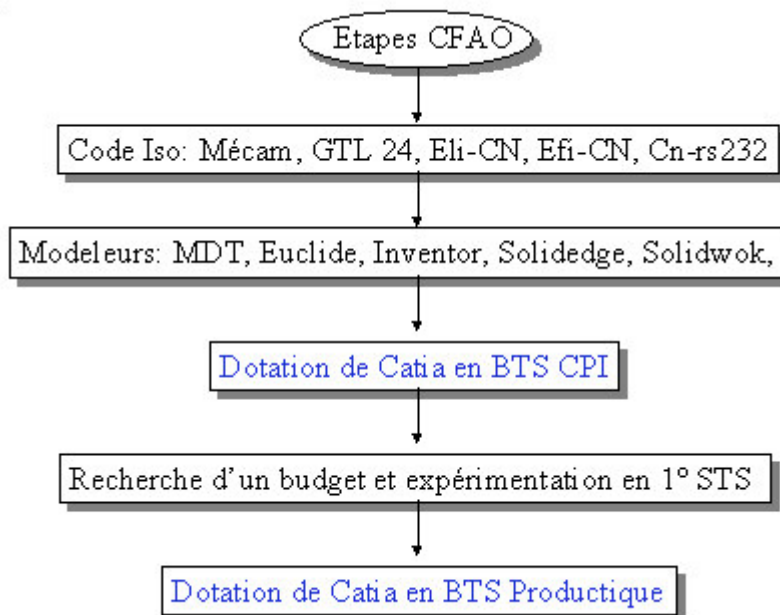


La chaîne numérique

Chaîne numérique, ingénierie simultanée, voilà des mots qui résonnent souvent à nos oreilles ces dernières années. Derrière ces mots, des concepts, mais aussi une nécessité de technologies adaptées. La récente diffusion massive de Catia dans l'éducation nationale favorise ce saut technologique dont nous avons besoin pour faire passer la théorie à la pratique. L'objectif du présent article est de partager un vécu technique et pédagogique dont le champ d'expérience est le BTS productique et CPI au lycée Jean Jaurès d'Argenteuil.

Un petit historique de la CFAO au lycée Jean-Jaurès d'Argenteuil

Tout d'abord, replaçons notre démarche dans son contexte historique. Depuis les débuts de la DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) nous nous sommes efforcé de choisir les mêmes logiciels en STS CPI (Conception de Produit Industriel) et en STS Productique afin de rendre possible la chaîne numérique. Notre première expérience avec Mécad-Mécam de Concepts Infographiques, du 2D, nous a permis d'élaborer nos critères de choix en matière de CFAO (Conception et Fabrication Assisté par Ordinateur). Ainsi, pour nous, la présence du logiciel dans l'industrie est un facteur déterminant : à l'étape suivante notre préférence est donc allé à Autocad, le logiciel le plus diffusé au monde. Le langage Lisp intégré à Autocad a permis le développement d'applicatif FAO comme Efi-CN par exemple.



Quand l'approche 3D et ses modeleurs sont apparus, c'est tout naturellement vers Mechanical-Desktop d'AutoDesk que nous nous sommes tournés. Mais la concurrence : SolidWork, SolidEdge, Euclide, était lourde et présente.

Notre volonté de choisir un produit CFAO et non CAO nous a fait à attendre. Bien sûr le côté budgétaire nous incitait aussi à attendre.

C'est la dotation d'une salle Catia pour le BTS CPI qui débloqua notre attente. Certes le produit paraissait complexe mais rien à voir avec Catia V4. Bien sûr l'ergonomie n'est pas celle d'Inventor ou de Solidwork mais nous nous adressons à des techniciens supérieurs et surtout, il y a une FAO native.

Après avoir suivi la formation modeleur, nous découvrons la FAO Catia V5 R9. Le produit n'est pas complètement fini, en tournage notamment, mais quel écart déjà avec la V5 R6 dont nous avons eu une démonstration quelques mois auparavant. Nous prenons alors la décision d'adopter Catia en STS Productique et montons un dossier à la région pour le financement d'une salle. En attendant notre chef des travaux négocie 20 licences supplémentaires à bon prix avec D.S. afin de pouvoir commencer l'expérimentation avec nos étudiants.

Comme on peut le noter, Catia CFAO à Jean Jaurès ce n'est pas une imposition, ni une solution parachutée, c'est l'aboutissement d'un processus cognitif et pédagogique de plusieurs années et en équipe. Je crois que ceci est un point clef de notre projet.

