



UNE PLATE-FORME STEP-NC POUR LA PROGRAMMATION AVANCEE ET INTELLIGENTE DES MACHINES OUTILS

Raphael Laguionie, Jean-Yves Hascoët, Matthieu Rauch

► **To cite this version:**

Raphael Laguionie, Jean-Yves Hascoët, Matthieu Rauch. UNE PLATE-FORME STEP-NC POUR LA PROGRAMMATION AVANCEE ET INTELLIGENTE DES MACHINES OUTILS. 11ème coll. Nat. AIP PRIMECA., Apr 2009, La Plagne, France. CDRom, pp.CDRom, 2009. <hal-00379186>

HAL Id: hal-00379186

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00379186>

Submitted on 12 May 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNE PLATE-FORME STEP-NC POUR LA PROGRAMMATION AVANCEE ET INTELLIGENTE DES MACHINES OUTILS

Raphaël Laguionie (1) , Jean-Yves Hascoët (2), Matthieu Rauch (3)

- (1) IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noé, 44321 Nantes, Tel : 0240376944, raphael.laguionie@ircsyn.ec-nantes.fr
- (2) IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noé, 44321 Nantes, Tel : 0240376849, jean-yves.hascoët@ircsyn.ec-nantes.fr
- (3) IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noé, 44321 Nantes, Tel : 0240376944, matthieu.rauch@ircsyn.ec-nantes.fr

Résumé:

La programmation actuelle des machines outils à commandes numériques s'appuie sur le standard ISO 6983, ou code G, dont les principes datent du début des années 60. Ce standard désuet ne satisfait plus les attentes actuelles de la programmation de machines toujours plus évoluées et complexes. Le standard STEP-NC offre de nouvelles solutions et l'intégration de la fabrication au sein de la chaîne numérique complète. Ce papier expose les choix et la situation des travaux de l'IRCCyN dans ce domaine prometteur. Une plateforme interprétée STEP-NC a été développée pour pouvoir permettre des démonstrations de l'usinage STEP-NC sur machines outils actuelles. C'est aussi un outil de base pour les futurs travaux et implémentations liés au standard STEP-NC, en particulier en termes de simulation et d'optimisation de l'usinage, des parcours outils et des paramètres opératoires. Cette plateforme ouvre également la voie de travaux sur le concept de supervision multiprocess rendu possible par l'utilisation de la programmation de haut niveau orientée objet du standard STEP-NC.

Mots clés: Programmation orientée objet, Commande numérique, Machine outil, STEP-NC

1 Introduction

Depuis le début du XXe siècle, un grand nombre d'évolutions ont touché le domaine de la production mécanique, de l'apparition des premières machines à commandes numériques aux cellules d'usinage flexibles les plus avancées en passant par l'apparition de nouveaux procédés de fabrication. Aujourd'hui s'ouvre avec le XXIe siècle de grandes perspectives et les machines outils (M.O.) de demain ainsi que les commandes numériques (C.N.) devront relever de nouveaux défis de productivité, flexibilité, interopérabilité, adaptabilité et portabilité. Cette évolution des technologies devra se faire au sein de toutes les composantes de la cellule de fabrication, de la commande numérique jusqu'à l'outil, mais aussi par son intégration complète dans la chaîne numérique. Les usines de productions de demain devront pouvoir s'adapter à des marchés changeants et imprévisibles avec une flexibilité et réactivité accrue. Cela ne peut être envisageable sans une intégration complète et cohérente de la chaîne numérique menant de l'idée jusqu'au produit fini et en particulier une prise en compte complète de la fabrication dans la boucle CAO-Simulation-FAO-CN. Cette continuelle progression des technologies et moyens de production n'est cependant actuellement pas accompagnée de l'évolution adaptée du standard d'échange de données et de programmation. Les machines outils actuelles demeurent programmées en code G, dont les principes datent des années 60 et furent normalisées au début des années 80 avec la norme ISO 6983 [1]. Il existe aujourd'hui réellement une demande et de nouvelles opportunités pour dépasser le stade de la programmation basée sur l'échange d'informations de bas niveau, à travers la description d'actions élémentaires, engendré par l'utilisation du code G. Jusqu'au début des années 2000, peu de travaux de recherche se sont intéressés au standard

de programmation en lui-même. Aujourd'hui, un nouveau standard de données connu sous le nom de STEP-NC [2] voit le jour et vise à pallier aux manques de la programmation structurée code G par une approche orientée objet et à intégrer la fabrication dans la chaîne numérique complète. Cet article s'intéresse, après un état de l'art sur la programmation actuelle et STEP-NC des machines outils, aux travaux de développement d'une plate-forme STEP-NC de programmation avancée des machines-outils. Cette plate-forme SPAIM (STEP-NC Platform for Advanced and Intelligent Manufacturing) intègre les avancées concrètes de la programmation STEP-NC et constitue un nouvel outil pour la programmation avancée des machines outils.

2 La programmation actuelle des CN

L'amélioration des technologies machine, tant au niveau de la multiplication des axes que de la rigidité et de la dynamique, s'accompagne de l'amélioration de la partie contrôle à travers les asservissements multi-axes, les compensations d'erreur, le posage de l'outil en usinage cinq axes, etc. Cependant, toutes ces avancées rendent la programmation plus complexe et les machines-outils moins adaptables. Malgré de nombreux travaux de recherche pour l'amélioration des structures CN et des outils logiciels, les utilisateurs comme les vendeurs sont toujours à la recherche d'un langage commun au sein de la chaîne numérique CAO-FAO-CN sans perte d'informations entre chaque module et la possibilité de remonter l'information de la CN en direction de la CAO.

2.1 De la CAO vers la CN

La communication entre les différents maillons de la chaîne numérique depuis la conception d'une pièce jusqu'à sa réalisation est un enjeu majeur et se heurte souvent à des problèmes de compatibilité. Pour résoudre ces différents problèmes, plusieurs formats d'échange de données neutres ont vu le jour comme IGES, SET ou encore le Standard pour l'Echange des Produits (STEP). Avec la normalisation de protocole d'échange de géométrie des pièces (STEP AP-203 par exemple), les barrières ont pu être levées entre les différents modeleurs CAO, ainsi qu'entre CAO et FAO. Ce qui concerne le lien entre FAO et CN, rien n'a réellement changé depuis maintenant bientôt 50 ans. L'utilisation de post-processeurs permet une adaptation des trajectoires et données opératoires générées en FAO dans le fichier générique CL (Cutter Location file) en code G spécifique à une machine-outil et sa commande numérique. Ces informations de bas niveau ne sont donc pas transportables d'une machine à l'autre, et ne permettent aucune remontée de l'information de la CN en direction de la FAO et CAO.

