

La chaîne numérique 2° partie : ... zoom sur la FAO

Marc Polizzi *

Dans un précédent article paru dans le numéro 134 de cette revue, Marc Polizzi présentait les points clefs et les concepts de la chaîne numérique. Il insistait, à juste titre, sur l'importance de ne pas rompre cette chaîne. Il propose dans cette deuxième partie, de découvrir comment, lui et son collègue Philippe Gardes, ont mis en œuvre une chaîne numérique non brisée en BTS productique deuxième année et les conséquences que cela a eu sur l'organisation pédagogique de leur enseignement.

I. L'AVENTURE BOGGIE

I-1 La présentation du projet « Boggie »

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 faites par les clubs de vapeur vive, découvre aussi un format compatible avec nos moyens de production : le format double « cinq pouces et sept pouces » (un format correspond à un écartement des rails). C'est un format qui permet de promener des visiteurs comme le montre la photo figure 1.



Figure 1 : Utilisation des boggies en contexte

Discutant « technique » avec un responsable, il se rend compte d'un besoin en boggies. En effet, le passionné type passe tout son temps libre à faire SA machine à vapeur, mais ensuite, peu prennent le temps de réaliser de beaux boggies pour leur tender. Un tender est le premier wagon après la locomotive ; il sert de réserve et de poste de pilotage. Un boggie est une paire de roues qui s'adapte sur la voie . Il y a toujours deux boggies par wagon afin de pouvoir négocier les virages. Comme on peut le remarquer sur la figure 2, les boggies sont très visibles sur un tender ; aussi l'amoureux de vapeur vive aime-t-il avoir de beaux boggies.



Figure 2 : La machine et son tender avec ses Boggies

Un des adhérents du club de Sannois, Monsieur JC Breugnot, s'étant lui-même lancé dans l'aventure « Boggie », nous assure son soutien technique pour ce projet. Il peut nous fournir un boggie en 7 pouces (7'') dont il est, à juste titre, assez fier. C'est donc sur ce prototype que nous sommes parti.

I-2 La conception du modèle numérique

Comme exposé dans l'article précédent (Technologie n° 134), une conception soutient une intention de conception. Ici, nous partons sur l'idée de faire un boggie cinq pouces (5'') alors que nous disposons d'un prototype en sept pouces. Mon collègue a donc conçu le boggie dans cette idée de flexibilité : le modèle doit pouvoir s'adapter aux deux largeurs de voies. Dans le cas d'une production « massive » de boggies, il serait possible d'équiper aussi les wagons de voyageur. 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 BTS CPI nous avons validé les différents composants standards 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 ci en variables internes.

Le modèle numérique présenté en figure 3 a donc été entièrement conçu sous Catia V5, non pas en recopiant les pièces du prototype, mais en construisant fonctionnellement 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.

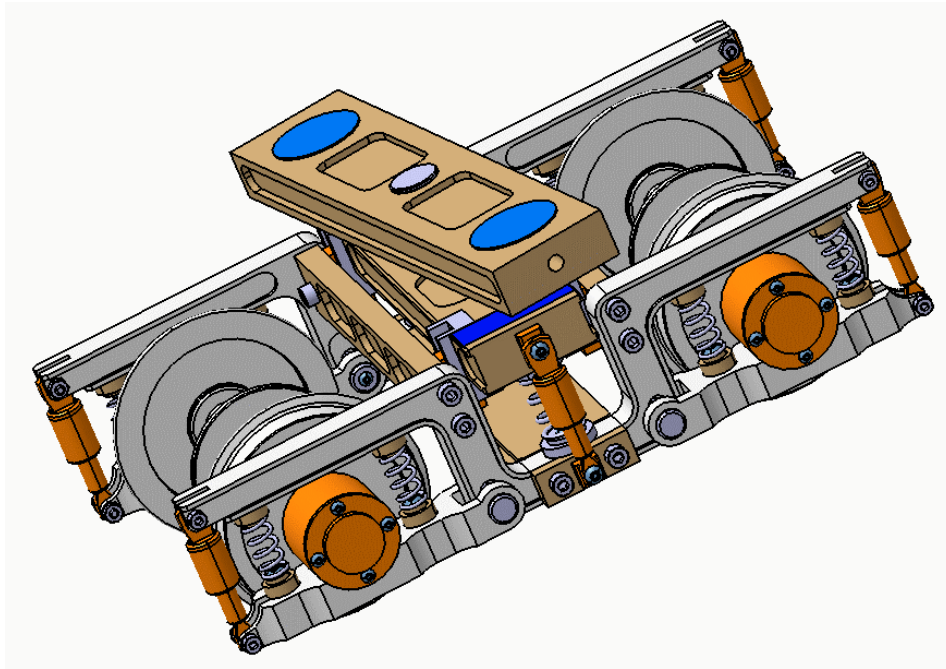


Figure 3 : Le modèle numérique paramétré sous Catia V5

I-3 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 boggie (voir figure 4).

