

Programmation des machines-outils à commande numérique (MOCN)

Etienne LEFUR et Christophe SOHIER - Ecole Normale Supérieure de CACHAN

1. Introduction

La programmation des Machines-Outils à Commande Numérique (MOCN) est le maillon essentiel entre la modélisation des pièces et leur réalisation partielle ou totale. De très nombreuses technologies de fabrication sont maintenant pilotées par des commandes numériques : tournage, fraisage, électroérosion, rectification, affûtage, pliage, poinçonnage, découpes, etc... avec à l'intérieur de ces grandes familles une forte variété d'architectures physiques de machines et de directeurs de commande numérique (DCN). En amont aussi il y a pléthore de logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) plus ou moins orientés vers des métiers spécifiques. On voit donc pourquoi l'intégration entre la conception et la fabrication est difficile.

En Licence de Technologie Mécanique ce concept est illustré sur une pièce simple nécessitant des opérations de fraisage dans le plan XY. Néanmoins à partir d'un modèle CATIA de la pièce, il faut passer par les étapes successives :

- générer les trajectoires d'usinage,
- ajouter éventuellement des instructions particulières indispensables,
- traduire ces trajectoires et ces instructions en utilisant un post-processeur,
- vérifier éventuellement le programme ainsi généré,
- transférer le programme dans le DCN de la MOCN,
- et exécuter le programme.

En Maîtrise de Technologie Mécanique, nous proposons ici un approfondissement de la programmation des MOCN en limitant l'étude au tournage et au fraisage. Cet enseignement a pour objectif de donner aux étudiants le moyen de développer des applications industrielles de Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) de plus en plus «intelligentes» : post-processeurs spécifiques, usinage grande vitesse (UGV), palpé sur MOCN, etc... Il a aussi pour but de donner aux Normaliens agrégés les connaissances nécessaires pour enseigner dans les Sections de Techniciens Supérieurs suivantes : productique mécanique, microtechnique, étude et réalisation d'outillage (ERO) ainsi que dans la filière pré-bac de Sciences et Techniques Industrielles.

Nous commençons par une découverte rapide des MOCN : les composants des directeurs de commande numérique, la définition normalisée des axes, la comparaison avec les machines traditionnelle, les principes de base d'une utilisation rationnelle de ces moyens de production dont il convient de maximiser le taux de rendement synthétique (TRS) : temps passé à produire des pièces bonnes divisé par le temps d'ouverture de l'atelier.

Pour commencer nous abordons la programmation en tournage. Elle est plus simple car ces machines possèdent généralement deux axes de déplacement. Nous considérons qu'avec un jeu d'instructions réduit, que nous avons regroupé dans un glossaire, il est possible de programmer 80% des phases de tournage courantes directement à l'aide d'un éditeur de texte. Un simulateur de trajectoires, du type du logiciel LI_CN, permet ensuite de mettre au point rapidement les programmes ainsi écrits. L'étude des cycles automatiques et de la correction de rayon d'outil normale au profil est détaillée.

Puis nous décrivons la programmation en fraisage. Nous nous limitons aux machines à trois axes et au centre d'usinage quatre axes à broche horizontale et plateau tournant (axe B). L'étude des cycles fixes est détaillée.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement, la mise en oeuvre et le réglage des MOCN, une modélisation géométrique simple résumée par une équation vectorielle est proposée.

Pour finir nous apportons des éléments de réflexion sur l'intégration des systèmes de fabrication assistée par ordinateur (FAO) et les fonctionnalités des directeurs de commande numérique.

2. Composants et programmation des MOCN

2.1. Comparaison entre les machines traditionnelles et les MOCN

Commençons par les **inconvénients** des MOCN ; elles en ont au moins trois et il ne faudrait surtout pas les sous-estimer. Le premier inconvénient est certainement son coût horaire très élevé du à un investissement important : une machine à trois axes de bonne qualité, correctement outillée, coûte près d'un million de francs (1MF). Bien souvent la rentabilité de cet investissement passe par une organisation du travail en équipe (2 ou 3 équipes), générant aussi des inconvénients induits. Le second inconvénient est justement lié aux difficultés de programmation et le recours systématique à un système de FAO qu'il faut choisir en fonction de ses besoins, acheter et maîtriser par une formation importante des utilisateurs. Le troisième inconvénient est relatif à la maintenance coûteuse de ces machines : d'une part à cause du coût élevé des composants réparés ou changés, d'autre part à cause des pertes dues à l'immobilisation de la machine et enfin à cause de la rareté des ressources pluridisciplinaires internes ou externes capables d'intervenir.