2.2 Une programmation dépassée

Ce mode de programmation ne permet aucune flexibilité et un appauvrissement des données échangées entre la FAO et la CN. La machine-outil est bornée à exécuter des actions élémentaires, quand bien même elle a les capacités techniques et logicielles de mener un contrôle intelligent et une optimisation poussée du procédé. Dans ce cadre là et pour combler les manques de la programmation ISO 6943 dont la normalisation n'évolue plus depuis plusieurs dizaines d'années, les constructeurs ont développé leurs propres commandes pour étendre les possibilités du code G. Il en résulte une incompatibilité des données entre différentes machines outils/commandes numériques mais aussi des limites liées à la sémantique rapidement atteintes.

Il n'existe aujourd'hui pas de solution totalement intégrée sur l'ensemble de la chaîne numérique. Des efforts sont cependant mis en œuvre au niveau de la CN pour créer des interfaces homme machine plus accueillantes, plus fonctionnelle et simple. Certaines utilisent des programmes interactifs qui permettent de programmer par l'intermédiaire d'agents en occultant partiellement ou totalement le code G. Pour une programmation pied machine d'entités simples, plusieurs programmes conversationnels intégrés au sein de la CN ont vu le jour et permettent une visualisation 3D de la pièce et des usinages ainsi que la création et la modification d'entités simples à usiner. Ces conversationnels demeurent cependant spécifiques à chaque constructeur et les données incompatibles d'une machine à l'autre. De plus, les possibilités d'un conversationnel sont assez restreintes et sans commune mesure avec celles offertes par les logiciels de FAO aujourd'hui. Il est de même très difficile ou impossible de faire remonter des informations du pied machine en direction de la FAO/CAO. Le conversationnel n'apporte donc pas foncièrement de solutions à l'intégration de la fabrication dans la chaîne numérique mais dénote bien du besoin de se détacher d'une programmation code G désuète, dont la syntaxe n'est

ni intuitive ni explicite et dont la visualisation et les modifications au pied de la machine sont difficiles ou impossibles.

3 Le standard STEP-NC

Aujourd'hui, le nouveau standard ISO 14649 [2] aussi connu sous le nom de STEP-NC est en cours de développement avec l'aide des industriels, des utilisateurs ainsi que des laboratoires de recherche. Il est né du constat de manque de l'intégration de la chaîne numérique avec des données compatibles de la CAO jusqu'à la CN, en passant par la FAO.

3.1 Un besoin des utilisateurs industriels, une recherche internationale

Plusieurs actions regroupant industriels et chercheurs ont vu le jour pour mener à bien ce projet. Le projet Super Model, initiée par le NIST (National Institute of Standards and Technology), a regroupé à partir de 1999 plusieurs des plus grandes firmes américaines comme Boeing, General Electric, General Motors, Daimler-Chrysler dans le but de construire une base de données qui pourrait contenir l'ensemble des informations nécessaires à la fabrication de pièces. Le projet IMS STEP-NC, approuvé en novembre 2001, a permis de piloter un ensemble d'actions de recherche au niveau international avec des laboratoires d'Europe, de Suisse, de Corée et des USA. Il a regroupé des utilisateurs, des fabricants de systèmes CAO, FAO, machine-outil et CN comme Siemens pour l'Europe, CAD/CAMation pour la Suisse, STEP Tools pour les USA et ERC-ACI pour la Corée. Ce projet a permis de coordonner au niveau international la recherche concernant le STEP-NC et a donné lieu au projet européen Esprit STEP-NC où un prototype pour le fraisage a été mis au point et présenté en octobre 2001 à Aachen en Allemagne. Tous ces projets ont posé les bases de la programmation orientée objet et contribué à l'édition d'une première norme STEP-NC en 2002.

3.2 Les normes STEP-NC

Le STEP-NC s'appuie sur la technologie STEP de modélisation, d'échanges et de partage de données de produits [3]. Cette modélisation s'appuie sur une approche générique complétée par des protocoles d'application élaborés à partir des caractéristiques propres à chaque métier. L'ISO propose une méthodologie pour l'élaboration de ces protocoles d'application basée sur la spécification du besoin, l'élaboration de l'AAM (Application Activity Model), de l'ARM (Application Reference Model) puis de l'AIM (Application Interpreted Model) (Figure 1).



Figure 1 : Cycle de développement d'un AP

L'AAM permet de recenser les différentes activités du modèle, les flux d'informations à prendre en compte et d'établir un glossaire du vocabulaire utilisé. Ensuite, l'ARM mène à une formalisation avancée des données utilisateurs regroupés en unités fonctionnelles. Pour finir, l'AIM est une opération de mise en correspondance des données utilisateurs avec les ressources intégrées génériques. Il existe donc aujourd'hui deux versions de STEP-NC développées à l'ISO [4] : la première est la norme ISO 14649 [2] représentant l'Application Reference Model (ARM) et la seconde est la norme ISO 10303 AP238 [5] pour l'Application Interpreted Model. Les travaux actuels de l'IRCCyN se déroulent dans le cadre de l'utilisation et du développement de la norme ISO 14649 (ARM). Cette norme a pour objectif de préparer des bases solides pour les futures implémentations de STEP-NC au sein de la norme STEP par l'intermédiaire du protocole d'application AP 238. Dans ce cadre l'IRCCyN participe activement aux comités et travaux de normalisation du groupe de travail ISO TC184/SC1/WG7 pour le fraisage et la fabrication rapide [6].

3.3 Le standard STEP-NC : une nouvelle vision de la chaîne numérique

Contrairement au langage courant de programmation des machines outils (code G), l'ISO 14649 ne s'attache pas à décrire les mouvements de l'outil. À la place de cela, il fournit un modèle de données orientées objet décrivant des informations de haut niveau comme les entités géométriques, les données du process, les outils utilisés, la gamme de fabrication, etc. L'objectif d'une programmation de haut niveau est l'utilisation d'un unique fichier contenant l'ensemble des données de la pièce. Il peut ainsi être utilisé de façon générique sur plusieurs types de machines outils à commande numérique, indépendamment de leur marque ou de leur structure. Cette implémentation d'un unique fichier CAO /FAO/CN permet un flux bidirectionnel des données et un feed-back du DCN en direction de la FAO/CAO (Figure 2).

