15 à 5 ans	9 à 3 ans	3 à 1 an
Détenteur des connaissances de conception	Homme	Homme	Homme	Homme + Machine
Contrôle du dessin	Cerveau humain	Cerveau humain	Cerveau humain	Cerveau humain + Moteur d'Inférences
Exécution du dessin	Main + Stylo encre	Main + Souris	Main + Souris	Base de Connaissances
Exemples d'outil de dessin	ROTRING™	AUTOCAD™	CATIA™	CAD-X1™
Support visuel	Calque	Ecran	Stéréolithographie	Maquette numérique
Dessin 2D	Manuel	Assisté	Semi-automatisé	Semi-automatisé
Maquette 3D	Physique	Physique	Numérique Assistée	Numérique Automatisée
Tests et Essais	Physiques	Physiques	Numériques	Numériques
Génération des gammes d'usinage	Manuelle	Manuelle	Assistée	Automatique
Limitations	Ambiguïtés et interprétations	Cohérence topologique	Respect des règles de conception	Conception innovante
Exemples de limitations	<i>Ensemble de toutes les limitations ci-après</i>	Formes topologiquement impossibles	Formes géométriques non usinables et/ou non montables	Magnétoscope à enregistrer les rêves

11. - CONCLUSION

Ce papier présente l'avènement de la **génération cognitive**, dite KAD/KAM, des outils de CAO. Son objectif premier est la **conception assurée par les connaissances** de couples produit/procédé.

Contrairement aux outils de CAO classiques qui ont tendance à mettre en avant l'ordinateur, la génération KAD/KAM explicite le rôle déterminant des connaissances et savoir-faire, véritables artisans de l'acte de conception. Ces connaissances sont alors partagées par l'homme et la machine, la créativité et la dextérité humaine complétant harmonieusement le systématisme et de la fiabilité électronique.

Par la génération automatisée des formes géométriques des produits et procédés industriels conçus de manière routinière et par l'explicitation a priori des degrés de liberté de conception restants, l'impact qualitatif et quantitatif de la génération KAD/KAM sur la réduction des cycles de conception et sur la fiabilité des définitions numériques est considérable.

La conclusion de ce papier peut alors s'appuyer sur une citation du Professeur des Universités Pierre OLERON de la Sorbonne:

- "A la limite, confier la plus large part des raisonnements que requiert la vie scientifique, technique, pratique à des ordinateurs n'est pas dégrader une capacité dont l'homme a tout lieu, à juste titre, d'être fier. C'est un moyen pour lui permettre de l'exercer, au-dessus des routines, sur l'essentiel ..." [Ole1],

et sur celle de l'industriel Jean Paul SIBEUD, Chef du Bureau d'Etude Prototype de Renault Véhicules Industriels, qui écrit dans un mémoire personnel de notes techniques après 40 ans de carrière:

- "L'expérience acquise lors d'une mise au point (d'un produit) reste dans la tête de celui qui a exécuté ce travail, elle est incommunicable parce qu'elle n'est pas formatée selon les concepts de la connaissance scientifique.

Il est possible de réduire, voire de supprimer à terme la mise au point (d'un produit) lorsque l'on aura constitué des banques de connaissances et de savoir industriels.

... (Il s'agit) de rédiger un mémoire de la connaissance acquise que l'on pourra ainsi réinjecter au niveau de la conception d'un nouveau produit" [Sib1].

12. - BIBLIOGRAPHIE

[Afn1]: AFNOR, *Gérer et assurer la qualité*, p. 156, Tome 1, Concept et Terminologie, 1994.

[Chr1]: Chrétien F., "Ingénierie simultanée: exemple de réalisation CAO dans le domaine de la conception de pièces en tôle", *Congrès SIA sur la Maîtrise des Processus*, Paris, France, Déc. 1992.

[Gec1]: GEC ALSTHOM Transport, Ets ACR, "IMPACT: Intégration de Méthodes Pour l'Aide à la Conception", *Document interne*, Juin 1997.

[Kad1]: KADE-TECH, "Eléments méthodologiques CYGMA: CYcle de vie et Gestion des Métiers et des Applications", *Document interne*, Mars 1997.