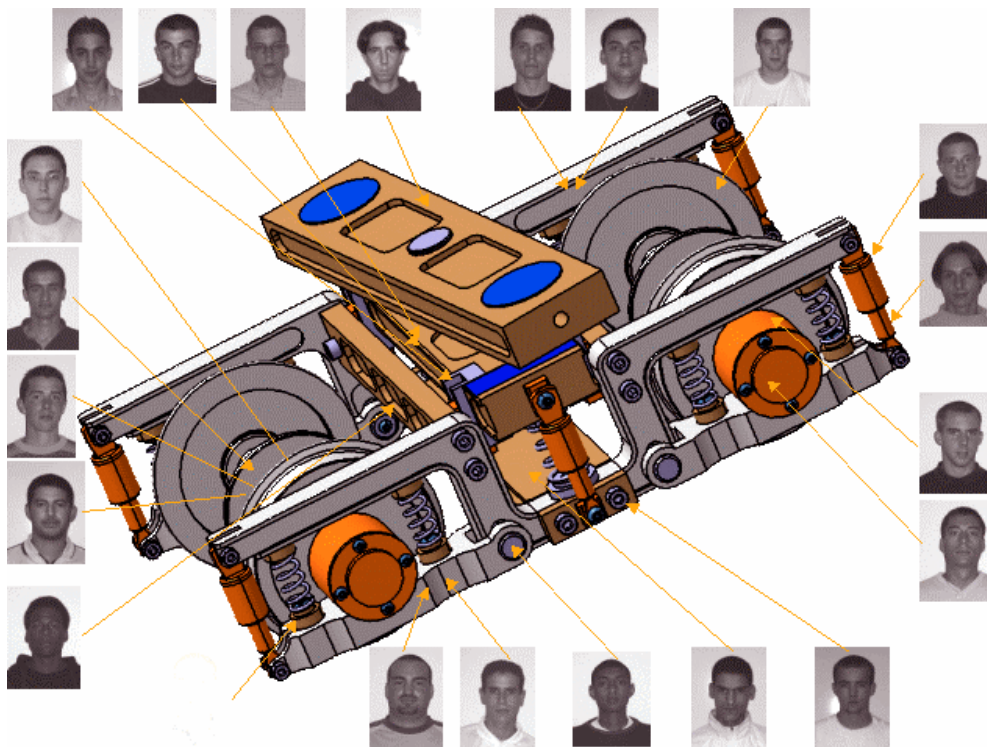


Figure 4 : Répartition des thèmes sur le Boggie

Les étudiants, rompus à Catia V5 à raison de trois à six 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, juste, on modifie 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 clicks 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 (voir figure 5) ne ressemble pas à ce qu'ils veulent, ils cherchent et trouvent eux-mêmes les trajectoires nécessaires.

