

La chaîne numérique (seconde Zoom sur la FAO

MARC POLIZZI^[1]

Voici (enfin!) la suite de l'article de Marc Polizzi, dont la première partie, parue dans le numéro 134 de la revue, présentait les points clés et les concepts de la chaîne numérique. L'auteur y insistait, à juste titre, sur l'importance de ne pas rompre cette chaîne. Il nous propose maintenant de découvrir comment lui et son collègue Philippe Gardes ont mis en œuvre une chaîne numérique non brisée en STS Productique deuxième année, et les conséquences que cela a eues sur l'organisation pédagogique de leur enseignement.

L'aventure « Bogie »

Le projet

L'idée générale était de trouver un support de thème pour le BTS qui puisse nous permettre de valider, en vraie grandeur, le concept de chaîne numérique en FAO.

Lors du salon du modélisme, mon collègue Philippe Gardes, admirant les très belles réalisations des clubs de vapeur vive, découvre aussi un format compatible avec nos moyens de production (un format correspond à un écartement des rails) : le format double 5 et 7 pouces, qui permet de promener des visiteurs **1**.



1 Le contexte d'utilisation des bogies

Discutant technique avec un responsable, il se rend compte d'un besoin en bogies. En effet, les passionnés types passent tout leur temps libre à faire *leur* machine à vapeur, mais, ensuite, peu d'entre eux prennent le temps de réaliser de beaux bogies — pourtant très visibles, comme on peut le remarquer sur la photo **2** — pour leur tender. Un tender est le premier wagon après

mois-clés

CAO, FAO, industrialisation, productique, projet, usinage

la locomotive ; il sert de réserve et de poste de pilotage. Un bogie est constitué de deux paire de roues qui s'adapte sur la voie ; il y en a toujours deux par wagon afin de pouvoir négocier les virages.

Un des adhérents du club de Sannois, M. J.-C. Breugnot, s'étant lui-même lancé dans l'aventure, nous accorde son soutien technique pour ce projet. Il peut nous fournir un bogie en 7 pouces (7") dont il est, à juste titre, assez fier. C'est donc de ce prototype que nous sommes partis.



2 La machine et son tender avec ses bogies

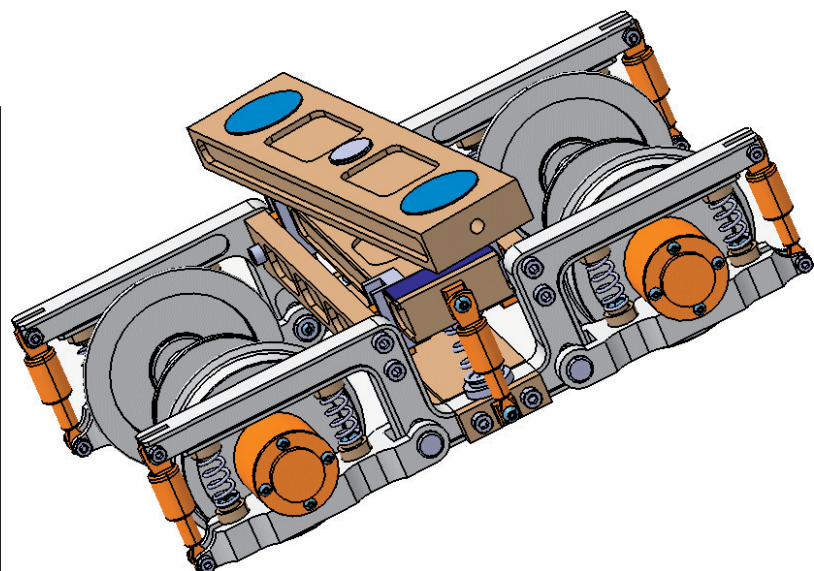
La conception du modèle numérique

Comme exposé dans la première partie de l'article (*Technologie* n° 134), une conception soutient une intention de conception. Ici, nous partons sur l'idée de faire un bogie 5" alors que nous disposons d'un prototype en 7". Mon collègue a donc conçu le bogie dans cette idée de flexibilité : le modèle doit pouvoir s'adapter aux deux largeurs de voies. Dans le cas d'une production « massive » de bogies, il serait possible d'équiper aussi les wagons de voyageurs. Du fait de la différence de longueur entre un tender et un wagon, l'empattement des roues doit varier ; un deuxième paramètre général pour le modèle numérique sera donc l'entraxe des roues. Enfin, la réduction de 7" à 5" pose aussi d'autres problèmes, des problèmes d'échelle. Aussi, avec l'aide des collègues de STS CPI, nous avons validé les différents composants standard comme les roulements à billes, les ressorts ou les billes de frottement dans les deux cas. Au final, tout ce qui peut varier entre le 7" et le 5" fut paramétré, mais cette fois en variables internes.