[Ole1]: Oleron P., *Le Raisonnement*, p.125, Collection Que Sais-je ?, Presse Universitaire de France, 1989.

[Ser1]: Serrafiero P., "KAD/KAM: la 3ème génération CFAO", *Congrès International SIA sur la CAO et les Bases de Données en Développement Automobile*, Lyon, France, Mars 1994.

[Ser2]: Serrafiero P., "Ductcess Design ou la conception simultanée de couples produits/procédés congruents", *4ème Colloque PRIMECA sur la Conception Mécanique Intégrée*, La Plagne, France, Avril 1995.

[Ser3]: Serrafiero P., Bourne C., "Catégorisation et formalisation des connaissances industrielles", *Connaissances et Savoir-Faire en Entreprise*, chap. 9, Edition Hermes, 1997.

[Ser4]: Serrafiero P., "Design for Manufacturing: the example of cut and bent sheet metal parts. An overall view and validated computerized solutions", *International Symposium of FISITA on the Integration of Design and Manufacture*, Londres, Grande Bretagne, Juin 1992.

[Sib2]: Sibeud J.P., Mémoire personnel de notes techniques, *Cours de Formation*, Institut du GI-TASS, Lyon, France, 1993.

ANNEXE A1: Objectif du système KAD/KAM IMPACT

Avec l'aimable autorisation de GEC ALSTHOM TRANSPORT, Etablissements ACR:

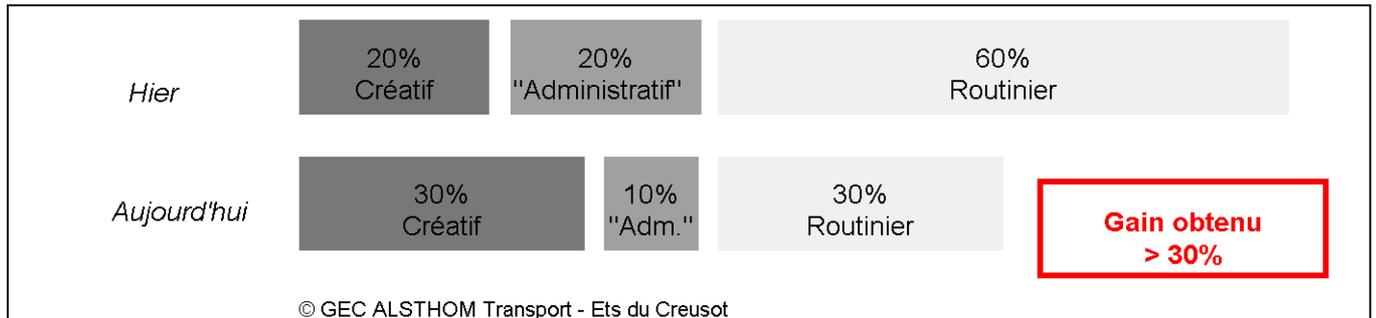


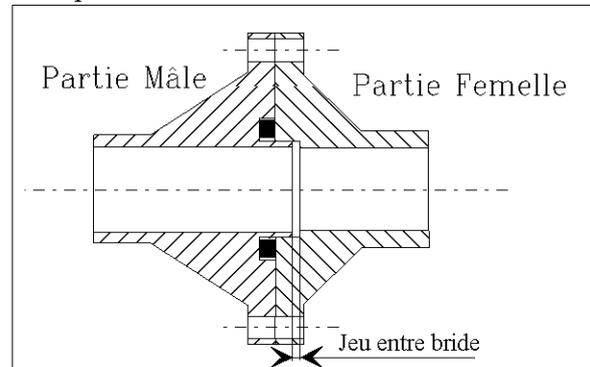
Fig 1: Objectif quantitatif pour la mise en place du système A.M.I. IMPACT de conception KAD/KAM assurée par les connaissances.