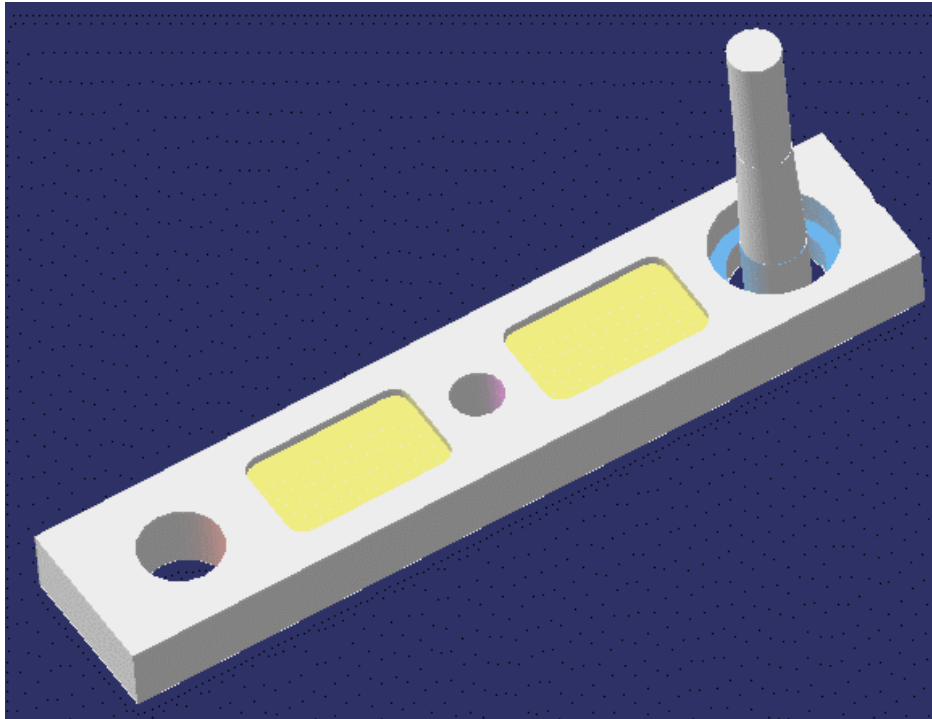


Figure 5 : Visualisation vidéo de l'usinage

Dans un premier temps, nous sommes là comme expert 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 ré-écrire le programme si on change de prise de pièce : quelques clicks 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 tous ce qui concerne la validité technologique des ses propositions. Au final, il va donc retenir un processus unique qu'il va mener jusqu'à la réalisation complète.

I-4 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 collisions. Pour cela on va alors raisonner en mode trajectoires (voir figure 6) et non plus en mode vidéo comme précédemment.

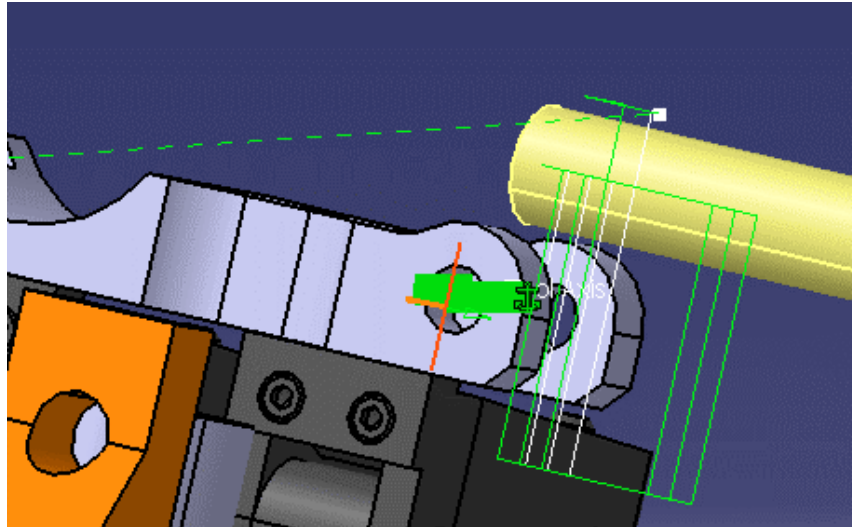


Figure 6 : Etude détaillée des trajectoires

Tout en gardant l'idée générale de l'usinage, il va falloir rentrer dans les détails des sens de parcours de la surface, des trajectoires d'entrée et de sortie de la matière, etc. Le grand avantage reste, comme au paravent, de ne rien avoir à refaire, on vient compléter, affiner au fur et à mesure des besoins. Nul n'est 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 le montre la figure 7. Catia va ainsi détecter les collisions et nous allons pouvoir les visualiser afin de modifier la trajectoire concernée.