Le modèle numérique présenté en **3** donc été entièrement conçu sous Catia V5, non pas en recopiant les pièces du prototype, mais en construisant fonctionnel-

[1] Professeur agrégé de génie mécanique au lycée Jean-Jaurès d'Argenteuil (95).

partie)

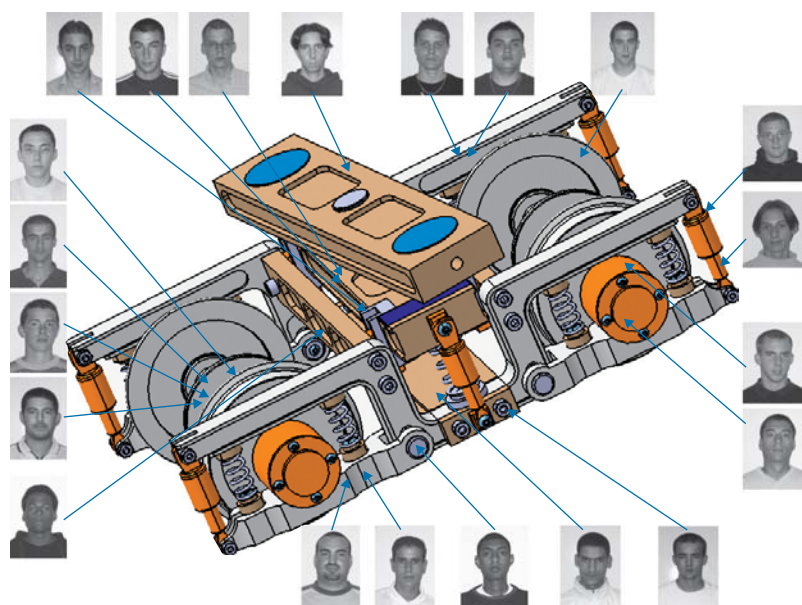


3 Le modèle numérique paramétré sous Catia V5

lement les sous-ensembles et en tenant compte des intentions de conception. En plus des paramètres internes à chaque sous-ensemble, il y a donc deux paramètres pilotant, deux grandes flexibilités : l'entraxe des roues et l'écartement des rails.

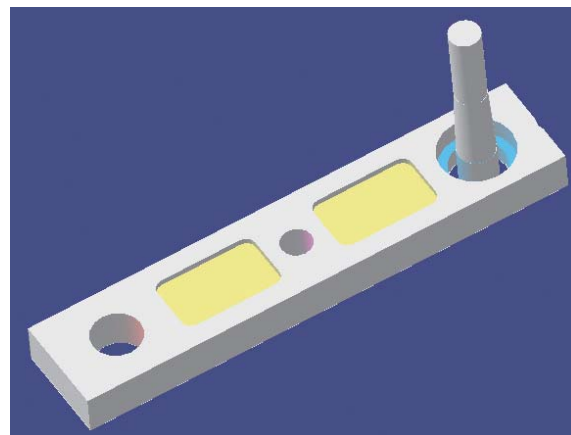
Le lancement du thème pour l'épreuve professionnelle de synthèse

En septembre, mon collègue fait toutes les mises en plan GPS, et début octobre nous distribuons les thèmes à chaque étudiant, soit vingt et un thèmes qui couvrent l'ensemble du bogie 4.



4 La répartition des thèmes sur le bogie

Les étudiants, rompus à Catia V5 à raison de 3 à 6 heures par semaine en première année, démarrent directement sous Catia afin d'essayer leurs idées de processus. C'est là un énorme avantage de Catia ; il n'y a jamais rien à refaire, on modifie juste ce qu'il faut. Si on commence en pensant centre d'usinage (CU) vertical, et que, en cours de route, on pense CU horizontal 4 axes, trois clics suffisent ! C'est vraiment pédagogiquement intéressant de pouvoir laisser faire les étudiants sans être obligé de les mettre sur... des rails. Tant que la visualisation vidéo 5 ne ressemble pas à ce qu'ils veulent, ils cherchent et trouvent eux-mêmes les trajectoires nécessaires.

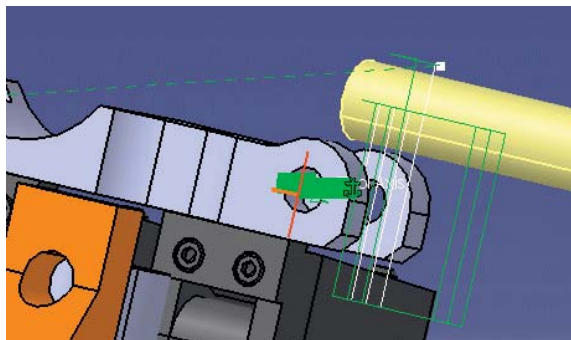


5 La vidéo de l'usinage

Dans un premier temps, nous sommes là comme experts Catia, afin de les débloquer s'ils rencontrent une difficulté non vue en première année.

Si, d'un côté, les étudiants recherchent et testent les différents procédés d'usinage via Catia, il doivent aussi, d'un autre côté, faire des recherches de prise de pièce. Là encore la FAO offre une très grande souplesse, puisqu'il n'y aura pas à réécrire le programme si on change de prise de pièce : quelques clics suffiront pour modifier le repère modélisant l'isostatisme retenu. L'étudiant peut donc partir sur la recherche de processus puis revenir sur la mise et le maintien en position sans aucune gêne, sans aucune perte de travail.