ANNEXE A2: Extraits du Bréviaire des Connaissances FLANGE

BRIDE FACE-FACE:

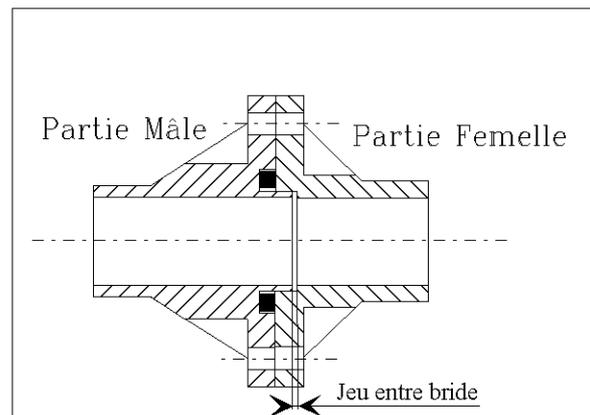
Une liaison à brides FACE-FACE est un assemblage qui se distingue des liaisons à BRIDES à TALON par l'absence de JEU INTER-PLATEAUX. Elle est composée de:

- une VISSERIE,
- une PARTIE MALE,
- une PARTIE FEMELLE,
- une SOLLICITATION,
- un ENCOMBREMENT OPTIMAL,
- un *JEU ENTRE BRIDES*,
- un JOINT,
- une COLLERETTE



et dans le cas d'une bride avec lamages :

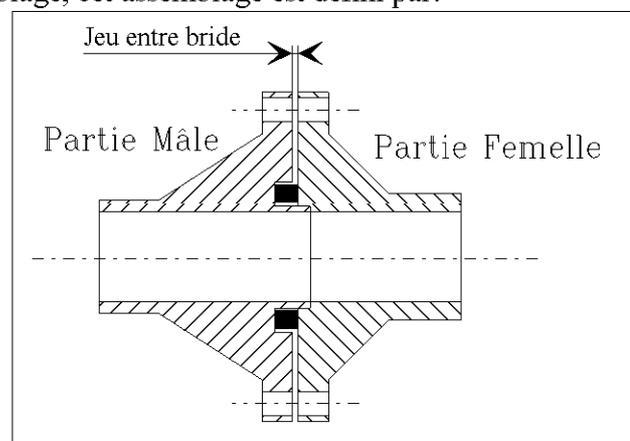
- un LAMAGE.



BRIDE à TALON:

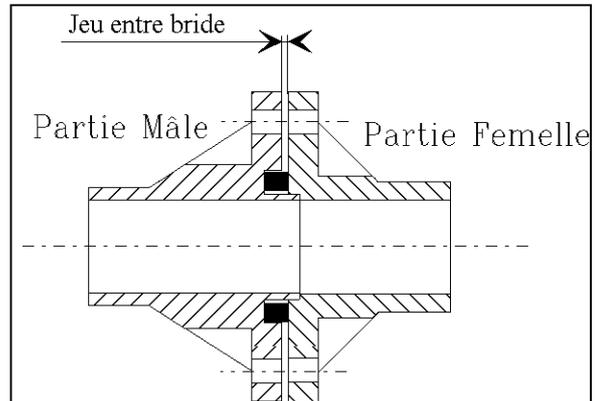
Une liaison à brides à TALON est un type d'assemblage, cet assemblage est défini par:

- une VISSERIE,
- une PARTIE MALE,
- une PARTIE FEMELLE,
- une SOLLICITATION,
- un ENCOMBREMENT OPTIMAL,
- un *JEU ENTRE BRIDE*,
- un JOINT,
- un TALON.



et dans le cas d'une bride avec lamages :

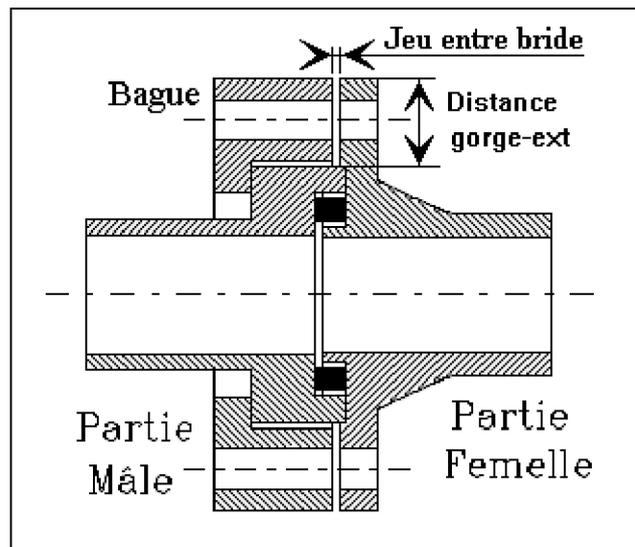
- un LAMAGE.