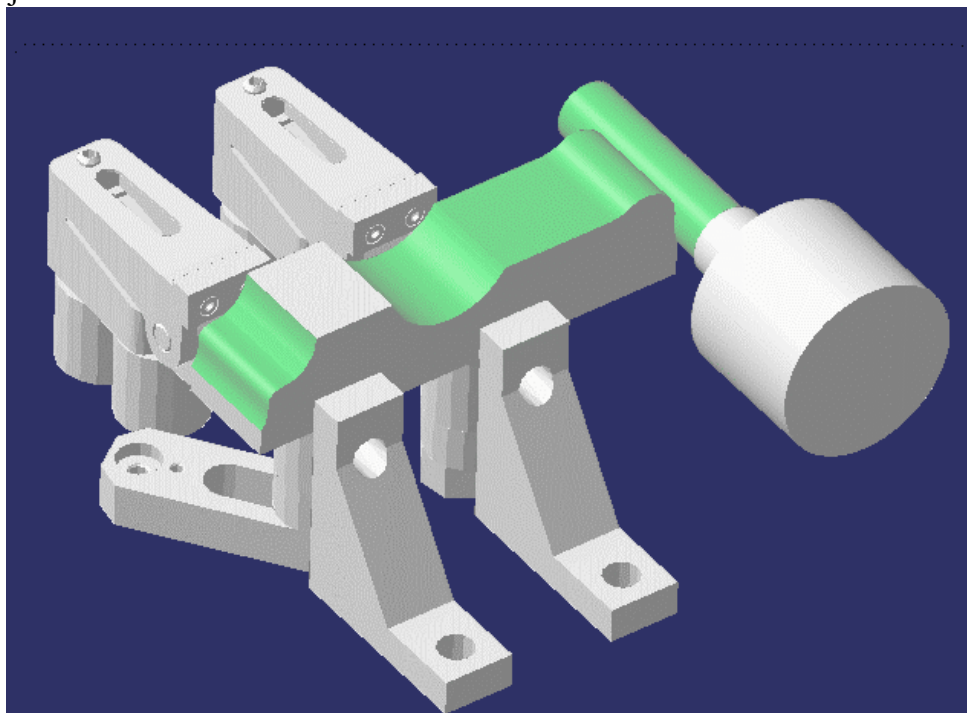


Figure 7 : Intégration de l'environnement

L'étudiant à 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 optimale 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 clef, tout ceci n'est vrai que si l'on a un post-processing digne de ce nom, à savoir, qui retranscrit 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 code ISO compréhensibles par la le directeur de commande numérique de la machine outil) .

I-5 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. En effet, en l'absence d'un tel poste au pied la machine, il est fastidieux et rebutant de faire la mise au point sur la FAO déportée, et la tentation de « bidouiller » le code est 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 re-post-process afin de relancer le nouveau code sur la machine. Ceci prend une à deux 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 clicks, on va l'isoler via la désactivation des 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 (voir figure 8), il suffit , à l'aide de clicks droits de désactiver ce qui n'est pas nécessaire à l'essai.

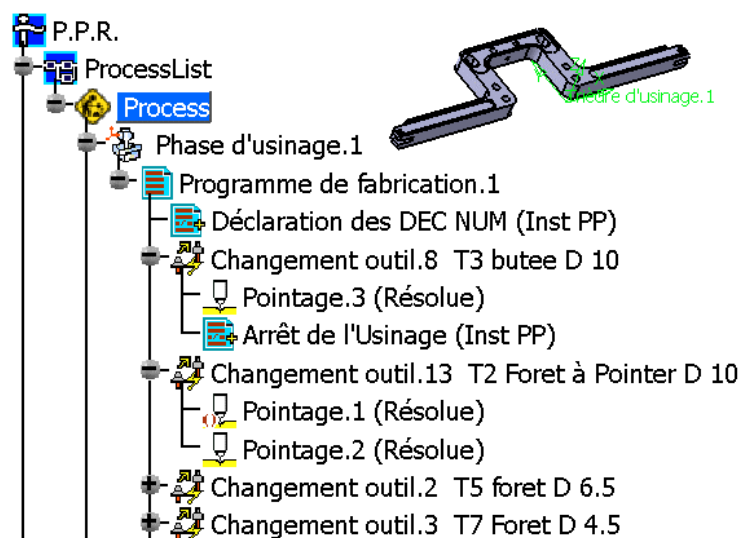


Figure 8 : Arborescence du Process

Une fois les essais terminés, inutile de refaire quoi que ce soit pour la production stabilisée ; il suffit de ré-activer 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 toutes les erreurs de reports, de mise à jour, et d'oublis ce qui est un gage de tranquillité d'esprit à la fois pour le professeur responsable des machines et pour l'étudiant.

I-6 La formalisation papier du processus retenu et validé.

Dans le cadre d'un 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 aussi demandée et, de plus, doit être accompagné d'explications et d'argumentations. C'est la fameuse rédaction du dossier de thème avec ses contrats de phases, ses fiches kit-outil et ces 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 BTS, nous rédigeons nos dossiers entièrement en PAO (Présentation Assistée par Ordinateur) avec le très connu logiciel PowerPoint (voir figure 9). Concernant les documents qui nécessitent une présentation respectant la norme du dessin technique 2D comme 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. Tous les détails sont déjà formalisés dans les différents onglets hiérarchisés du fichier CatProcess : il suffit d'ouvrir le fichier pour les lire.