Une fois que l'étudiant possède deux ou trois processus valides pour sa pièce, il va les exposer à l'équipe pédagogique, qui va l'aider dans l'argumentation de son choix, notamment pour tout ce qui concerne la validité technologique de ses propositions. Au final, il va donc retenir un processus unique qu'il va mener jusqu'à la réalisation complète.



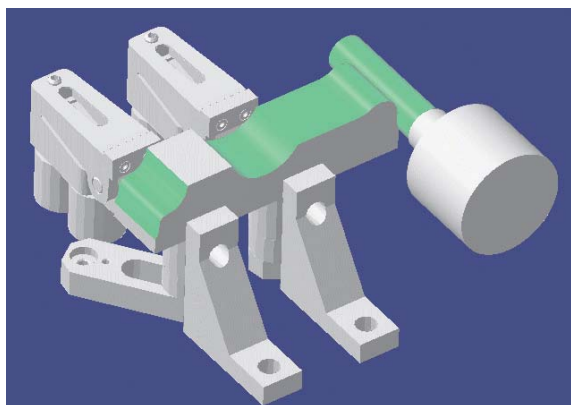
6 L'étude détaillée des trajectoires

L'avancement du thème

L'étudiant poursuit donc son étude sur la base du processus retenu et des remarques technologiques évoquées par l'équipe pédagogique. Vient un deuxième temps, où il va régler finement les trajectoires et étudier les causes de collision. Pour cela on va alors raisonner en mode trajectoires **6** et non plus en mode vidéo comme précédemment.

Tout en gardant l'idée générale de l'usinage, il va falloir entrer dans les détails des sens de parcours de la surface, des trajectoires d'entrée et de sortie de la matière, etc. Le grand avantage est toujours de ne rien avoir à refaire ; on vient compléter, affiner au fur et à mesure des besoins. Nul besoin d'avoir anticipé les problèmes sous peine d'avoir tout à refaire. C'est là encore un énorme avantage de la FAO et notamment de celle de Catia V5 : une approche descendante qui permet d'aller du général au particulier au rythme que l'on désire.

Une fois les problèmes de trajectoires réglés à l'écran, l'étudiant va devoir confronter ses choix technologiques avec les réalités du terrain, avec l'outillage réellement disponible à l'atelier. Au fur et à mesure du choix définitif des outils, par exemple, il va saisir les dimensions significatives de la partie coupante, et relancer une visualisation afin de vérifier la conformité des formes obtenues. Si le porte-pièce retenu est un standard ou un assemblage modulaire, il va pouvoir être intégré dans Catia comme sur la figure **7**. Le logiciel va ainsi



7 L'intégration de l'environnement

détecter les collisions, et nous allons pouvoir les visualiser afin de modifier la trajectoire concernée.

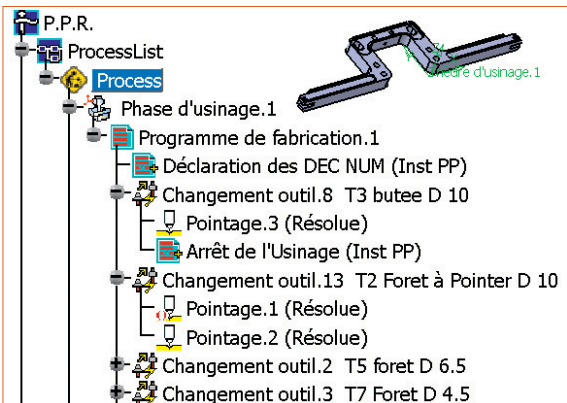
L'étudiant a maintenant un process cohérent d'un point de vue géométrique. Avant d'aller à l'atelier pour faire des essais, il lui reste à saisir des paramètres de coupe réalistes. Il est inutile, tout d'abord, de perdre du temps sur des choix de conditions de coupe optimales d'un point de vue théorique puisque, on le sait, depuis que la production sérielle existe, l'optimisation finale dépendra pour une grande part des résultats des essais. Encore une fois, la FAO nous permet cette souplesse qui consiste à prendre le futur process industriel comme support des essais en permettant à tout instant d'activer ou non un usinage, de changer les paramètres de coupe, d'inverser un sens de parcours, etc. Bien sûr, et c'est là un point clé, tout cela n'est vrai que si l'on a un *post-processing* digne de ce nom, c'est-à-dire qui retranscrive fidèlement les trajectoires de la FAO sans nécessité d'adaptation manuelle du code généré (le post-processeur ou « post-pro » est un outil logiciel qui transcrit les codes de la FAO en un code Iso compréhensible par le directeur de commande numérique de la machine-outil).