À ce jour voilà plus d'un an que nous tournons avec Catia CAO et FAO en STS et nous en sommes pleinement satisfait.

Notre démarche située, abordons des aspects plus généraux.

La chaîne numérique et le « PLM ».

La chaîne numérique CAO et CFAO s'inscrit directement dans un projet plus large, celui de la gestion de la vie d'un produit : Product Lifecycle Management en anglais dont les initiales sont P.L.M. En effet, la compétitivité industrielle nécessite l'optimisation de ce cycle de vie afin « gagner de l'argent pour faire vivre ses acteurs ». Une des meilleures stratégies actuelles pour « gagner de l'argent » est certainement la Qualité c'est-à-dire satisfaire les besoins du client. Ne nous voilons pas la face, la Qualité n'est pas un vraiment un objectif mais plutôt un moyen.

La chaîne numérique est une bonne solution pour la maîtrise du PLM. Tout comme un tableur va permettre aux gestionnaires de faire des simulations, puis des prévisions, et enfin de suivre le réel afin de réagir en cas de dérives, la chaîne numérique va permettre ces trois étapes au niveau du cycle de vie du produit.

Le PLM ce n'est pas que la CAO et la CFAO, cela commence à la saisie du besoin du client et peut aller jusqu'à la fin de vie du produit ou plutôt la naissance du produit suivant.

On comprend bien, à moyen terme, que le PLM intégrera les données commerciales et financières en plus de données techniques.

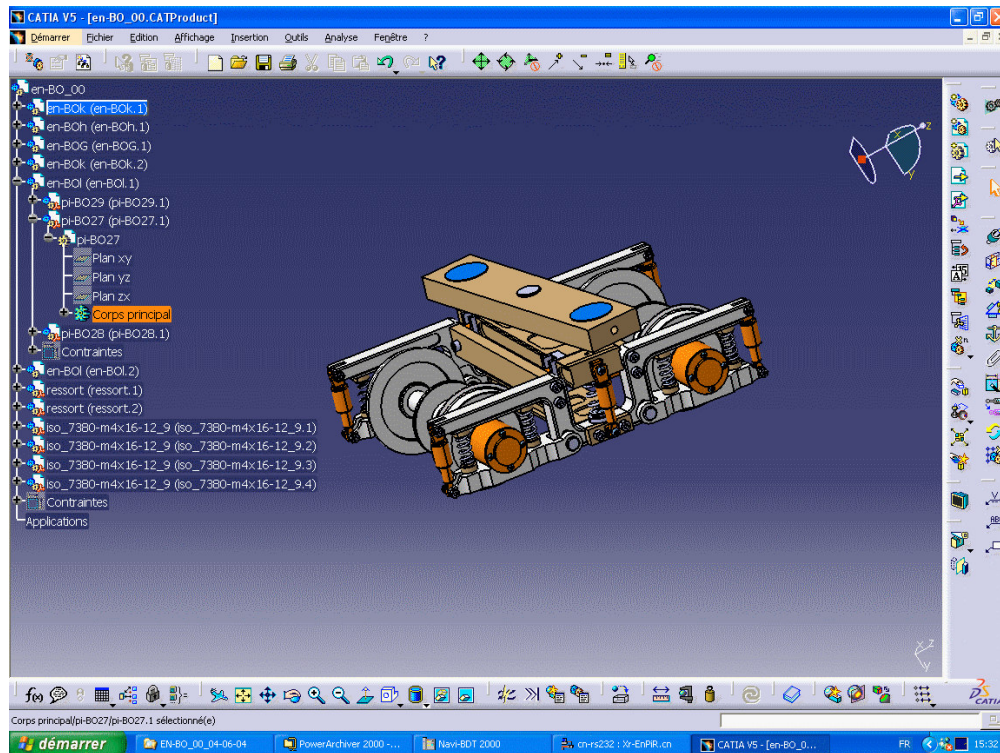
Dans le cadre de ce PLM nous intéressons, dans cet article, au sous-système conception et fabrication, car il concerne directement nos techniciens supérieurs en sciences et techniques industrielles.

Les principaux maillons de la chaîne numérique :

La conception assistée par ordinateur (CAO).