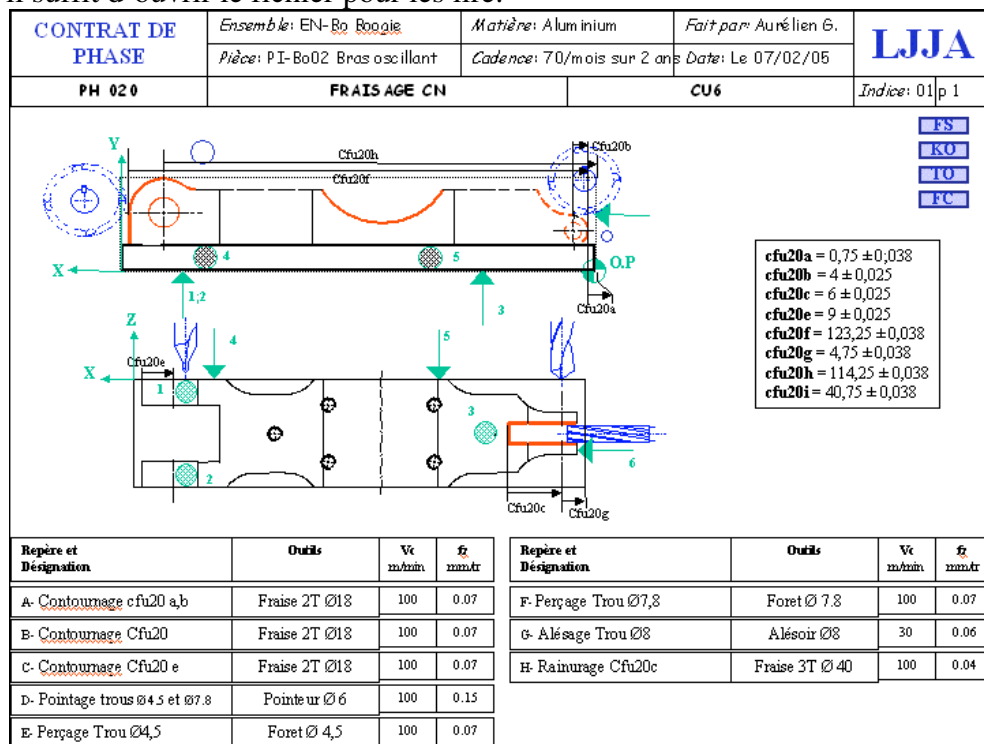


Figure 9 : Un contrat de phase Catia+PowerPoint

I-7 L'étape finale du projet.

Voilà nous avons parcouru l'intégralité du projet Boggie en chaîne numérique complète sous Catia CFAO ; il ne reste qu'à évoquer la fin de l'année avec la soutenance des dossiers et l'assemblage du Boggie.

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, pour certains étudiants nous sommes arrivés à l'optimisation du processus et à la production de plusieurs lots, pour d'autres seule la pré-série a été obtenue. De même si pour la plupart une modification de forme issue du bureau d'étude se répercute bien sur la pièce usinée, pour d'autres, des erreurs informatiques ont fait que la chaîne est, au final, rompue. Mais tout ceci est bien normal dans le cadre d'une classe de TS2 avec des niveaux très hétérogènes. Le point clef, pour la validation des formes de pièces, est tout de même que l'on a pu assembler le Boggie « Zéro » avec seulement une ou deux reprises (voir figure 10). En analysant le pourquoi de ces reprises, nous nous sommes rendu compte qu'il s'agissait de 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 modèleur 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. Mais, dans tous les cas, et c'est un point clef pour nous, le problème ne venait pas de la partie FAO.