La mise au point du process sur machine

C'est donc avec un process FAO théoriquement correct que l'étudiant se rend sur la plate-forme de production. Là, auprès de chaque machine à commande numérique, se trouve un poste équipé de la FAO. Il serait sans cela fastidieux et rebutant de faire la mise au point sur la FAO déportée, et la tentation de « bidouiller » le code grande et même irrésistible. La chaîne numérique serait alors irrémédiablement rompue, ce qui est l'opposé de l'objectif initial d'une chaîne numérique ! Nous avons donc un PC Catia au pied de chaque machine à commande numérique. Industriellement, l'utilisation d'un PC portable serait plus à même d'assurer l'intégrité du code téléchargé sur la machine. Avec nos étudiants de BTS, ce n'est pas le problème, ce sont eux qui mettent au point, puis qui produisent.

Lors des essais, l'étudiant va donc noter les problèmes de coupe, et en déduire, avec l'aide du professeur, les actions correctives, soit au niveau des paramètres de coupe soit au niveau des trajectoires. Il met alors en place les modifications sur la FAO et relance le post-process. Cela prend de 1 à 2 minutes, ce qui est largement négligeable sur une journée de mise au point à l'atelier et assure que le fichier FAO est bien celui qui s'exécute, qui usine la pièce d'essai.

Si une partie du process nécessite plus de mise au point, en quelques clics, on va l'isoler en désactivant les opérations non nécessaires ; inutile donc d'être un professionnel de la machine et de savoir faire des reprises en cours de cycle ou des sauts d'étapes. Comme tout l'usinage est récapitulé dans l'arborescence **8**, il suffit, à l'aide de clics droits, de désactiver ce qui n'est pas nécessaire à l'essai.



8 L'arborescence du process

Une fois les essais terminés, inutile de refaire quoi que ce soit pour la production stabilisée; il suffit de réactiver les usinages validés pour obtenir instantanément le process de la pièce « zéro ». Toutes les mises au point sont donc faites directement dans un process FAO qui suit la vie du projet, de son ébauche à sa finalisation en production sérielle de pièces. On évite ainsi

CONTRAT DE PHASE	Ensemble: EN-Bo Bogie	Matière: Aluminium	Fait par: Aurélien G.	LJJA
PH 020	Pièce: PI-Bo02 Bras oscillant	Cadence: 70/mois sur 2 ans	Date: Le 07/02/05	
	FRAISAGE GN		CU6	Indice: 01 p 1

cfu20a = 0,75 ± 0,038
cfu20b = 4 ± 0,025
cfu20c = 6 ± 0,025
cfu20e = 9 ± 0,025
cfu20f = 123,25 ± 0,038
cfu20g = 4,75 ± 0,038
cfu20h = 114,25 ± 0,038
cfu20i = 40,75 ± 0,038

Repère et Désignation	Outils	Vc m/min	fz mm/tr	Repère et Désignation	Outils	Vc m/min	fz mm/tr
A- Contournage cfu20 a,b	Fraise 2T Ø18	100	0.07	F- Perçage Trou Ø7,8	Foret Ø 7.8	100	0.07
B- Contournage Cfu20	Fraise 2T Ø18	100	0.07	G- Alésage Trou Ø8	Alésoir Ø8	30	0.06
C- Contournage Cfu20 e	Fraise 2T Ø18	100	0.07	H- Rainurage Cfu20c	Fraise 3T Ø 40	100	0.04
D- Pointage trous Ø4.5 et Ø7.8	Pointeur Ø 6	100	0.15				
E- Perçage Trou Ø4.5	Foret Ø 4,5	100	0.07				

9 Un contrat de phase Catia + PowerPoint

toutes les erreurs de reports ou de mise à jour et les oublis, ce qui est un gage de tranquillité d'esprit à la fois pour le professeur responsable des machines et pour l'étudiant.

La formalisation du processus retenu et validé

Dans le cadre d'une assurance qualité process, il est impératif d'archiver et de formaliser le processus valide pour l'obtention de pièces conformes au cahier des charges. Dans le cadre du thème de BTS, cette formalisation est bien sûr également demandée et, de plus, doit être accompagnée d'explications et d'argumentations. C'est la fameuse rédaction du dossier de

thème avec ses contrats de phase, ses fiches kit outils et ses tableaux de décision. Dans le cadre d'un process CFAO en chaîne numérique, c'est le fichier FAO qui fait foi et non le dossier papier. Ainsi, les sous-traitants de l'aéronautique doivent-ils maintenant soit fournir le CatProcess s'ils sont bureau des méthodes soit recevoir et exécuter le CatProcess fourni s'ils sont usineurs. L'époque du dossier papier « bureau des méthodes » est donc révolu.

Avec nos STS, nous rédigeons entièrement nos dossiers avec le très connu logiciel de présentation PowerPoint. Concernant les documents qui nécessitent une présentation respectant la norme du dessin technique 2D, le contrat de phase par exemple, nous passons par le module de mise en plan de Catia et faisons un copier-coller en mode vectoriel sur PowerPoint. Pour le reste, nous utilisons les captures d'écran avec le module incorporé à Catia. Enfin, pour les fiches outils, Catia propose l'édition au format HTML de récapitulatifs intéressants. On le sent bien, le dossier va être une présentation synthétique du process FAO, plus qu'une formalisation papier des détails. Ces derniers sont déjà tous formalisés dans les différents onglets hiérarchisés du fichier CatProcess: il suffit de l'ouvrir pour les lire.