BRIDE TOURNANTE:

Une liaison à brides TOURNANTE est un assemblage qui se distingue des deux autres types de BRIDES par l'ajout d'une troisième pièce (une BAGUE). La présence d'un JEU INTER-PLATEAUX est nécessaire. Elle est composée de:

- une VISSERIE,
- une BAGUE,
- une COLLERETTE,
- une PARTIE MALE,
- une PARTIE FEMELLE,
- une SOLLICITATION,
- un ENCOMBREMENT OPTIMAL,
- un *JEU ENTRE BRIDE*,
- un JOINT.



Projet : FLANGE	Ref. : COLL-DIME-FF02	Date D-1 : (néant)	Date D : 18/05/93
Type de connaissance :	<input type="checkbox"/> Privée SEP	<input checked="" type="checkbox"/> Publique	Version : 1.0
Titre: <u>Définition de l'angle de chaque COLLET</u>			

ORIGINE :**OBJECTIF :**

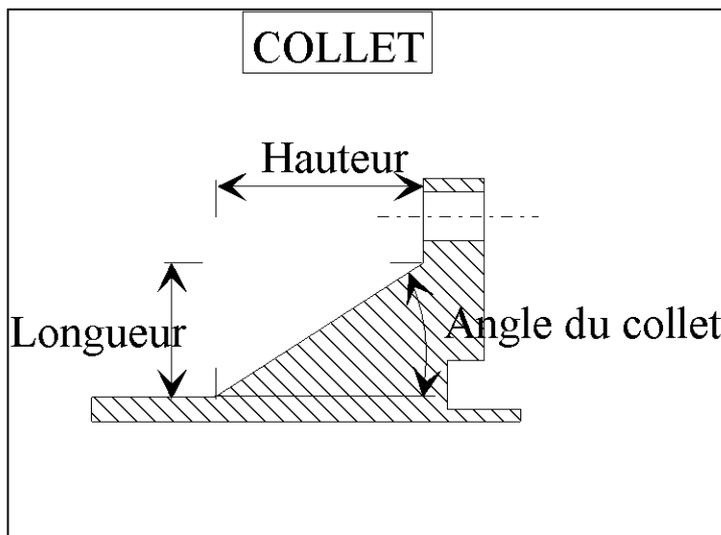
Définir l'**Angle-en-radian** de chaque COLLET.

HISTORIQUE :**DESCRIPTION / EQUATION :**

(La **Hauteur** de *chaque* COLLET)² + (la **Longueur** de *chaque* COLLET)² =
(L'hypoténuse de *chaque* COLLET)².

sin (l'**Angle-en-radian** de *chaque* COLLET) =
la **Longueur** de *chaque* COLLET / hypoténuse de *chaque* COLLET.

L'**Angle-en-radian** de *chaque* COLLET = l'**Angle-du-collet** de *chaque* COLLET $\times \frac{\pi}{180}$.

SCHEMA :**REMARQUES :**

L'Angle en degré de chaque COLLET est un paramètre utilisé pour mailler une Bride.

Projet : FLANGE	Ref. : BAGU-CALC-TO01	Date D-1 : 02/06/95	Date D : 28/06/95
Type de connaissance : <input checked="" type="checkbox"/> Privée SEP		<input type="checkbox"/> Publique	Version : 1.1
Titre: <u>Prise en compte de la contrainte de cisaillement pour définir la BAGUE</u>			

ORIGINE :

Réunion du 31 Mai 1995 avec la SEP.