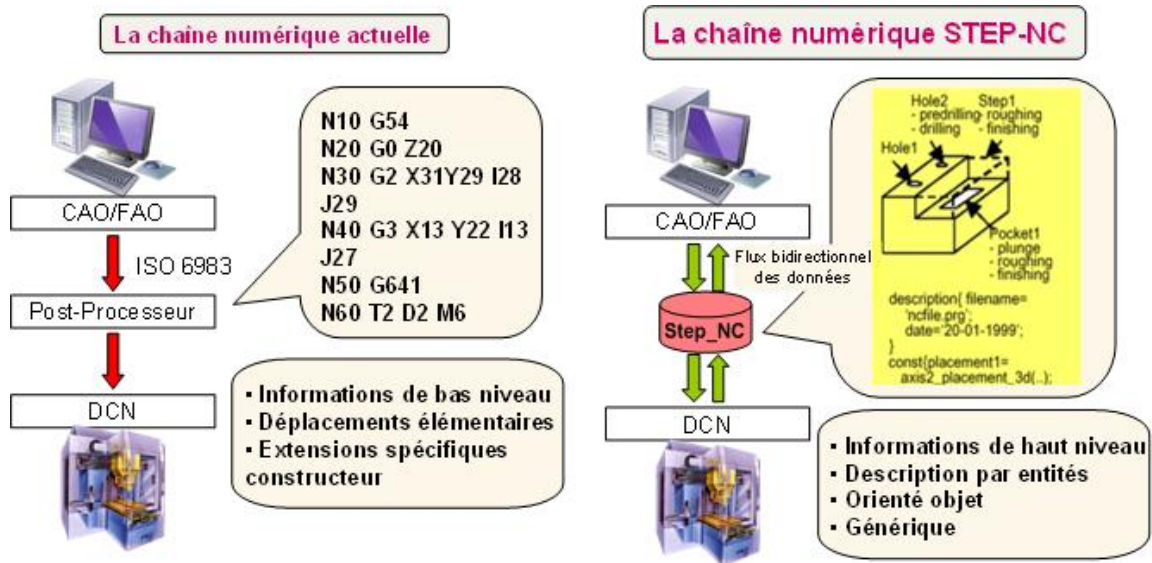


Figure 2 : Comparaison code G/STEP-NC

Ainsi le standard STEP-NC fournit un modèle de données complet et structuré regroupant les informations de géométrie et techniques sans perte d'information aux différentes étapes de construction de la maquette numérique. Il permet une élimination des post-processeurs et une capitalisation de l'information pied machine en direction de la conception. De plus, la programmation STEP-NC n'est pas restreinte au fraisage et peut-être implémentée dans le cadre d'autres procédés de fabrication. Des travaux dans ce sens ont mené à l'intégration dans STEP-NC du tournage, de la fabrication rapide, de l'électroérosion à fil, etc.

3.4 L'intégration du standard STEP-NC

Il est difficile d'imaginer un déploiement massif et rapide de l'utilisation du standard STEP-NC. Ceci nécessiterait de lourds investissements et une remise à niveau de la majeure partie du parc machine ainsi que de l'environnement logiciel. L'usinage d'une pièce nécessite la commande des différents éléments de la machine outil ce qui implique de traduire les informations de haut niveau orientées objet en informations de plus bas niveau pour l'exécution des tâches. C'est le rôle de l'interpréteur. Celui-ci intègre une grande partie de l'intelligence qui est reportée de la FAO traditionnelle vers la CN, en particulier la génération des trajectoires, l'intégration du modèle fonctionnel de la machine, la simulation et l'optimisation de l'usinage (Figure 3).

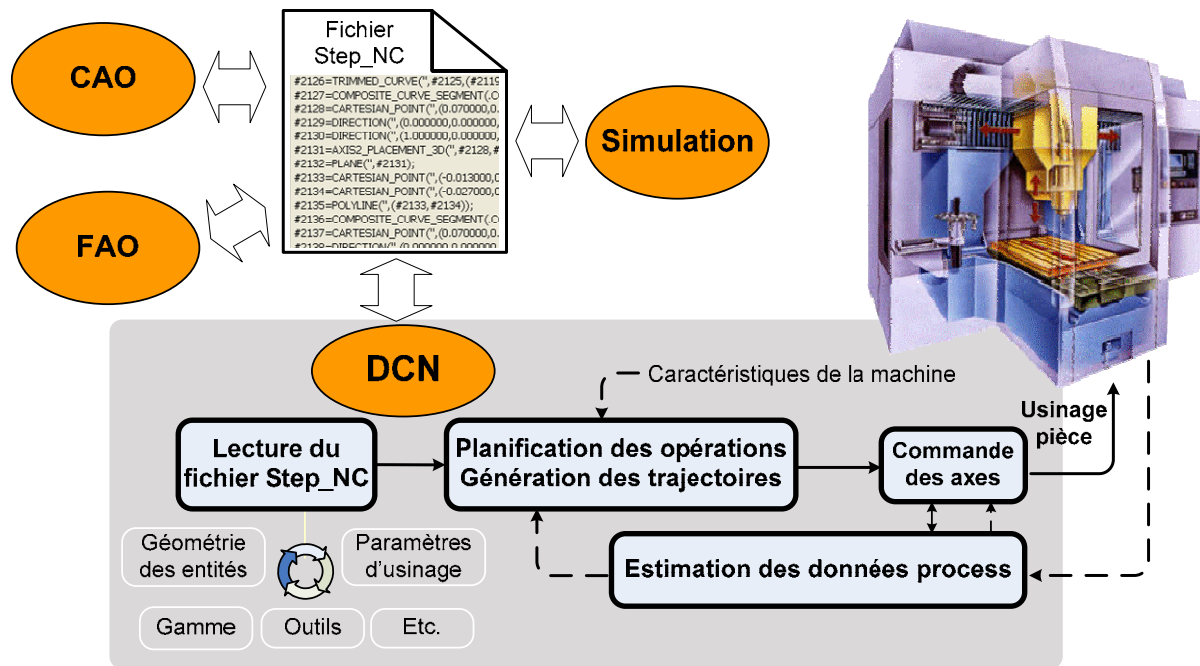


Figure 3 : La commande numérique dans la chaîne numérique STEP-NC

Cette évolution de la programmation au niveau de la CN peut être envisagée en trois étapes successives en vue de la programmation avancée des machines-outils (Figure 4).