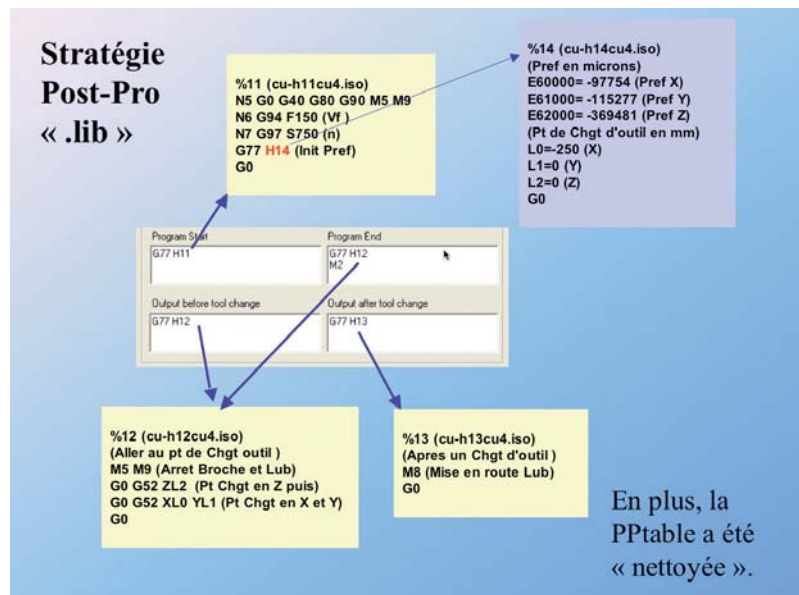
L'étape finale du projet

Voilà, nous avons parcouru l'intégralité du projet « Bogie » en chaîne numérique complète sous Catia CFAO; reste la fin de l'année, avec la soutenance des dossiers et l'assemblage du bogie.

Globalement, l'ensemble des pièces a été produit en chaîne numérique, c'est-à-dire sans intervention de l'homme sur le code d'usinage. Bien sûr, avec certains étudiants, nous sommes arrivés à l'optimisation du processus et à la production de plusieurs lots, avec d'autres, seule la présérie a été obtenue. De même, si pour la plupart une modification de forme issue du bureau d'études se répercute bien sur la pièce usinée, pour d'autres, des erreurs informatiques ont fait que la chaîne est, au final, rompue. Mais tout cela est bien normal dans le cadre d'une classe de TS2 avec des niveaux très hétérogènes. Le point clé, pour la



10 Le bogie « zéro »



11 La stratégie de développement des post-processeurs

validation des formes de pièces, est tout de même que l'on a pu assembler le bogie « zéro » avec seulement une ou deux reprises. En cherchant le pourquoi de ces reprises, nous nous sommes aperçus qu'elles étaient dues à des cotes non paramétrées, qui n'avaient donc pas pu suivre les évolutions en cours d'année. C'est vrai qu'il est un peu fastidieux de tout paramétrer en modeleur 3D, mais, une fois dans le feu de l'action du projet de BTS, il est difficile d'avoir le recul sur les cotes, sensibles ou non. Dans tous les cas, et c'est un point clé pour nous, le problème ne venait pas de la partie FAO.

La résolution des problèmes de CFAO

Avant d'analyser les retombées pédagogiques de cette démarche de CFAO en chaîne numérique complète, je propose de revenir sur les difficultés techniques que nous avons rencontrées et résolues lors de la mise en place de ce projet, en trois points clés :

→ La présence d'un poste Catia réseau au pied de chaque machine de production

Le premier point clé de la réussite est en réalité le dernier maillon de la chaîne. Ainsi l'étudiant, avec ou sans l'aide du professeur, peut réellement mettre au point le process en direct sur la FAO. C'est pour nous une véritable pierre angulaire dans l'approche. Le fait d'être en réseau évite l'utilisation d'une clé USB et garantit l'unicité de l'information, mais n'est pas une obligation. Il s'agit ici d'un problème purement financier, et en 2006, tous les PC d'entrée de gamme avec 1 Go de mémoire centrale feront très bien l'affaire. En effet, en FAO, on n'ouvre qu'une pièce à la fois, nous n'avons donc pas besoin de postes gonflés supportant l'importation d'ensemble.