Malgré cela, les **avantages** directs et induits sont considérables. Dans les technologies de tournage et fraisage, l'utilisation des MOCN a permis d'éliminer beaucoup d'opérations de forme, supprimant du même coup de nombreux outillages spécifiques en ARS affûtés aux dimensions de la forme désirée. Cela est dû aux possibilités de contournage en interpolation linéaire et circulaire des chanfreins et des congés de raccordement. Il en est de même des gabarits de copiage dont l'élaboration était longue, délicate et coûteuse.

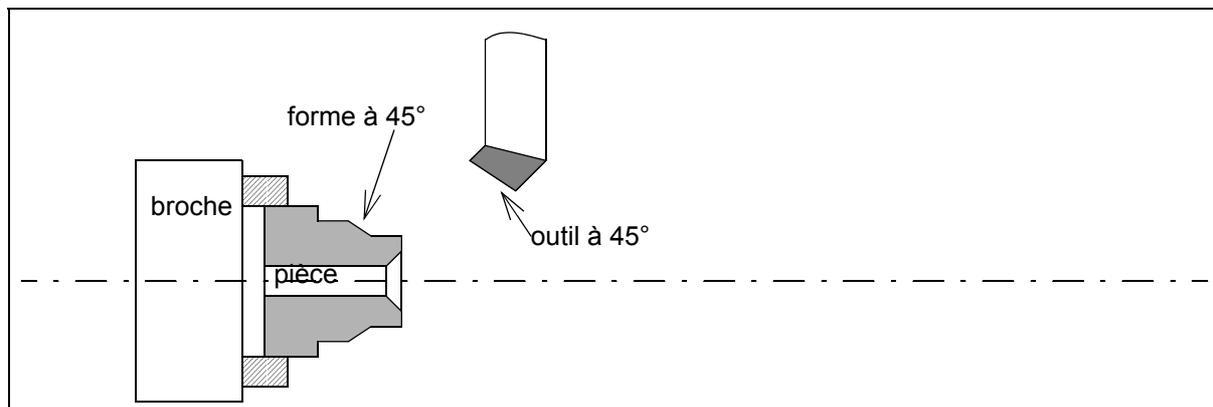


Figure 1 : suppression de certains outils de forme

Comme les MOCN sont avant tout des machines automatisées, il en résulte une forte diminution des temps morts. Les différents mouvements sont enchaînés automatiquement sans l'intervention d'un opérateur et les vitesses de déplacement hors usinage sont élevées (de 1.500 à 60.000 mm/min). C'est aussi le cas du changement d'outil. Par ailleurs les technologies utilisées ont également permis l'utilisation effective de conditions de coupe optimisées grâce à des variations continues des vitesses de broche et d'avance. Ceci conduit à une meilleure utilisation des outils et à un accroissement de la qualité des surfaces obtenues en terme d'état de surface et de précision dimensionnelle. Cette meilleure précision des usinages réalisés est également obtenue grâce à des capteurs de position dont la résolution théorique est comprise entre 0,5 μm et 20 μm (0,02 mm). De plus le contrôle et la correction sont automatisable.

Nous verrons dans le paragraphe sur l'utilisation rationnelle des MOCN que le temps de changement de série peut être fortement réduit moyennant des moyens communs de mesure d'outil et de porte pièce. Cela permet de réduire la taille des lots ce qui entraîne une meilleure réactivité de l'atelier aux besoins commerciaux exigés par les clients.

Une plus grande fiabilité des usinages aussi bien en terme de qualité que de délai améliore considérablement la gestion de l'atelier. Le temps effectivement passé à réaliser un lot de pièces est proche de la prévision du bureau des méthodes transmise à la gestion de production.

Enfin, et c'est un facteur souvent décisif, les MOCN donnent la possibilité de réaliser des pièces que l'on ne sait pas fabriquer autrement : filetage torrique pour une prothèse de hanche, formes complexes directement issues du système de CAO, etc...

2.2. Éléments de base d'un directeur de commande numérique

Le directeur de commande numérique (DCN) est composé de la partie commande du système automatisé qu'est une machine outil. Il contient les éléments suivants :