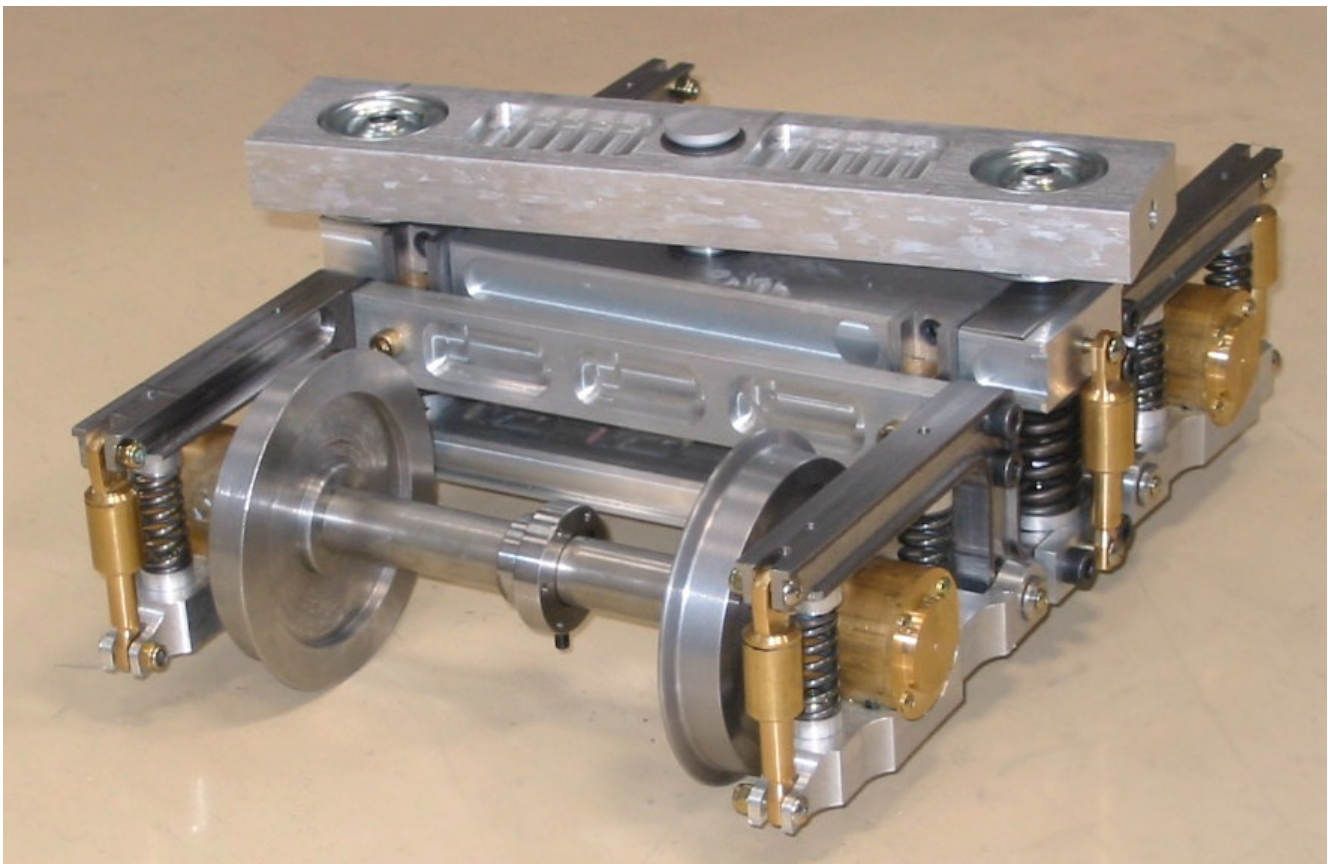


Figure 10 : Le Boggie "zéro"

II. LA RESOLUTION DES PROBLEMES CFAO

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

Le premier point clef pour la réussite de ce projet, est en réalité le dernier maillon de la chaîne : c'est la présence d'un poste Catia réseau au pied de chaque machine de production. 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 de clef USB et garanti 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 dopés avec 1Go de mémoire centrale font 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.

Le deuxième point clef est la disponibilité de post-processeurs de qualité, c'est à dire qui retranscrivent fidèlement toutes les trajectoires de Catia et qui 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 deux mille euros par axe machine. Cela fait rapidement monter le budget, puisque nous avons souvent un parc machines éclectique et la note dépasse tout de suite les dix mille euros. Sur l'académie de Versailles nous avons donc choisi et négocié d'acheter 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 pré-programmés.