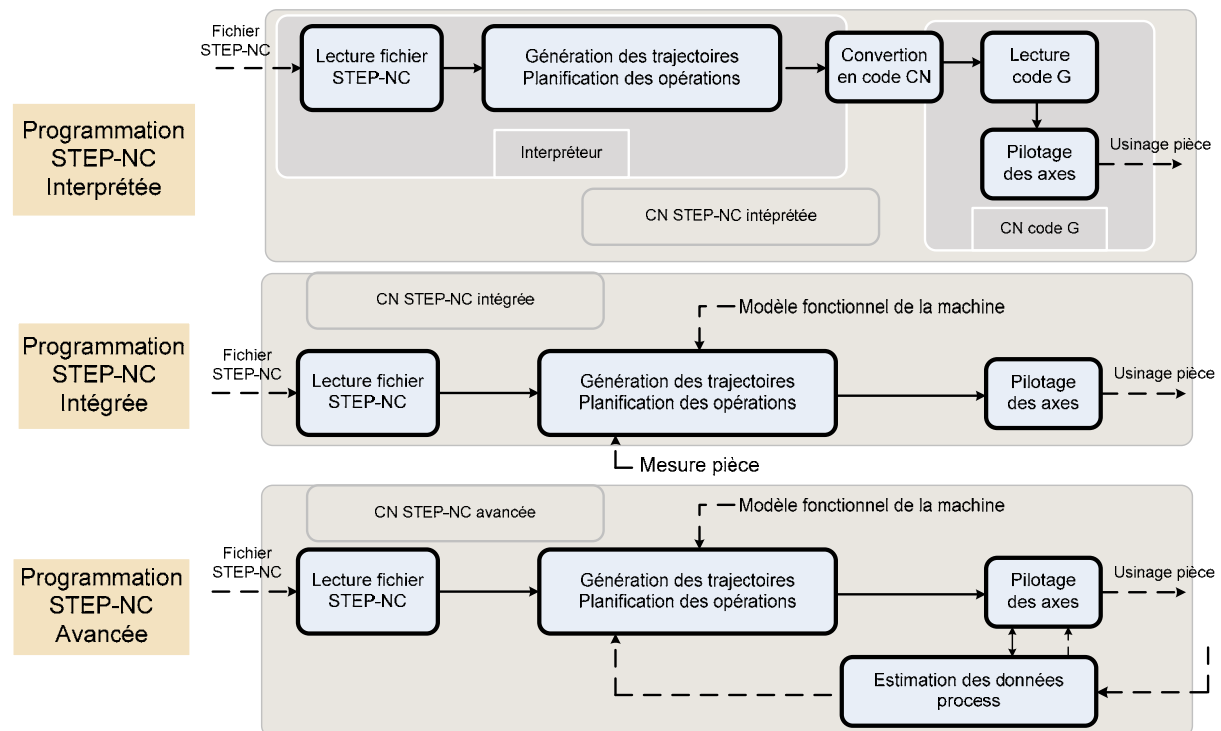


Figure 4 : Les étapes vers la programmation avancée

La première étape consiste en une programmation STEP-NC interprétée nécessitant encore l'adaptation en code G pour pouvoir s'adapter aux machines-outils industrielles existantes. L'utilisation du code G se fait alors de manière transparente pour l'utilisateur. Cette première étape permet de mettre rapidement en œuvre la programmation STEP-NC même si certaines possibilités sont encore restreintes. La seconde étape consiste en une programmation STEP-NC totalement intégrée, sans code

G. Elle permet d'ouvrir la voie vers la programmation avancée qui intègre tous les outils de simulation et d'optimisation par estimation des données process interne à la CN. Elle sera réellement une avancée permettant l'optimisation temps réel des paramètres et des trajectoires d'usinage.

Ce développement jalonné nécessite aujourd'hui des supports physiques compatibles pour initier et développer ce standard prometteur. Il existe peu d'interpréteurs permettant de piloter des machines outils industrielles qui conservent l'ensemble des possibilités offertes par le STEP-NC. Les travaux de recherche présentés dans ce papier exposent une nouvelle plate-forme pour l'usinage de pièces à partir d'un fichier STEP-NC sur des machines outils industrielles

4 SPAIM : une plate-forme intégrée STEP-NC

La plate-forme SPAIM (STEP-NC Platform for Advanced and Intelligent Manufacturing) constitue un nouvel outil de démonstration mais aussi d'implémentation des futurs travaux de recherche sur le standard STEP-NC. Cette plate-forme s'appuie, dans son état actuel, sur une programmation interprétée permettant une rapide diffusion sur des machines outils industrielles. Elle est implémentée sur la machine à structure parallèle du laboratoire (Verne conçue par Fatronik équipée d'une commande numérique Siemens 840D). Elle est de même en cours d'implémentation sur une machine UGV Hermle C30U équipé d'une CN Heidenhain.

4.1 Etat de l'art des plateformes et prototype STEP-NC existants

Il est possible de distinguer plusieurs prototypes nécessitant encore l'emploi du code G pour exécuter les résultats de l'interpréteur STEP-NC. Les premiers travaux dans ce domaine ont été réalisés dans le cadre du projet européen Esprit STEP-NC et ont mené à une application permettant de générer le fichier STEP-NC à partir de Catia (Dassault Systemes) et d'Open Mind. Ces démonstrations ont permis d'illustrer la capacité d'intégrer le standard dans des suites CAO/FAO pour l'exporter vers une CN Siemens 840D adaptée à cet effet [7]. Aujourd'hui, l'entreprise STEP Tools [8] développe un logiciel (ST Machine) permettant de générer et de traiter un fichier STEP-NC ISO 10303 AP238. Il fonctionne comme une interface CN important le modèle CAO et les trajectoires outils dans un format générique. Celles-ci sont ensuite transformées en STEP-NC AP 238. Malgré les avancées liées à la généralité du format, cet interpréteur ne propose que partiellement les possibilités initialement prévues par l'ARM (ISO 14649). Un autre interpréteur a été développé à l'université de Loughborough et permet de traduire un fichier STEP-NC en code G pour des opérations d'usinage [9].