→ La disponibilité de post-processeurs de qualité

Ils doivent retranscrire fidèlement toutes les trajectoires de Catia et n'obligent pas à une intervention sur le code généré. Là, le problème est plus délicat à résoudre. En effet, les post-processeurs ne sont pas livrés avec la FAO et doivent être soit développés soit achetés. La politique industrielle est : un post-pro par machine et près de 2 000 euros par axe machine. Cela fait rapidement monter le budget, puisque nous avons souvent un parc de machines éclectique, et la note dépasse tout de suite les 10 000 euros. Sur l'académie de Versailles, nous avons donc choisi et négocié l'achat de l'outil de développement de post-pro IMS et de mutualiser les post-processeurs ainsi obtenus. Afin de minimiser le travail de développement, nous avons mis en place une stratégie basée, d'une part, sur l'externalisation des codes spécifiques à chaque machine dans des sous-programmes externes et, d'autre part, sur la non-utilisation des codes natifs pour les cycles préprogrammés.

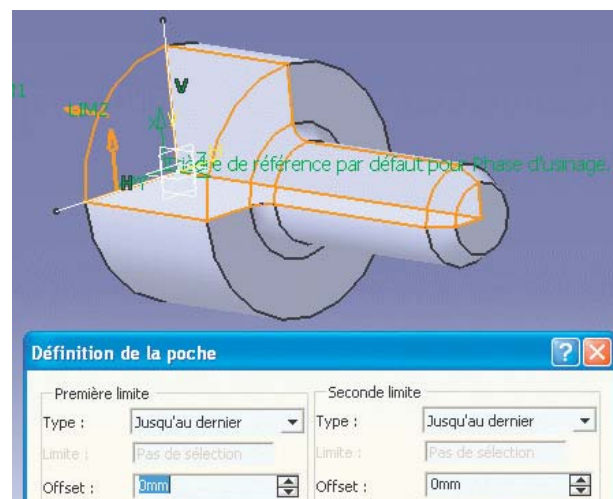
Comme le montre la figure 11, pour chaque action comme « début de programme », « début de changement d'outil »..., nous avons programmé l'appel d'un sous-programme externe (G77 Hxx en Iso) qui sera spécifique à chaque machine-outil et implanté directement dans le DCN (Directeur de Commande Numérique). Ainsi, nous avons un post-pro générique pour toute une famille de machine, un post-pro en fraisage et un en tournage.

La forte présence de Num dans l'Éducation nationale n'a pas été sans conséquences sur les pratiques en productique. Notamment, les particularités du code Iso Num ont largement été exploitées dans un objectif pédagogique. Ainsi, l'utilisation de codes comme G81 ou G64 est courante en programmation manuelle afin, d'une part, de faciliter la programmation et, d'autre part, de rendre le code plus lisible. Avec une FAO, le problème est fondamentalement différent, puisque c'est le post-processeur qui « écrit » le code. Vouloir faire rentrer en force les possibilités d'un FAO du XXI^e siècle dans un code Iso du XX^e est une gageure qui va poser des problèmes nombreux et souvent insolubles lors de la mise au point du post-processeur. Il faut donc définitivement laisser de côté la notion de cycle préprogrammé. Dans le même ordre d'idée, je conseille aux collègues « producticiens » la lecture de l'encadré « L'historique des fonctions G41 et G42 », sur une autre habitude très ancrée dans l'Éducation nationale, à juste titre il y a encore trois ans, mais qui sera obsolète d'ici trois ans !

On le voit, ce deuxième point clé demande une grosse remise en question des habitudes, ce qui n'est pas évident du tout, mais permet de dépasser les problématiques de post-pro et de garder une chaîne numérique cohérente et non rompue.

→ La maîtrise informatique et logicielle

En effet, nous étions les premiers francophones à nous lancer — et cela réserve toujours certaines surprises. La première interrogation fut : comment importer une pièce sans rompre la chaîne numérique ? Bien sûr, Catia est théoriquement conçu pour ça, mais, dans les faits, il nous a fallu découvrir qu'il était nécessaire de faire un copier-coller du corps principal avec liens. Ensuite, comment récupérer la géométrie des pièces de révolution en tournage ? En effet, le module tournage n'est pas un vrai surfacique, il recherche des lignes et non des surfaces ! Aussi la façon dont est conçue la pièce a-t-elle une influence sur le résultat. Nous avons donc mis au point la technique qui consiste à couper un quart de pièce, comme sur la figure 12 (cette méthode est actuellement celle recommandée lors des formations).



12 La stratégie en tournage

L'historique des fonctions G41 et G42

Dans l'Éducation nationale, l'apprentissage de la commande numérique passe un jour ou l'autre par l'apprentissage du code Iso et des fonctions G41 et G42. L'introduction de la FAO oblige à repositionner ses habitudes et ses points de repères, dont ces fameuses fonctions, très « Num ».

Dans les années 1970, les grosses entreprises de l'aéronautique investissent dans des machines numérisées, des fraiseuses notamment, pour pouvoir obtenir des formes complexes. Pour piloter ses machines, il faut décrire, souvent point à point, la trajectoire du nez de broche à l'aide d'un code Iso. Ce code, perforé sur une bande de papier, sera lu, pas à pas, par le directeur de commande numérique (DCN). Rapidement, une assistance informatique voit le jour : les trajectoires sont décrites mathématiquement à l'aide d'un langage descriptif (APT par exemple), un programme en Fortran fait le calcul des coordonnées des points et rédige le programme en code Iso de la trajectoire. Vu la puissance des ordinateurs de l'époque, ce travail se fait en temps masqué, la nuit par exemple.