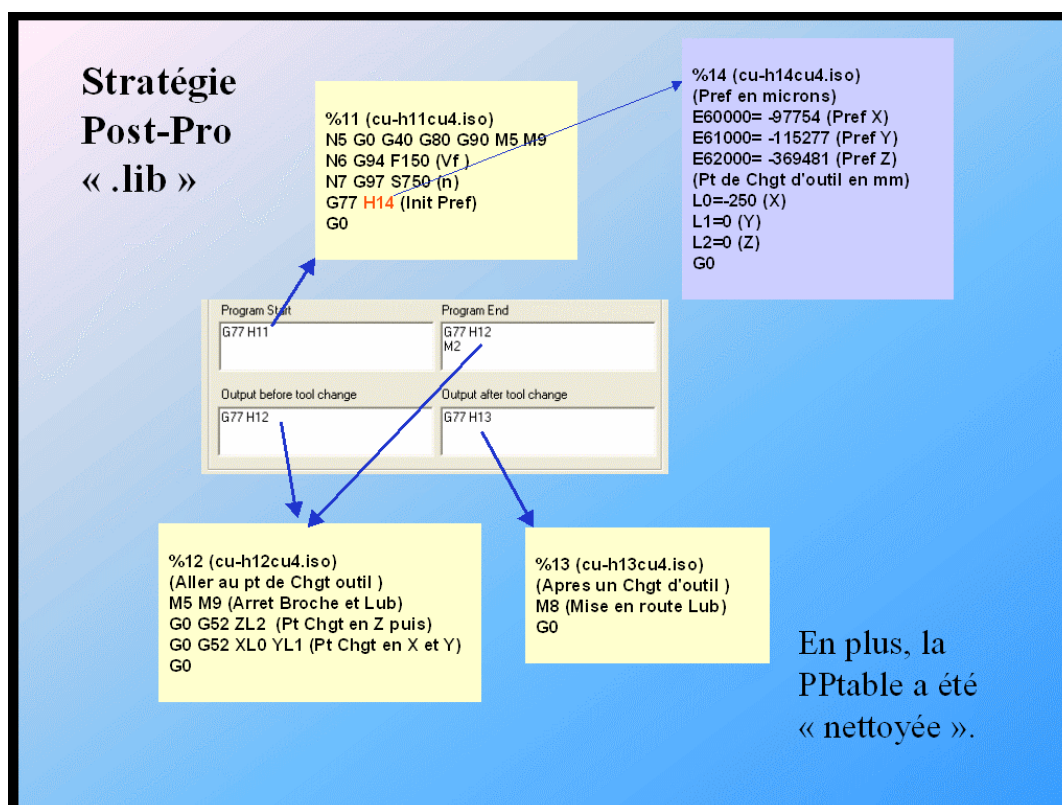


Figure 11 : Stratégie de développement des post-processeurs

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 « uses et coutumes » en productique. Notamment les particularités du code ISO NUM ont largement été exploitées dans un objectif pédagogique. Ainsi l'utilisation de code 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 XXIème siècle dans un code ISO du XXème 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 la même idée, pour le collègue « producticien » je conseille la lecture de l'encart « Historique du G41-G42 », qui restitue une autre habitude très ancrée dans l'éducation nationale, à juste titre il y a encore 3 ans mais désuète d'ici 3ans !

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

Le troisième et dernier point clef que nous avons eu à résoudre concerne tout le côté informatique et logiciel . En effet nous étions les premiers en Francophonie à nous lancer et cela réserve toujours certaines surprises. La première fut comment importer une pièce sans casser la chaîne numérique. Bien sûr Catia est vendu « pour » mais dans les faits il 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 révolutions en tournage ? En effet, le module tournage n'est pas un vrai surfacique, il recherche des lignes et non des surface ! 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 le montre la figure 12 (Cette méthodologie est actuellement celle recommandée lors des formations).

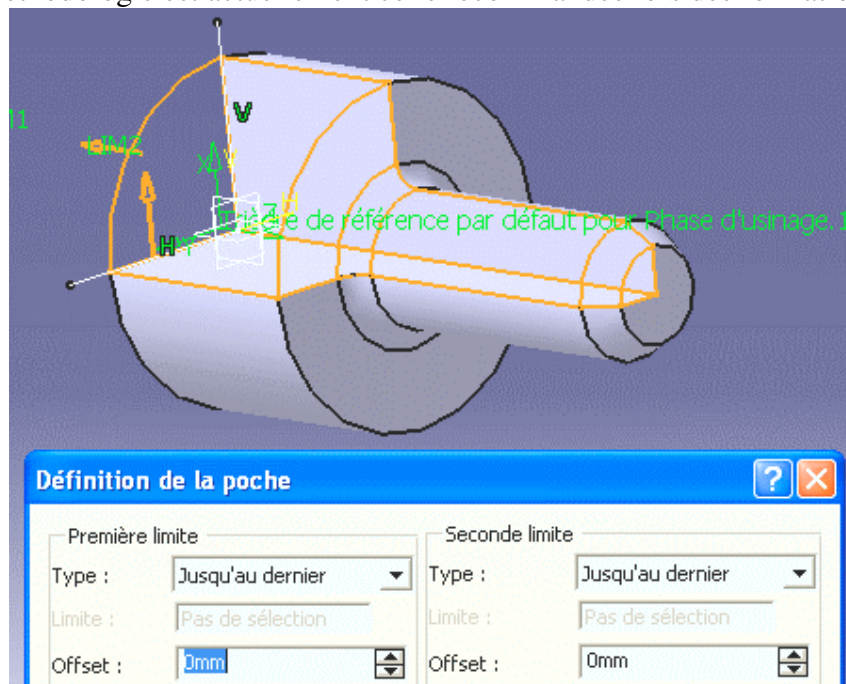


Figure 12 : Stratégie en tournage

Et puis il a fallu découvrir tous les click-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 déçu, bien au contraire, la performance est là, même si souvent elle n'est complètement déboguée que plusieurs mois plus tard, à la « realease » suivante.