Une autre catégorie de prototypes intégrés permet de s'affranchir du code G. Les chercheurs du laboratoire de Postech en Corée ont développé un système de contrôle autonome basé sur plusieurs modules indépendants (module de génération du fichier STEP-NC, générateur de trajectoires, module de visualisation, module de commande et de contrôle des axes machine) [10]. Ce prototype a ouvert la voie du contrôle d'axes machine directement à partir du fichier STEP-NC. Il a été implémenté sur une machine miniature de laboratoire. Un autre prototype a été présenté à l'université d'Auckland et pose les bases d'une architecture CN complète dédiée aux applications de fraisage sans l'utilisation de code G [11].

Malgré la diversité des prototypes développés, il demeure toujours un manque de solutions réelles pour l'implémentation et le traitement de fichier STEP-NC ISO 14649 au cœur des CN actuelles. Des plateformes de développement sont indispensables pour implémenter et valider les nouvelles propositions et optimisations des outils de programmation avancée. Dans ce cadre, la plate-forme SPAIM a été développée à l'IRCCyN. Elle est basée sur une approche de programmation interprétée STEP-NC, ce qui permet une implantation rapide sur la plupart des commandes numériques industrielles actuelles (Figure 5).



Figure 5 : Plate-forme SPAIM intégrée sur une Siemens 840D

4.2 Présentation de la plateforme SPAIM

La plate-forme SPAIM est composée d'une interface homme machine ainsi que plusieurs modules de traitement. Cette plate-forme est directement implantée au cœur de la CN en communication permanente avec un PC externe pour l'exécution des tâches lourdes (génération des trajectoires, construction du modèle 3D, etc.). L'interface permet à l'utilisateur une visualisation 3D de la pièce, des outils, de l'arbre de construction détaillant la géométrie et les paramètres du process ainsi que la simulation des trajectoires générées (Figure 6).

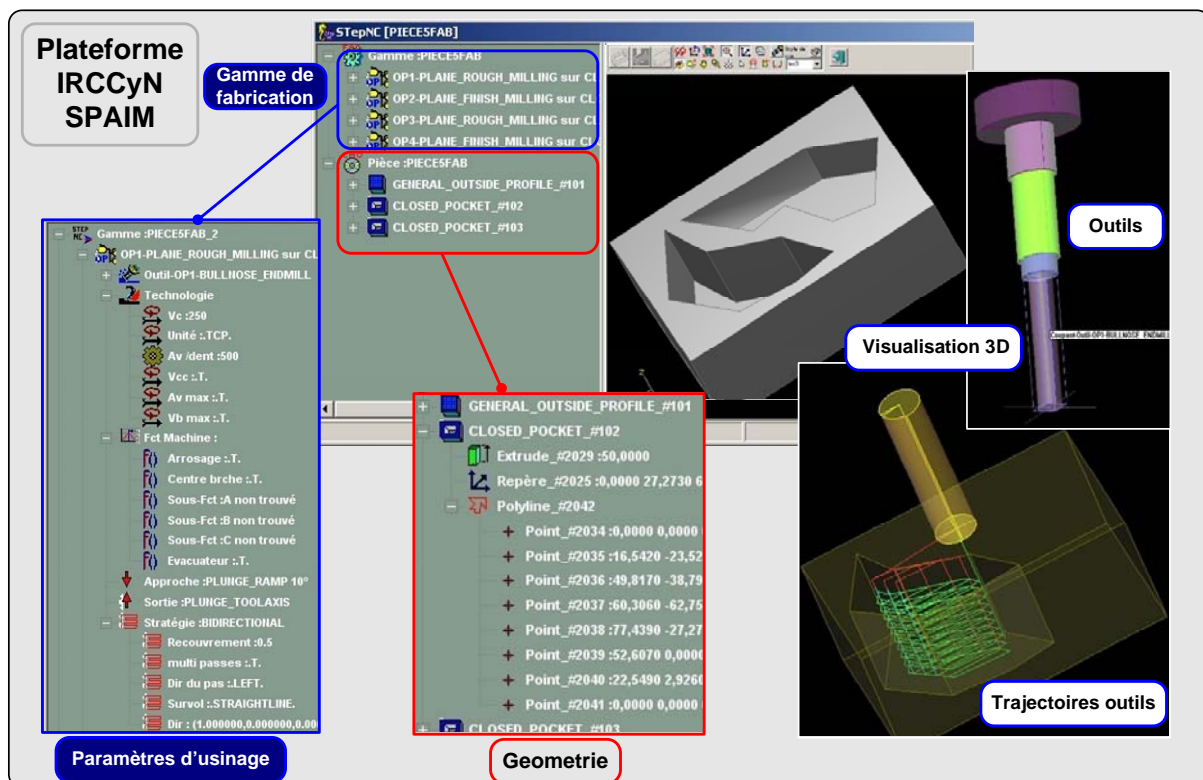


Figure 6 : Interface homme/machine de la plate-forme SPAIM

Cette plate-forme peut-être implémentée sur n'importe quelle CN récente et permet de lire et de traiter des fichiers STEP-NC construits sur le modèle de la norme ISO 14649.

4.3 Architecture de la plateforme

La plate-forme SPAIM est composée de plusieurs modules pilotés par des applications Delphi permettant le lien entre ces différents modules (Figure 7).