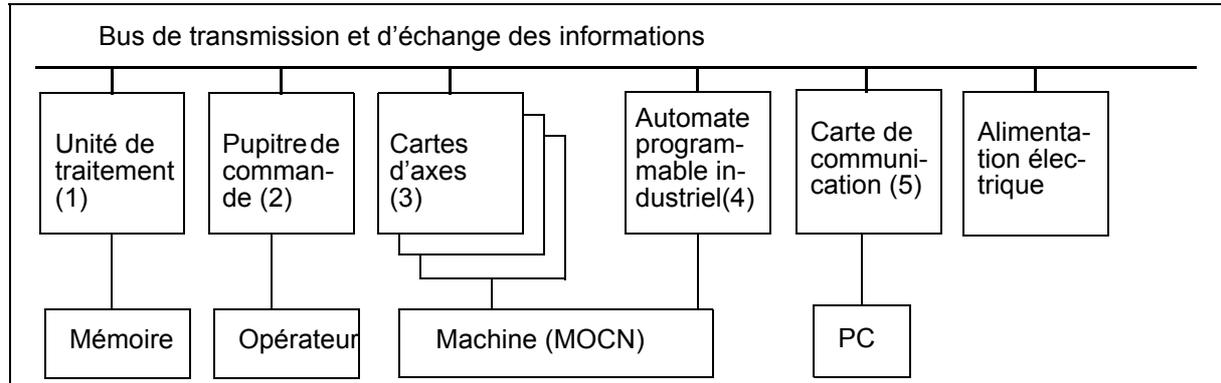


Figure 2 : éléments essentiels d'un DCN

(1) Unité de traitement composée de mémoire et d'un microprocesseur pour le traitement des programmes CN, la génération des trajectoires (calcul des points de passage sur un cercle en interpolation circulaire) et le pilotage de l'ensemble du système.

(2) Pupitre de commande composé d'un clavier et d'un écran servant d'interface avec l'opérateur pour la sélection des programmes, l'édition des programmes, la saisie des paramètres de réglage, la visualisation graphique, la sélection des modes d'utilisation de la machine.

(3) Cartes d'axes pour l'asservissement numérique de la position des éléments mobiles de la machine : amplificateur, comparateur, correcteur.

(4) Automate programmable industriel (API) pour le traitement des fonctions annexes relevant de l'automatique séquentielle : lubrification, sens de rotation de la broche, évolution du magasin d'outils, arrêt d'urgence, ouverture carter, etc...

(5) Carte de communication avec un PC pour le téléchargement des programmes depuis un PC vers le DCN en utilisant la liaison série RS232. Les paramètres sont : la vitesse de transmission (généralement 9600 bauds), le contrôle de parité, le port de communication, ... Les programmes dont la taille est inférieure à la capacité mémoire du DCN, sont entièrement chargés en mémoire avant d'être exécutés. Les autres programmes, généralement issus du système de CFAO, dont la taille est supérieure à la capacité mémoire du DCN, sont chargés et exécutés en "mode passant". Au fur et à mesure que les blocs sont exécutés, les blocs suivants sont chargés automatiquement.

En plus de ces éléments de base, les DCN actuels sont maintenant équipés sur une base de PC d'un disque dur, d'un lecteur de disquette et d'une carte de communication de type Ethernet.

Les composants de la MOCN sont : moteurs d'axes, moteurs de broche, boîte de vitesse, capteur de vitesse, capteurs de position, et plus rarement capteurs d'effort et capteurs de température. Leurs caractéristiques ne sont pas détaillées ici.

2.3. Asservissement en position et en vitesse d'un axe numérique

La fonction principale des MOCN est le contrôle des déplacements des axes de la machine. La vitesse des déplacements et la position des éléments mobiles sont contrôlées par un asservissement en boucle fermée.

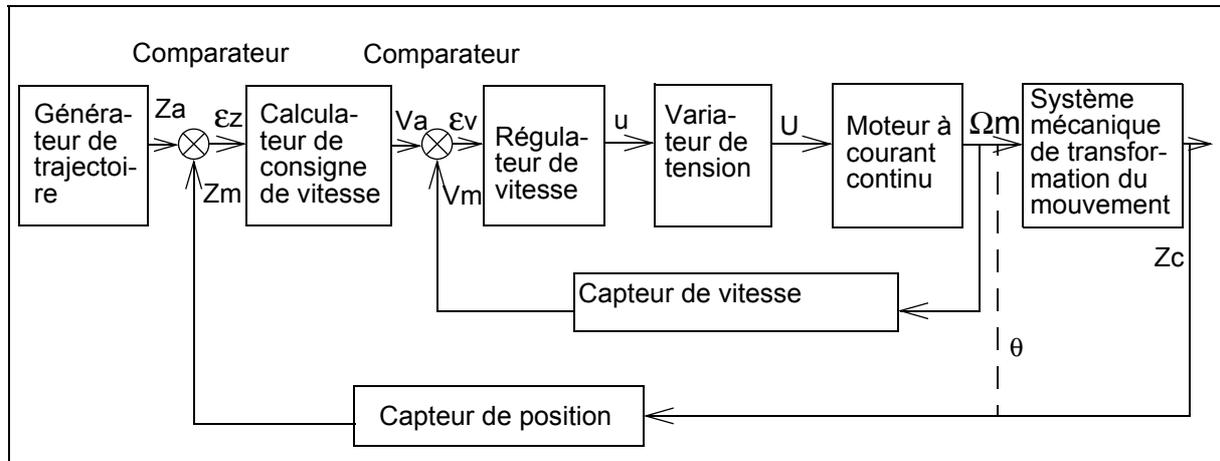


Figure 3 : schéma fonctionnel de l'asservissement d'un axe numérique

Avec les notations suivantes :