Chronologiquement, commenceront à la saisie du besoin qui débouche sur le cahier des charges fonctionnel. Le dessin, le produit va donc être une réponse à ce cahier des charges fonctionnel. Les fonctions de services vont trouver, au fur et à mesure de la conception, leur réalisation à travers des fonctions techniques elle-même, étant le résultat d'assemblages et de formes. Si l'on ne veut pas détruire dès le départ la chaîne numérique, on dit souvent ne pas couper la chaîne, il est impératif qu'à travers le modeleur 3D s'exprime notre intention. Cette intention de conception sous-tend bien sûr le cahier des charges fonctionnel. Et là, déjà, c'est un nouveau concept à mettre en place : à la fin de la conception le produit doit être à même de suivre notre intention de conception. Cela peut sembler bien obscure, mais appliqué à un cas concret, cela devient une évidence. Si j'ai dessiné un wagon qui doit pouvoir être produit pour une voie large ou une voie étroite, je dois pouvoir saisir ma largeur de voie et tout mon ensemble doit suivre, tout doit se mettre aux bonnes cotes. Ceux qui connaissent bien le modeleur voit bien sûr la solution, il s'agit du paramétrage.

Reprenons, afin de ne pas briser la chaîne numérique, le concepteur doit faire passer son intention de conception au travers de ses constructions formes ou assemblages. À chaque fois que le cahier des charges impose une flexibilité, le concepteur va devoir paramétrer les formes, les jeux ou les positions relatives afin de satisfaire cette flexibilité.



Pour tous ceux qui n'en auraient pas l'expérience, on peut ici noter une différence fondamentale entre la DAO et la CAO, entre le dessin et la conception. À la fin d'un travail de DAO, sur la sortie papier, peu importe que le dessinateur ai commencé par le cartouche, le brut extérieur non fonctionnel ou le montage de roulements. De même, peu importe qu'il ai fait sa cotation à la fin. En CAO, en revanche, si l'on veut garantir la chaîne numérique, le concepteur doit tout d'abord poser les formes fonctionnelles puis coter au fur et à mesure. En un mot, au premier trait, il faut déjà savoir où l'on va ! Un schéma à main levée pour fixer les grandes lignes du projet (surtout s'il ne s'agit pas d'une re-conception) devient un préalable nécessaire.

On pourra évaluer la pertinence d'une conception au sens « intention de conception » en évaluant le temps nécessaire pour obtenir un assemblage 100 % correct suite à une modification d'une des caractéristiques cahiers des charges fonctionnel.

Avançons sur notre chaîne numérique, le maillon suivant est la FAO, mais gardons bien à l'esprit que les cotes vont vivre et peuvent donc changer.

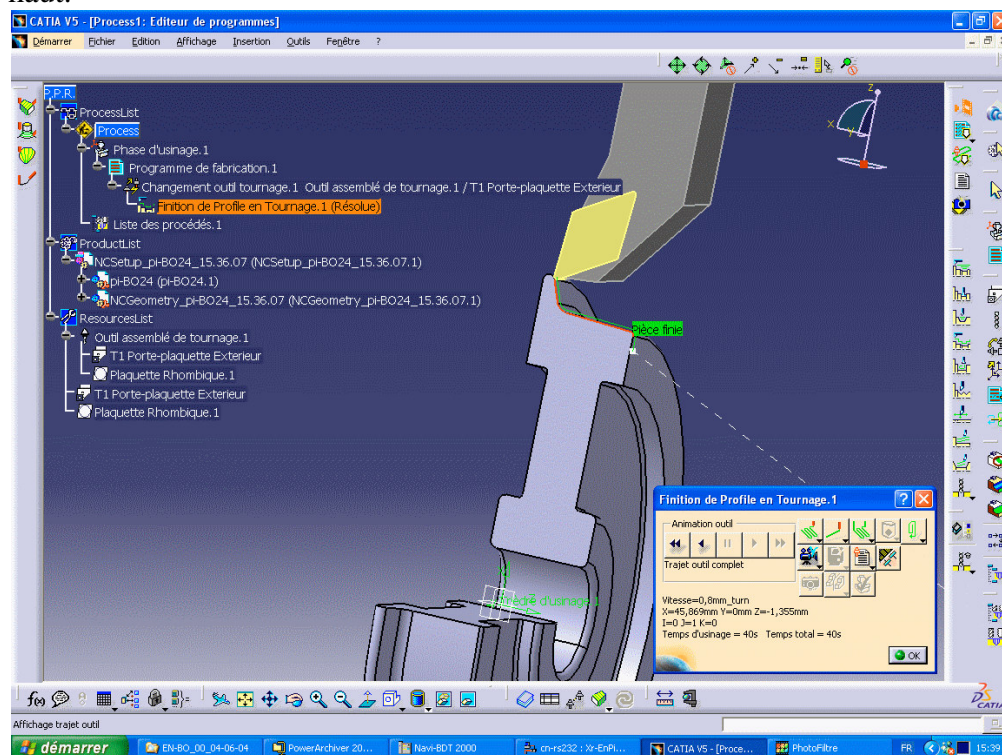
La fabrication assistée par ordinateur (FAO).