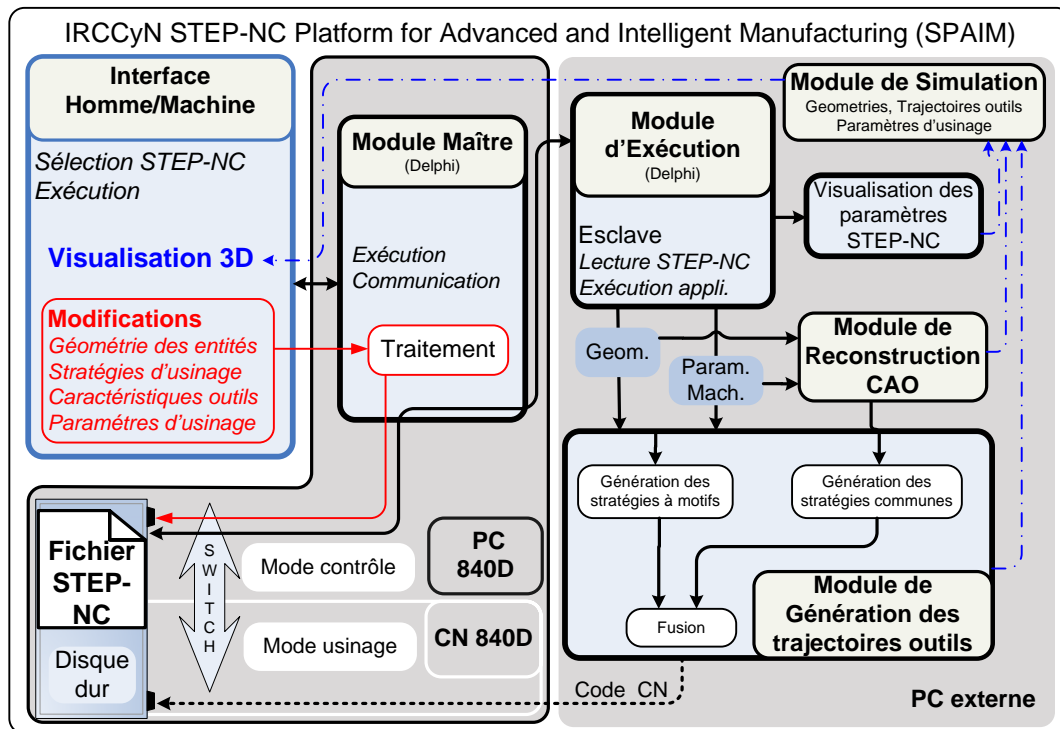


Figure 7 : Architecture de la plate-forme SPAIM

L'interface homme/machine (HMI) permet la visualisation des résultats d'analyse et de calcul au sein de l'interpréteur. Elle permet à l'utilisateur de visualiser, modifier, et valider les choix. Le *module maître* est implémenté au sein du PC de la CN. Il envoie les ordres d'exécution choisis par l'utilisateur aux différents modules 'esclaves'. Il est en lien direct avec le fichier STEP-NC pour sa traduction et répercute les modifications effectuées par l'utilisateur. Le *module d'exécution* transmet les ordres du module maître à l'ensemble des modules de calcul par l'intermédiaire d'un réseau local ou Internet. Le *module de reconstruction CAO* reconstruit automatiquement le fichier CAO à partir des informations de géométrie des entités du fichier STEP-NC. Il est nécessaire de disposer d'un modèle CAO pour le module de génération des trajectoires ainsi que la visualisation 3D de la pièce. Il est basé sur un module Delphi automatisant la commande du logiciel de CAO Delcam PowerSHAPE [12]. Le *module de génération des trajectoires outils* est divisé en deux composants, l'un pour la génération des trajectoires « classiques » (zigzag, contour parallèle, etc.) à l'aide du logiciel Delcam PowerMILL [13] et l'autre, développé à l'IRCCyN, permet de générer des trajectoires à motif (voir paragraphe 4.4) dans le cas de l'usinage trochoïdal et du tréflage. Le *module de simulation* renvoie les résultats des différents calculs à l'interface HMI (analyse du fichier STEP-NC, visualisation 3D de la géométrie de la pièce et des trajectoires outils, etc.).

L'utilisation du code G ainsi que la solution adoptée d'utiliser un PC externe pour effectuer les tâches nécessitant des capacités de calcul non disponible actuellement au sein de la CN, sont totalement transparents pour l'utilisateur. Ce PC distant peut être vu comme une extension des capacités de calcul de la CN.

4.4 Intégration de stratégies d'usinage innovantes et stratégies « classiques »

Concernant le module de génération des trajectoires « classiques » (zigzag, contour parallèle, contour hélicoïdal, etc.), l'utilisation d'un logiciel FAO du marché est pertinente pour pouvoir bénéficier du savoir faire et de l'expérience des constructeurs en termes de génération des trajectoires. De plus, cela va dans le sens où l'ensemble des acteurs de la chaîne numérique actuelle ont un rôle à jouer pour le développement du STEP-NC dans leurs champs de compétence respectifs.

En plus de ce composant de génération trajectoires classique, un autre composant développé à l'IRCCyN permet de générer des trajectoires en s'appuyant sur une méthode nouvelle et innovante de construction par stratégies à motifs [14]. Il s'appuie sur la répétition d'un motif le long d'une courbe guide comme ici dans le cas de l'usinage trochoïdal d'une poche rectangulaire (Figure 8).

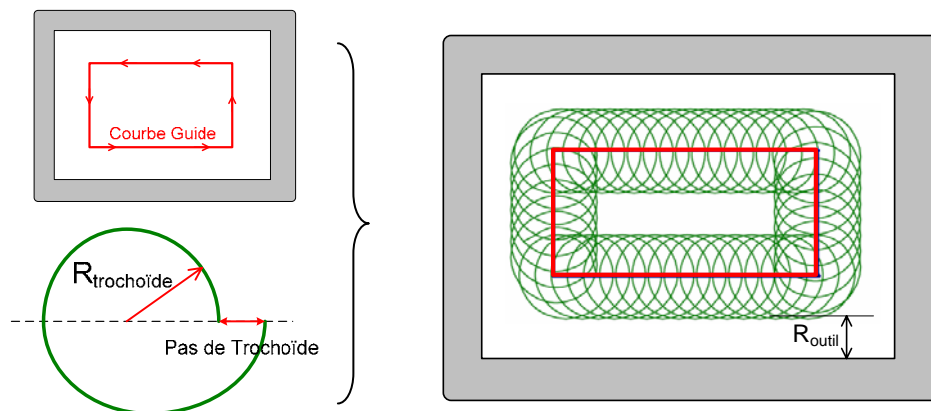


Figure 8 : Construction de trajectoires à motifs trochoïdales

La courbe guide est construite comme une stratégie « classique » à partir de la géométrie de l'entité à usiner. Le motif est quant à lui indépendant. Cette méthode de construction permet de générer des trajectoires complexes à partir de peu d'attributs de haut niveau (dans l'exemple de l'usinage trochoïdal, ces attributs sont le rayon de la trochoïde, le pas de trochoïde et la nature de la stratégie support de la courbe guide). Cette façon de définir des trajectoires présente donc une compatibilité particulière avec le format STEP-NC[15]. L'intégration de ces trajectoires à motif au sein du standard STEP-NC a fait l'objet d'une proposition au groupe de normalisation ISO TC 184/SC1/WG7.