Donc, piloter une machine-outil à commande numérique (MOCN) revenait, pour une fraiseuse, à piloter le nez de broche. Rapidement, le DCN intégra la notion de longueur d'outil. Ainsi l'utilisateur pouvait-il prendre une nouvelle longueur de fraise sans demander au programmeur de perforer une nouvelle bande. En réalité, c'était souvent la différence de jauge de longueur qu'il fallait renseigner afin que le DCN puisse lui-même recalculer la position réelle en Z du nez de broche. Au fur et à mesure, la notion de jauge outil (L) s'est donc imposée et, naturellement, celle de rayon d'outil (R) fut ajoutée (via le code Iso « D »).

Mais, pour prendre en compte le rayon d'outil, il fallait savoir si, par rapport à la trajectoire programmée, on devait le compenser d'un côté ou de l'autre. Les fabricants de DCN, dont Num, déjà très présent dans l'Éducation nationale, enrichissent alors le codage Iso des fameux G41 et G42 pour permettre de coder cette fonctionnalité. Ce fut en même temps un bon coup de pouce à l'introduction des MOCN dans les PMI-PME. En effet, à l'aide des codes G41 et G42, le compagnon pouvait programmer directement avec les cotes du dessin, sans avoir à faire de savants calculs trigonométriques. L'opérateur devenait plus autonome et n'avait plus systématiquement besoin du programmeur puisque, d'une part, il pouvait changer d'outil ou l'affûter à loisir en modifiant les jauges (L et R), et, d'autre part, il pouvait élaborer lui-même des programmes simples en contournage (plus de calculs trigonométriques pour tenir compte du centre fraise).

Pour les tourneurs aussi l'arrivée des MOCN changea la donne. En production en série, le nombre d'usinages sur tours parallèles étaient limités aux nombres de butées (tours « poly-but »). La numérisation des axes permettait en théorie d'avoir un nombre infini de butées, que ce soit pour le diamètre ou pour les longueurs. Les outils de l'époque étaient en acier de type ARS et affûtés avec un rayon de bec nul ou presque. Les jauges étaient donc prises sur la pointe de l'outil, et le programmeur programmat directement les cotes du dessin. Même lors d'usinage de formes non parallèles aux axes, un cône par exemple, le rayon de bec étant nul, la programmation suivait scrupuleusement les cotes à obtenir : nul besoin de G41 ou de G42.

Ce n'est que tardivement, avec l'apparition des plaquettes de carbures et de leur rayon de bec (0,4 mm en général), que la nécessité d'une compensation de rayon se fit sentir en tournage. Mais les habitudes étaient prises et, sous peine de perte de parts du marché, les fabricants de DCN tournage furent obligés de faire avec les anciennes pratiques. Regardons en détail ce que cela signifie. Tout d'abord, le tourneur doit continuer à prendre ses jauges comme pour les outils en ARS, donc sans se soucier du centre de rayon de bec. Ensuite, il doit pouvoir, comme avant, usiner des surfaces simples parallèles aux axes (cylindres et faces) sans programmation supplémentaire. Enfin, il faut tout de même que, lors de l'usinage de cônes par exemples, le DCN compense l'erreur due au rayon de bec d'outil. La solution, la seule d'ailleurs, fut de continuer à piloter la pointe, même fictive, de l'outil et, lors d'un contournage avec un outil présentant un rayon de bec, et seulement dans ce cas, interpréter les codes G41 et G42 pour calculer l'erreur et la compenser. Cela imposa de « dire où est le centre la plaquette ». Num et d'autres ajoutèrent dans la table des jauges outils le rayon de bec R et la position du centre C.

Bien que, techniquement, les calculs associés aux G41-G42 soient différents entre le tournage et le fraisage, la fonction remplie est la même, à savoir permettre au programmeur de saisir directement les cotes du dessin et à l'opérateur de pouvoir saisir lui-même les jauges sur le DCN (L et R ou X, Z, Rb et C) sans modification du programme. À ce jour, pour des raisons de comptabilité montante, les DCN ont gardé cette dissociation entre le tournage et le fraisage : pour une fraise, le point piloté est le centre alors que pour un outil de tour, c'est la pointe fictive. La plupart des utilisateurs ne sont pas gênés par cette différence. En revanche, les développeurs de FAO, eux, sont bien obligés de tenir compte de ces deux conventions historiquement explicables mais plus vraiment utiles.

Et puis il a fallu découvrir tous les clics droits qui donnent accès aux spécificités comme l'inversion locale en dressage ou la modification des bornes admises quand elles sont trop restrictives. Bref, il a fallu, pour chaque nouveau problème, réfléchir, tâtonner, joindre le service technique, essayer et se mettre d'accord sur une stratégie afin que l'étudiant puisse avancer sur son thème. Au final, l'outil logiciel Catia FAO ne nous a pas déçus, bien au contraire : la performance est là, même si souvent chaque version n'est complètement déboguée que plusieurs mois plus tard, à la version suivante.