OBJECTIF :

Dimensionner la bague en fonction de la contrainte de cisaillement.

HISTORIQUE :

Correction suite au fax du 23/06/93.

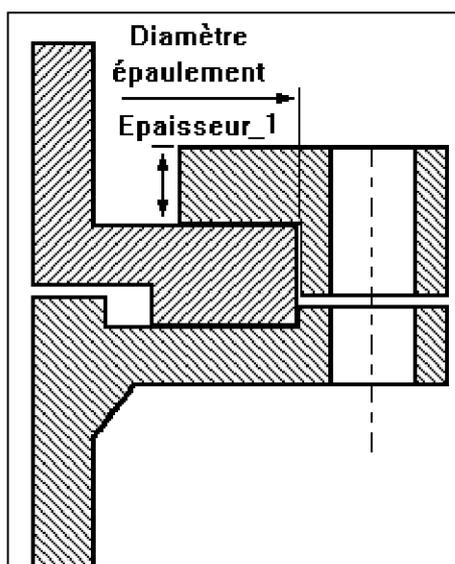
DESCRIPTION / EQUATION :

Surface-cisaillée = $\pi \times$ **Diamètre-d'épaulement** de la BAGUE
 \times **Epaisseur-1** de la BAGUE.

Force-serrage = **Effort-serrage-maxi-fix** de SOLLICITATION \times **Nombre-éléments-réels**.

$0,55 \times \sigma_{0,2} =$ **Force-serrage** / **Surface-cisaillée**.

Epaisseur-1 de la BAGUE = **Force-serrage** \div (π
 \times **Diamètre-d'épaulement** de la BAGUE $\times 0,55 \times \sigma_{0,2}$).

SCHEMA :

ANNEXE A3: Exemple de Base de Connaissance en "Product Design"

Avec l'aimable autorisation de la SEP, Etablissements de Vernon:

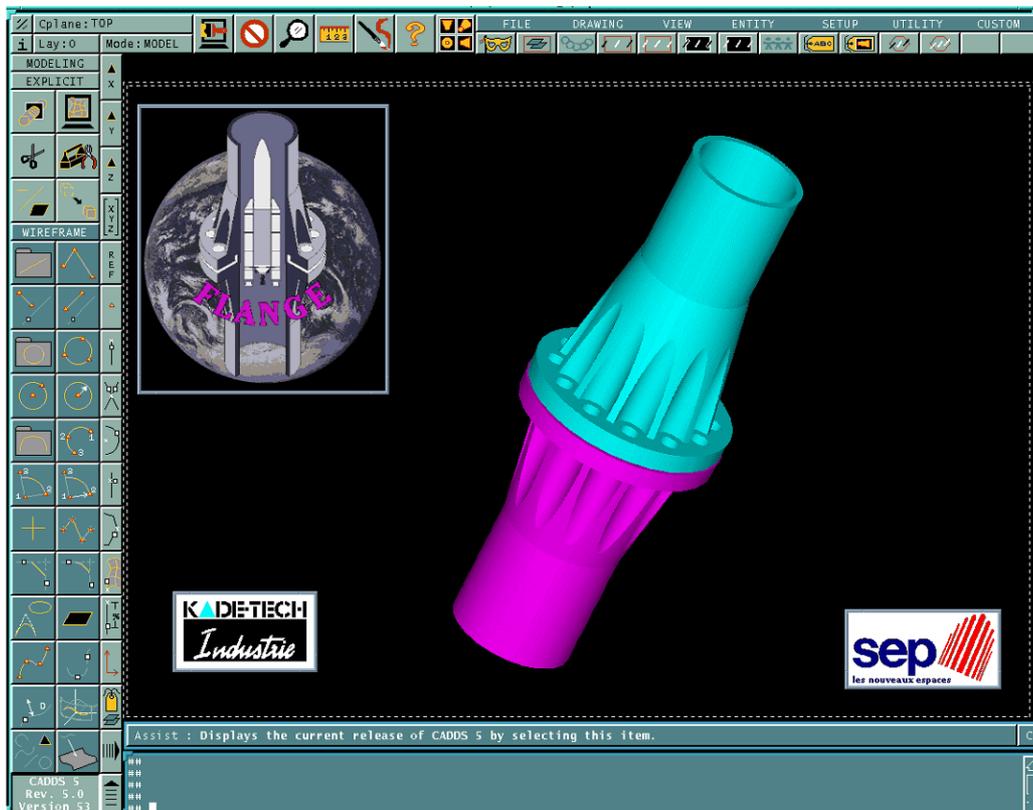


Fig 2: Le modèle tridimensionnel de la liaison à brides optimale proposée par l'A.M.I. FLANGE montre les lamages qui permettent le passage des vis et un encombrement réduit.

ANNEXE A4: Exemple de Base de Connaissance en "Part Design"

Avec l'aimable autorisation de DANFOSS (Danemark), Etablissements de Nordforg:

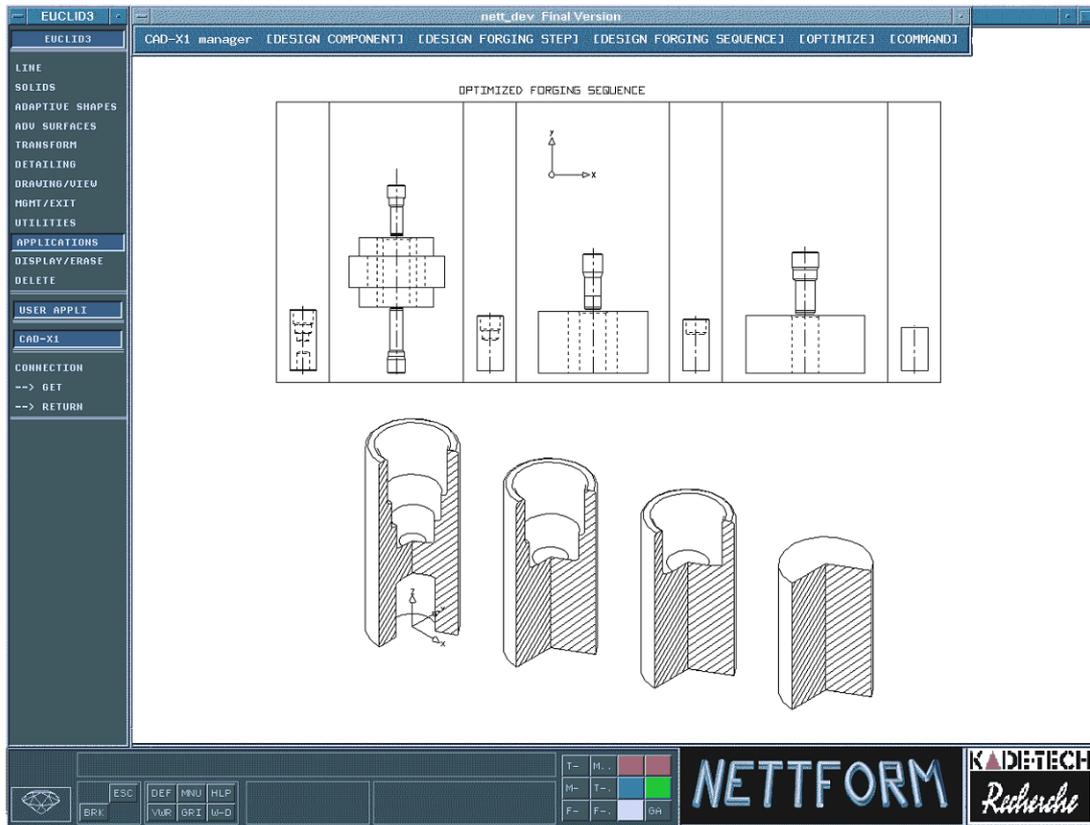


Fig 3: Le processus complet de forgeage est présenté simultanément avec la définition finale de la pièce. Ici, l'A.M.I. NETTFORM optimise la gamme de forgeage: 2 opérations de forgeage sont réalisées lors d'une même phase.