Le principe de base de la fabrication assistée par ordinateur est de pouvoir reprendre la géométrie de la pièce afin de pouvoir générer le code qui pilote la machine à commande numérique. Là encore la difficulté est de ne pas rompre la chaîne. Regardons ce qui se passait couramment il y a encore quelques années :

Le bureau d'études exporte les pièces dans un format dit normalisé. Le fabricant essaie d'importer ce fichier mais doit pour cela ... avoir exactement le même numéro de codec ! L'import effectué, il faut nettoyer la géométrie. En deux dimensions par exemple, il faut supprimer les hachures, les traits de cotation et certains traits de construction si nécessaire. En trois dimensions il faut refaire quelques raccords ou supprimer quelques surfaces inutilisées, bref effacer les « petits problèmes d'importation » (amusez-vous à faire un export et dans la foulée de refaire l'import de ce même fichier juste pour voir ...). Si le fabricant a bien fait tout ce travail le lien est conservé, mais il devra le refaire à chaque modification du dessin, à chaque changement d'indice ! Aussi, souvent, le fabricant n'a pas envie de « s'embêter », et, la plupart de temps du temps, surtout si les formes sont simples, il va redessiner la pièce et va ressaisir la géométrie sur le module de dessin incorporé à son logiciel de FAO. Et là bien sûr, la chaîne numérique est brisée !

Supposons maintenant que l'import du fichier dans un format d'échange soit parfait. Les dimensions de la géométrie ne sont pas forcément aux cotes nécessaires à la fabrication et le brut n'est pas non plus forcément fourni. Généralement les cotes sont dessinées au nominal et non pas à la cote moyenne. Il va donc falloir au producticien, à travers son logiciel de FAO, reprendre la géométrie fournie. Pour cela, le logiciel doit disposer d'une part, d'une fonction qui tout en gardant l'associativité permette de mettre aux cotes nécessaires pour la fabrication et, d'autre part, d'une fonction permettant de définir le brut. Résumons-nous, afin de maintenir la chaîne numérique cohérente, le logiciel de FAO doit pouvoir générer une géométrie de pièce à partir de celle issue du bureau d'études en fonction des impératifs de production. Bien sûr la géométrie issue du bureau d'études ne devra pas être modifiée, mais elle servira de support, de base aux surépaisseurs par exemple.

La performance du logiciel pourra être évaluée en mesurant le temps nécessaire à obtenir une géométrie compatible avec la fabrication **suite à une modification du bureau d'études**. Attention, il y a bien sûr la notion de temps qui intervient mais aussi et surtout la notion de sûreté, de sécurité : Est-on sûr de ne rien oublier ? Ceci écarte le fait de « tout refaire » à chaque modification du BE comme évoqué plus haut.



La machine-outil à commande numérique (MOCN).

Continuons à parcourir notre chaîne numérique. Le fabricant va donc choisir et simuler des solutions, des procédés d'usinage, avec son logiciel. Plus le logiciel sera souple d'utilisation, plus notre concepteur de processus pourra essayer de variantes et optimiser le processus retenu. La FAO joue ici un rôle d'aide à la décision important en permettant de « jouer » plusieurs scénarii.

Ensuite vient une étape moins virtuelle : la fabrication de la première pièce sur la plate-forme de production. En fonction de la réalité du terrain, il va falloir adapter le processus et le transformer en code compréhensible par la machine-outil. Cette étape se nomme post-processing et nécessite un logiciel interface complémentaire : le post-processeur (PP).

De nouveau, nous nous posons la question de l'intégrité de la chaîne numérique. Est-ce que le code généré par le post-processeur permet de piloter directement la machine à commande numérique ou faut-il passer par une phase manuelle de reprise du code ? Dans de nombreuses entreprises, la FAO reste une aide à la programmation, le programme ISO généré est une bonne base pour le futur programme. Donc, pour garder l'intégrité de la chaîne numérique, premier impératif, avoir un PP qui sort du code bon à 100 %. Mais cela ne suffit pas ! En effet, lors du déverminage de la pièce 0, de nombreux aléas vont nécessiter des mises au point et, si le poste de CFAO n'est pas au pied de la machine, directement accessible au régleur, les corrections se feront sur le code et non sur le process, la chaîne numérique sera donc rompue.