5 Les apports de la plate-forme SPAIM

La plate-forme SPAIM s'intègre dans une chaîne numérique STEP-NC interprétée. La génération du fichier NC est effectuée à partir de n'importe quels modélisateurs CAO puis par traitement dans le module PosSFP. Celui-ci, après reconnaissance des entités, permet à l'utilisateur de choisir les données du process (stratégies d'usinage, outils, entrées/sorties matières, etc.) qui sont ensuite compilées dans le fichier STEP-NC. Ce dernier est ensuite transféré à la CN et automatiquement traité au sein de l'interpréteur (Figure 9).

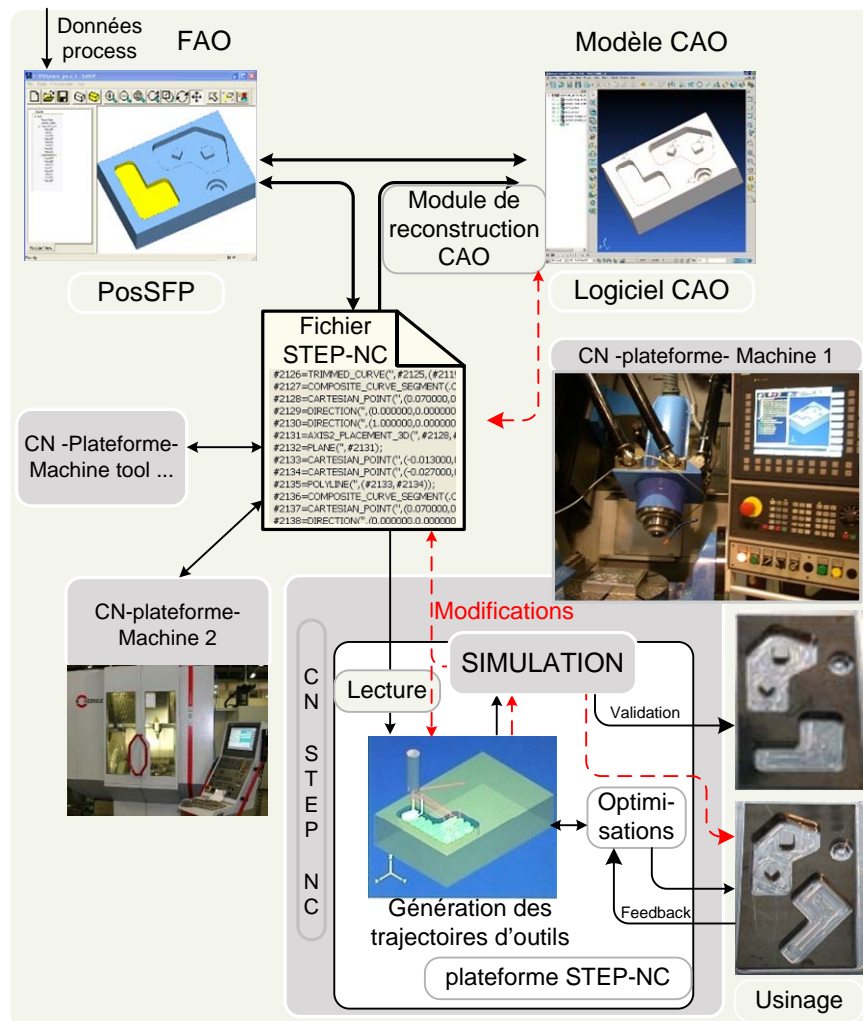


Figure 9 : La chaîne numérique STEP-NC intégrée SPAIM

La génération des trajectoires a lieu à l'intérieur de la CN. Les modifications sont alors possibles au pied de la machine et entraînent une reconstruction automatique du modèle. Les modifications offertes concernent les outils, les paramètres usinage, la géométrie des entités. Il est possible d'insérer des entités ou de modifier la gamme de fabrication. Le feedback vers la CAO FAO se fait avec l'enregistrement des modifications dans le fichier STEP-NC. Le module de reconstruction CAO permet de créer les entités géométriques qui sont ensuite exportables vers n'importe quel modèleur CAO par l'intermédiaire du format STEP par exemple. La chaîne numérique est ainsi totalement intégrée et permet un échange bidirectionnel des données de la CAO vers la CN et inversement. Plusieurs pièces test ont été usinées avec, dans l'exemple de la Figure 9, des modifications pied machine de la géométrie de la pièce et de la stratégie d'usinage. Le recalcul et l'adaptation des trajectoires d'usinage est effectué directement au sein de la CN.

6 Un pas de plus vers la programmation avancée des machines outils

La plate-forme SPAIM offre aujourd'hui de nouvelles possibilités liées à la programmation STEP-NC. Les avantages du STEP-NC, outre ceux cités précédemment, se situent aussi au niveau des possibilités de simulation et d'optimisation au sein d'une CN plus autonome et performante. SPAIM est ainsi destinée à intégrer les travaux de recherche menés dans ce domaine.

Un module de simulation, basé sur les travaux existant à l'IRCCyN [16], permettra de simuler l'avance réelle lors de l'usinage d'une pièce pour une première adaptation des paramètres d'usinage en vue de limiter les erreurs de poursuites. Il permettra aussi d'estimer la déflexion de l'outil par calcul des efforts de coupe pour une adaptation des trajectoires outils en vue d'anticiper ce phénomène. D'autres

modules de simulation pourront être implémentés au sein de la plate-forme SPAIM pour une adaptation automatique des trajectoires et des paramètres d'usinage.

De plus, de nouvelles possibilités s'offrent en vue de l'optimisation temps réel ou suite à l'usinage. Le concept ICAM (Intelligent Computer Aided Manufacturing) [17; 18] développé à l'IRCCyN propose une méthode d'optimisation et d'adaptation des paramètres opératoires et des trajectoires outil en fonction des données disponibles dans la CN. En pratique, l'adaptation temps réel des paramètres d'usinage (par exemple l'avance) en fonction des efforts de coupe estimés au sein de la CN (calcul à partir des courants et puissances moteurs, du modèle géométrique de la machine, etc.) ont déjà montré de bons résultats. De même, la mesure de la pièce sur la machine peut permettre une régénération adaptative des trajectoires dans la CN. Une application sur des pièces flexibles a permis une adaptation par morphing des trajectoires suite à la mesure des pièces soumises aux efforts de maintien en position.

Le développement de la plate-forme SPAIM amènera à l'intégration de ces modules dont les possibilités pourront être accrues au sein de l'interpréteur STEP-NC. D'autres modules de simulation et d'optimisation pourront être intégrés en vue de la programmation avancée et intelligente des machines outils.