ANNEXE A5: Exemple de Base de Connaissance en "Process Design"

Avec l'aimable autorisation d'EUROCOPTER, Etablissement de Marignane:

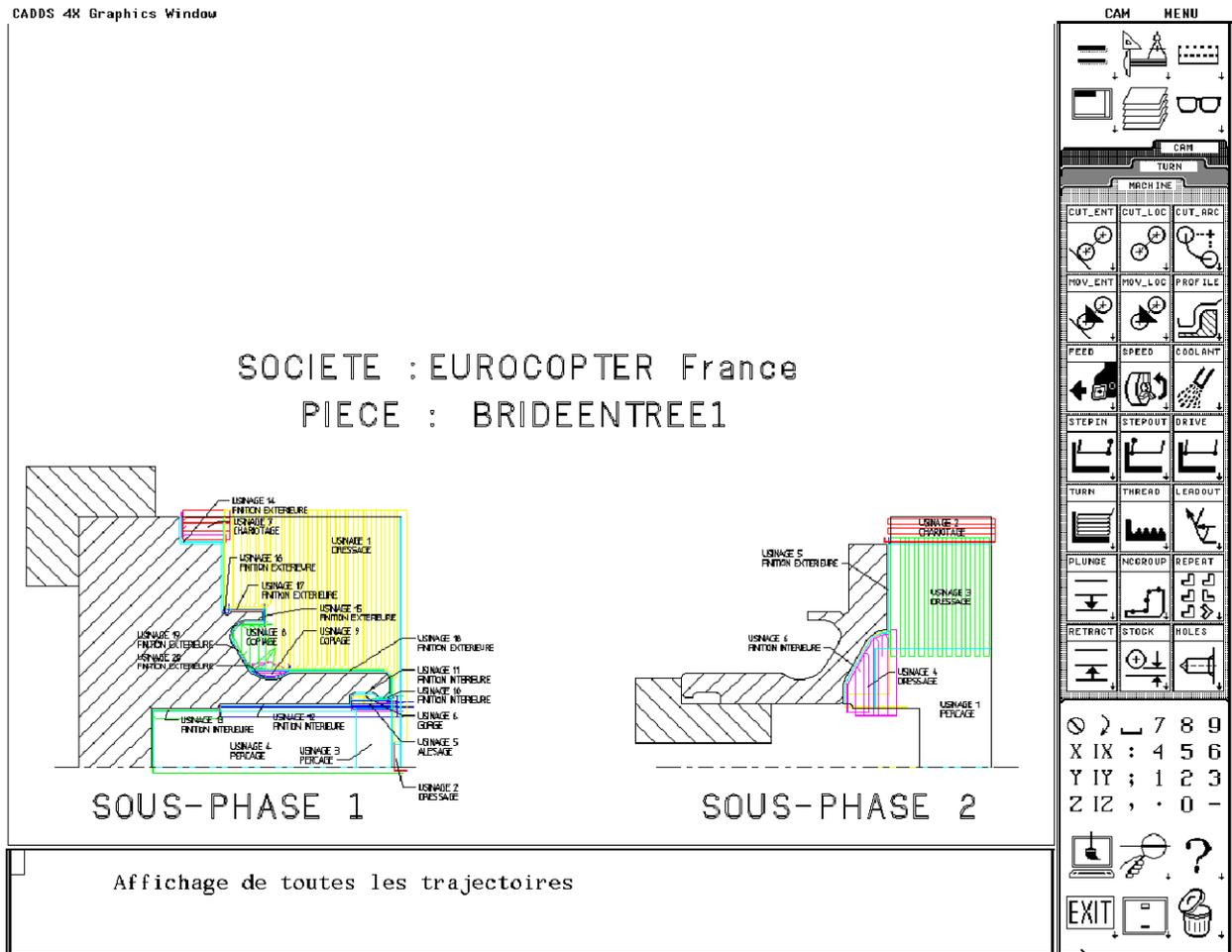


Fig 4: L'A.M.I. ATOU-Tour propose automatiquement le contenu détaillé d'une sous-phase de tournage à partir de la connaissance du profil final à usiner, du profil brut et des capacités machine.