III. LES CHANGEMENTS DE PARADIGMES

Je vous propose maintenant d'analyser cette aventure « Boggie CFAO » afin d'en tirer quelques pistes et idées à retombées pédagogiques.

Comme toute nouveauté technologique, la démarche CFAO implique des modifications de comportements et 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 comme avec le traitement de texte, avant, on rédigeait de nombreux brouillons successifs avant de passer à la machine à écrire, souvent même, ce n'était pas la même personne qui rédigeait le texte et qui le tapait. Maintenant c'est généralement directement le cadre qui tape son brouillon sur son PC, qui le met au point ensuite au fur et à mesure, et de fait, il n'y a plus de secrétaire pour parachever le travail. Avant la CFAO, il y avait toutes les étapes de prévisions 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 la visu du DCN. Et pourtant c'est ce que l'on fait avec la FAO, on essaye directement un usinage et puis on voit, on modifie, on a une nouvelle idée, on l'essaye à nouveau juste 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 en auront besoin, et encore, d'ici dix ans tous les DCN travailleront directement en APTE afin d'être interfaçable directement avec les FAO. Quand on sait le nombre d'heures cumulés 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 frileux (voir l'encart : Historique du G41-G42) et se demandent s'ils ne faudrait pas maintenir une double compatibilité FAO-Codage manuel pendant trois à cinq ans. En revanche les constructeurs de machines outils ont eux déjà pris le virage technologique et intègre maintenant de véritables ordinateurs, voir 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 ré-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 dès le départ à devenir lui-même un « expert », ce qui repose le problème de sa formation, formation malheureusement souvent réduite à quelques jours alors que le monde industriel parle lui de plusieurs mois .

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 et est contrôlable. On retrouve là le changement de paradigme connu lors du lancement de NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication) : l'outil

logiciel n'est pas un ajout au « faire actuel », tel une mauvaise greffe il y aura 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 ou le rôle du formateur est plus celui de guide ou de tuteur que de distributeur de savoir.

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

Au final, en dehors de l'utilisation d'un produit industriel performant et dont la pérennité est acquise, les « grands plus » de l'utilisation de Catia-FAO sont :

- En première année, lors de l'acquisition de l'outil logiciel et des connaissances associées, un support logiciel en bonne adéquation avec l'aspect théorique via les 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 au relationnel professeurs-étudiants.

C'est donc un vrai plus pédagogique et humain.

Marc Polizzi Professeur agrégé de génie mécanique

Encart :

Historique du G41-G42

Globalement, dans l'éducation nationale, l'apprentissage de la commande numérique passe toujours, un jour, par l'apprentissage du code ISO et de la fonction G41-G42. L'introduction de la FAO oblige à repositionner ses habitudes et ses points de repères dont les fameux G41-G42. L'objectif de cet article est de recadrer d'un point de vue historique ses deux fonctions très "NUM".

Remontons le temps pour revenir au début de la commande numérique 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 en point à point, la trajectoire du nez de broche à l'aide d'un code ISO. Ces codes sont perforés sur une bande papier qui sera lue, 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) et 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, le nuit par exemple.

Le contexte situé, voyons maintenant comment c'est fait l'évolution du codage ISO.

Donc, piloter une Machine Outil à Commande Numérique (MOCN) revenait, pour une fraiseuse, à piloter le nez de broche. Rapidement, le Directeur de Commande Numérique (DCN) intégra la notion de longueur d'outil. Ainsi, l'utilisateur pouvait-il prendre une fraise plus ou moins longue sans demander au programmeur de "re-perforer une nouvelle bande" en fonction de la nouvelle longueur d'outil. 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) a donc fait sa place et, naturellement, la notion de rayon d'outil (R) fut ajouté (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 compenser le rayon d'outil 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 code G41 et G42 pour permettre de coder cette fonctionnalité. Ce fut en même temps un grand 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 savant 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 le raffûter 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 trigo pour tenir compte du centre fraise).

Voyons maintenant le côté tournage. Pour les tourneurs aussi l'arrivée des MOCN fut novateur. 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, était en acier type ARS et était affûtés avec un rayon de bec nul ou presque. Les jauges étaient donc prises sur la pointe de l'outil et le programmeur programmait 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 carbures et de leur rayon de bec (0.4mm 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 part 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 "avant", comme pour les outils en ARS donc sans se soucier du centre de rayon de bec. Ensuite, le tourneur 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 de 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. A 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.