7 Le concept de fabrication multiprocess STEP-NC

Outre les développements concernant le fraisage, les travaux de l'IRCCyN sur le standard STEP-NC concernent aussi la fabrication rapide [19] et le concept de fabrication multiprocess STEP-NC. En effet, cette programmation de haut niveau peut permettre d'inclure et de rendre interopérables plusieurs procédés de fabrication. L'objectif à terme est de disposer d'une plate-forme STEP-NC permettant d'inclure à la maquette numérique du produit la notion de supervision multiprocess. La fabrication d'une pièce par entité telle que véhiculée par le STEP-NC ouvre la voie d'un regroupement de l'ensemble des données de fabrication, quel que soit le procédé, au sein d'une même maquette numérique STEP-NC. Aujourd'hui, il existe une rupture nette entre chaque procédé, entraînant un cloisonnement des informations de fabrication d'un même produit. L'objectif de cette plate-forme de supervision multiprocess est de rendre interdépendantes les différentes paramétrisations liées aux procédés. Le STEP-NC offre aujourd'hui une réelle solution à travers la définition orientée objet des entités de fabrication.

8 Conclusion

STEP-NC offre aujourd'hui un panel de nouvelles possibilités et avancées, tant au niveau de la programmation de l'usinage à grande vitesse que de l'intégration d'autres procédés de fabrication. Cet article propose, dans le cas du fraisage, une nouvelle solution d'intégration de la programmation STEP-NC interprétée à travers la plate-forme SPAIM (STEP-NC Platform for Advanced and Intelligent Manufacturing) implémenté au sein de la commande numérique des machines outils industrielles actuelles. Cette plate-forme permet la lecture et l'exécution d'un fichier STEP-NC sur n'importe quelle commande numérique. À partir des informations orientées objet du fichier STEP-NC, elle génère automatiquement les trajectoires et permet des modifications pied machine de la géométrie des entités et des données process. Le feed-back de ces modifications au sein du fichier STEP-NC est alors possible en direction de la CAO/FAO. Des modules de simulation et d'optimisation permettront à la plate-forme SPAIM d'appuyer les avantages liés à la programmation STEP-NC. Elle constitue de même le socle d'une plate-forme de supervision pour la fabrication multiprocess qui ouvre une voie peu explorée pour l'intégration complète de la fabrication dans la chaîne numérique.

Ce travail a été conduit dans le cadre du groupe de travail Manufacturing 21 qui regroupe 18 laboratoires de recherche français. Les thèmes étudiés sont la modélisation du processus de fabrication, l'usinage virtuel et le développement de nouvelles méthodes de fabrication.

Références

- [1] ISO_6983, "*International Standard Organization. Numerical control of machines - Program format and definition of adress words*", 1982.
- [2] ISO_14649-10, "*International Standard Organization. Industrial automation systems and integration - physical device control - data model for computerized numerical controllers - Part 10 : general process data*", ISO TC 184/SC1/WG7/FDIS, 2004.
- [3] I. E. KHALKHALI, 2002, *Système intégré pour la modélisation, l'échange et le partage des données de produit*, Thèse de Doctorat, INSA de LYON
- [4] A. B. FEENEY, T. R. KRAMER, F. PROCTOR, M. HARDWICK, D. LOFFREDO, "*STEP_NC Implementation - ARM or AIM ?*" ISO TC184/SC4 WG3 N1223, mars 2003.
- [5] ISO_10303-238, "*Norme ISO 10303-238 : Systèmes d'automatisation industrielle et intégration. Représentation et échange de données de produits. Partie 238: Protocole d'application : Modèle d'application interprété pour les directeurs de commande numérique*", ISO TC 184/SC4/WG3 N1534, 2007.
- [6] J. Y. HASCOET, R. LAGUIONIE, "*STEP-NC research at the IRCCyN*", 56th ISO TC 184/SC1 Plenary Meeting, 29-31 octobre 2008.
- [7] M. WECK, WOLF, J. AND KIRITSIS, D., "*The STEP compliant NC programming interface evaluation and improvement of the modern interface*", ISM Project Forum, 2001.
- [8] STEPTOOLS, www.steptools.com, 2008, date de consultation: Décembre 2008.
- [9] S. T. NEWMAN, R. D. ALLEN, R. R.S.U., "*CAD/CAM solutions for STEP-compliant CNC manufacture*", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 16 n°7-8, p. 590-597, 2003.
- [10] S. H. SUH, B. E. LEE, D. H. CHUNG, S. U. CHEON, "*Architecture and implementation of a shop-floor programming system for STEP-compliant CNC*", Computer-Aided Design, Vol. 35 n°12, p. 1069-1083, 2003.
- [11] X. XU, "*Development of a G-code Free STEP-compliant lathe*", 2004 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE), CIE-2 Computer Aided Product Development, 13-19 November 2004.
- [12] POWERSHAPE, www.powershape.com, date de consultation: Décembre 2008.
- [13] POWERMILL, www.powermill.com, date de consultation: Décembre 2008.
- [14] R. LAGUIONIE, M. RAUCH, J. HASCOET, "*Intégration de stratégies à motifs dans le standard Step_NC : application à l'usinage trochoïdal*", Assises Machines et Usinage Grande Vitesse 2008, Nantes, 2008.
- [15] R. LAGUIONIE, M. RAUCH, J. HASCOET, "*Toolpaths programming in an intelligent Step_NC manufacturing context*", Journal of Machine Engineering, Vol. 8 n°1, p. 33- 43, 2008.
- [16] A. DUGAS, J. J. LEE, M. TERRIER, J. Y. HASCOET, "*Development of a machining simulator considering machine behaviour*", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 217 n°9, p. 1333-1339, 2003.
- [17] M. RAUCH, J. Y. HASCOET, J. C. HAMANN, Y. PLENNEL, "*A new approach for toolpath programming in Incremental Sheet Forming*", ESAFORM, Lyon, 23-25 Avril 2008, disponible sur le site <http://esaform2008.insa-lyon.fr>, date de consultation: Décembre 2008.
- [18] J. Y. HASCOET, M. RAUCH, "*A generic method for real time adaptative force control in manufacturing operations using CNC data*", International conference on High Speed milling, Suzhou (China), 11-13 Mai 2006.
- [19] R. BONNARD, P. MOGNOL, J. Y. HASCOËT, "*Rapid Prototyping Project Description in STEP-NC Model*", Proceedings of 6th CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Naples (Italy), 23 - 25 July 2008.