Ce dernier point a été et est toujours le problème des grands donneurs d'ordre qui fonctionnent avec Catia V4, Euclide, etc.. Comme la finalisation est faite par un régleur directement au niveau du code, le processus n'est ensuite pas remis à jour ou rarement. La qualité des PP actuels, qui sont souvent de véritable langage de programmation, le niveau de formation de régleur et la présence d'un ordinateur doté de la FAO au pied de la machine permet, maintenant de ne plus rompre la chaîne numérique.

La métrologie (MMT).

On considère, souvent à tort, que la chaîne numérique s'arrête à la pièce 0. En réalité, même si à l'heure actuelle les logiciels de CFAO n'intègrent pas ce dernier maillon géométrique, la chaîne continue par la métrologie de la série.

Que ce soit via une machine à mesurer tridimensionnelle ou un micromètre numérique, où tout autres instruments de mesure digitalisés, l'analyse mathématique des dimensions obtenues sur les pièces de la série va permettre de valider, ou du moins de quantifier, les écarts géométriques obtenus sur l'ensemble des pièces. Cette analyse des dispersions nous amène naturellement envisager un re-bouclage sur la première étape, le tolérancement de la conception. L'analyse des dispersions sur la série doit permettre de valider ou non, les intervalles de tolérance mis par le bureau d'études (IT).

Comme nous le disions plus haut, à ce jour, peut de produits logiciels permettent de faire ce bouclage de façon intégrée à la CFAO. Cela vient en grande partie du fait que les modeleurs ont encore des progrès à faire en termes de tolérancement. Si le projet de normes de cotation GPS, avec des positions théoriques et des variations autorisées autour de cette position théorique, est une solution mathématiquement acceptable pour un modeleur, il faudra encore quelques années avant que l'intégration soit complète.

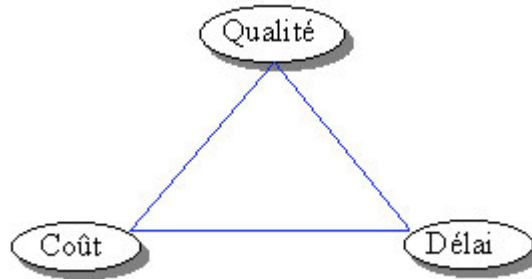
Voilà, nous venons en quelque sorte d'établir les grandes lignes d'un cahier des charges d'une CFAO qui intègre toute la vie géométrique du produit. Vous pouvez maintenant vous amuser à évaluer les

solutions que vous avez dans vos établissements en fonctions des critères, non exhaustifs, qui ont été évoquées ci-dessus.

Pour la suite, nous considérons que le support logiciel choisi est conforme à ces critères, notamment de maintien des associativités afin de garantir l'intégrité de la chaîne numérique.

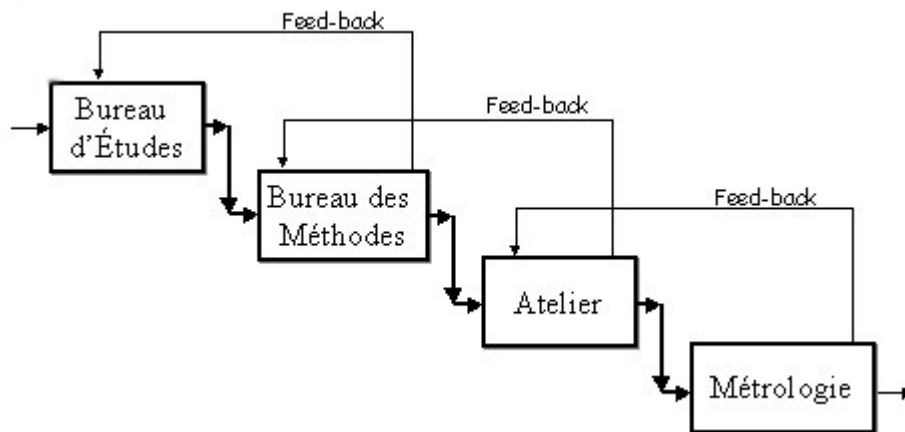
L'ingénierie simultanée

Ré-évoquons les concepts de base de la compétitivité industrielle :



Afin d'être compétitif, une société doit vendre des produits de qualité, c'est-à-dire conforme au cahier des charges du client. Mais ce produit conforme ne doit pas être fabriqué à perte. Et comme souvent : le temps c'est de l'argent, cela veut dire qu'il faut maîtriser les temps de production afin de maîtriser les coûts (Conceptions à Coût Objectif ou CCO). Enfin les premiers, c'est-à-dire les plus rapides, auront un avantage concurrentiel certain, d'où la nécessité de réduire la longueur du cycle d'élaboration du produit.