Un changement de paradigmes

Comme toute nouveauté technologique, la démarche CFAO implique des modifications de comportement ; elle a donc des retombées sur le processus d'apprentissage et par là même sur la pédagogie.

Le fait que l'outil logiciel soit au centre de notre propos oblige à transformer la démarche séquentielle en une démarche parallèle. C'est la même évolution qu'avec le traitement de texte : avant, on rédigeait de nombreux brouillons successifs avant de passer à la machine à écrire, et souvent ce n'était pas la même personne qui rédigeait le texte et qui le tapait ; maintenant, c'est généralement le cadre qui tape directement son brouillon sur son PC et le met ensuite au point au fur et à mesure. De fait, il n'y a plus de secrétaire pour parachever le travail. Avant la CFAO, il y avait toutes les étapes de prévision de l'usinage. Il aurait été aberrant de commencer un avant-projet d'étude de fabrication en écrivant un bout de programme Iso pour aller voir le résultat sur l'écran du DCN. Et pourtant c'est ce que l'on fait avec la FAO : on essaie directement un usinage et puis on voit, on modifie, on a une nouvelle idée, que l'on essaie simplement en copiant-collant la première et en changeant les paramètres significatifs. Chaque nouvelle idée peut être rapidement simulée visuellement et archivée pour une étude critique ultérieure. On le voit, la chronologie d'une séquence de travail a radicalement changé, et il en est de même pour les connaissances associées. Le savoir-faire en code Iso Num devient inutile. Seuls les futurs professionnels en développement de post-pro auront besoin — et encore, d'ici à dix ans, tous les DCN travailleront directement en APTE afin d'être interfaçables directement avec les FAO. Quand on sait le nombre d'heures cumulées que représente l'étude du codage Iso de la seconde à la deuxième année de BTS, on comprend alors qu'il s'agit plus d'une révolution que d'une modification du contenu des séquences pédagogiques. « Lâcher le code », comme disent les industriels, n'est pas si facile que ça quand toute une pédagogie et un savoir-faire sont basés dessus ! Les industriels eux-mêmes peuvent être frieux (voir l'encadré « L'historique des fonctions G41 et

G42 ») et se demandent s'il ne faudrait pas maintenir une double compatibilité FAO/codage manuel pendant trois, voire cinq ans. En revanche, les constructeurs de machines-outils ont eux déjà pris le virage technologique et intègrent maintenant de véritables ordinateurs, voire de véritables FAO dans leur DCN afin de rendre la connaissance du code complètement inutile.

Le rôle du professeur va donc changer, une fois de plus !

L'apprentissage de l'outil logiciel devient la première étape incontournable, en parallèle bien sûr avec l'acquisition des connaissances technologiques, qui seront directement exploitées via le logiciel. Dans une deuxième étape de type projet, le professeur est là en tant qu'expert et non plus en tant qu'enseignant « magistral ». Cela l'oblige donc à devenir expert, ce qui repose le problème de sa formation — formation malheureusement souvent réduite à quelques jours alors qu'elle peut être de plusieurs mois dans le monde industriel.

Bien sûr le professeur reste le maître de l'exploitation pédagogique, des scénarios qui se dessinent au fur et à mesure du projet, mais il ne va plus pouvoir imposer une démarche : seule la validation du résultat est une valeur contrôlable. On retrouve là le changement de paradigmes que l'on a connu lors du lancement des NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication). L'outil logiciel n'est pas un rajout, telle une mauvaise greffe ; il y aurait vite rejet. Ces nouvelles technologies, du fait de leur potentiel incroyable en situation de projet, obligent à la mise en place de nouveaux modèles de formation où le rôle du formateur est plus celui de guide ou de tuteur que de dispensateur de savoir.

En conclusion, ce projet « Bogie » nous a permis de valider la possibilité de la mise en place d'une chaîne numérique non rompue avec des STS. Nous avons dû modifier complètement la structure de nos cours et le déroulé type du projet, mais, à terme, nous sommes très satisfaits du résultat obtenu. Bien sûr, l'investissement en temps a été considérable, mais nous espérons le rentabiliser avec les prochaines promotions.

Au final, outre l'utilisation d'un produit industriel performant et dont la pérennité est acquise, les grands plus de Catia FAO sont les suivants :

- En première année, lors de l'acquisition de l'outil logiciel et des connaissances associées, ce support est en bonne adéquation avec l'aspect théorique, notamment grâce aux onglets, qui délimitent bien les différents champs de connaissances et permettent un remplissage « descendant », au fur et à mesure des besoins.
- En deuxième année, autour du projet, la situation de formation ainsi créée améliore et favorise le dialogue, l'échange et toutes les formes de communication interactive. Cela redonne de l'importance à la relation entre le professeur et les étudiants.

C'est donc un vrai plus pédagogique et humain. →