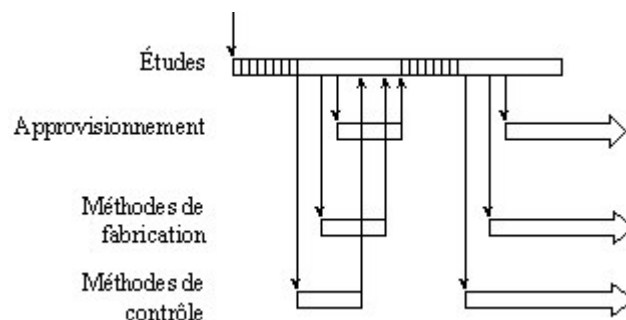
Ceci étant posé, on comprendra mieux comment et pourquoi les bouclages ci-dessous peuvent permettre d' accroître la rentabilité, la compétitivité d'une entreprise.



Si les boucles de feed-back ou de contre-réaction de la figure existent, le système sera pilotable vers un objectif, vers un coût objectif par exemple (CCO).

Maintenant au lieu de voir ce système comme un système asservi, regardons le comme un flux poussé (boucle ouverte). Il faudrait attendre la fin de chaque étape pour passer la suivante sauf si l'on anticipe, si l'on chevauche les activités. Et, chevaucher les activités n'est possible que si il y a ses fameuses boucles de contre-réaction.

Détaillons un peu cette façon de piloter un projet que l'on nomme l'ingénierie simultanée :
 Commençons par prendre le cas de l'étude d'une nouvelle pièce, d'un nouvel ensemble, d'un nouveau produit. Dans ce cas, si le bureau d'études conçoit en respectant ce que nous avons dit précédemment, à savoir commence par les cotes fonctionnelles et met la cotation au fur et à mesure des besoins, le fabricant, le bureau des méthodes, pourra commencer ses essais sur des modèles 3D en cours d'élaboration. Le fabricant va donc utiliser la pièce du bureau d'études non finalisée de façon à pouvoir élaborer les différentes stratégies d'usinage des formes fonctionnelles. Il va pouvoir essayer différents procédés et comparer les différentes solutions de processus. En fonction des résultats même partiels de ces essais, le fabricant va pouvoir « remonter » au concepteur les difficultés rencontrées ou, tout simplement, les temps et donc les coûts estimés !
 C'est principalement la démarche évoquée ci-dessus que l'on associe à l'ingénierie simultanée.



Prenons maintenant le cas le plus courant dans les entreprises, à savoir la re-conception d'un produit. Dans ce cas la, le cycle complet a déjà été parcouru au moins une fois, sinon plusieurs fois, et des données existent à chaque étape, à chaque niveau du projet. D'un côté l'atelier pourra faire remonter au bureau de méthodes les paramètres : vitesse de coupe, avance, profondeur de passe et les temps de réglage qui ont été validés lors des précédents projets. Ainsi, le bureau des méthodes va pouvoir renvoyer au bureau d'études une évaluation des temps, des coûts et de la faisabilité des formes. D'un autre côté le service métrologie, si les banques de données ont été renseignées et interprétées, va pouvoir faire remonter au bureau d'études les dispersions qui ont été couramment tenues. Le bureau d'études va alors pouvoir faire des choix plus réalistes pour la répartition des intervalles de tolérance. On voit bien que l'ingénierie simultanée va permettre de réduire les délais mais aussi d'être plus sûr des résultats obtenus. Face à une concurrence sévère c'est effectivement la méthode la plus efficace actuellement.

Conclusion.

Nous venons de retracer les grandes étapes de la chaîne numérique en la parcourant en détail. Cela nous a permis de mettre en évidence de nouveaux concepts et de nouvelles démarches. Mais tout ceci a aussi un impact sur l'enseignement qu'il ne faut négliger. En Productique par exemple, c'est une véritable révolution qu'il faudra savoir gérer et intégrer.