Z_a : consigne de position calculée et affichée,

Z_c : position réelle du chariot,

Z_m : position mesurée par le capteur de position,

ϵ_z : écart de position,

V_a : vitesse affichée,

V_m : vitesse mesurée,

ϵ_v : écart de vitesse,

u : tension en sortie du régulateur de vitesse,

U : tension amplifiée pour alimenter en puissance le moteur à courant continu,

Ω_m : vitesse de rotation du moteur,

θ : position angulaire de l'axe du moteur.

2.4. Les différents types de capteurs de position

On peut classer les capteurs de position en deux familles. Les capteurs analogiques de type potentiomètre, comme les résolveurs, qui sont de moins en moins utilisés car trop cher et nécessitant des convertisseurs analogique / numérique (CAN). Les capteurs digitaux ou numériques classés en deux catégories : absolus ou incrémentaux.

Les capteurs absolus, comme leur nom l'indique, ont la particularité de posséder un zéro de référence physique et unique. Très intéressant sur le papier, cela conduit malheureusement à des solutions chères : pour coder un déplacement sur une course de 1 mètre avec une définition de $1\mu\text{m}$, il faut 20 bits. Ils sont donc peu utilisés sur les machines outils courantes.

Les capteurs incrémentaux détectent et comptent des impulsions optiques ou inductives. Ils sont moins chers que les capteurs absolus mais nécessitent une vérification du comptage, à l'aide de "tops" régulièrement espacés, et une initialisation.

2.5. La procédure d'initialisation des capteurs de position de la machine

Cette procédure, plus ou moins automatisée, est souvent appelée "prise d'origine mesure" (POM).

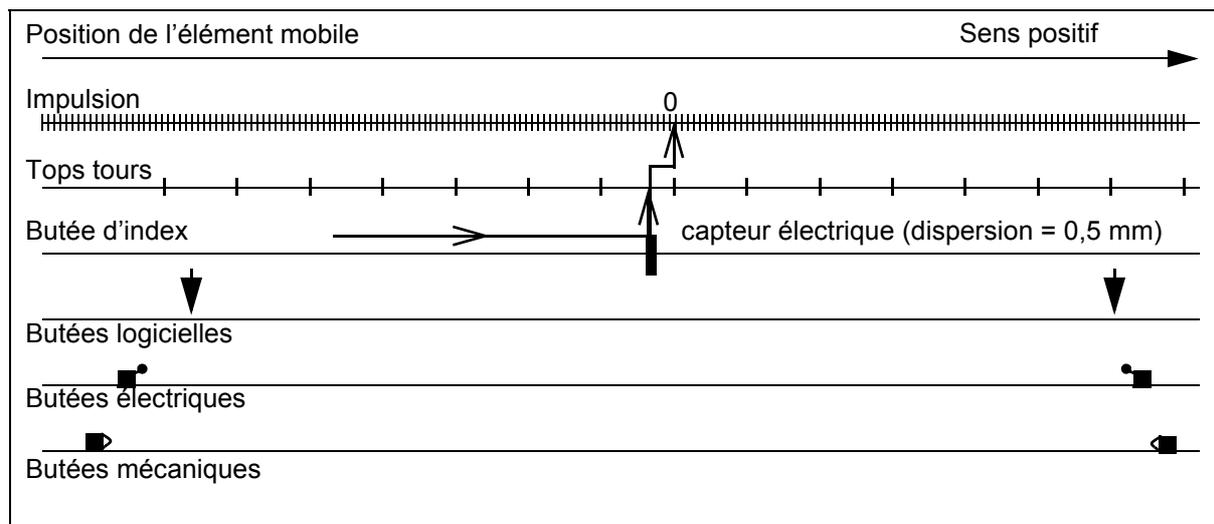


Figure 4 : procédure d'initialisation d'un axe numérique

L'élément mobile se déplace jusqu'à venir en contact avec le capteur électrique de la butée d'index. A partir de ce moment il va automatiquement jusqu'au top tour suivant qui met à zéro le compteur de position.

Certaines machines sont plus faciles à programmer si le zéro du capteur de mesure se trouve à une position particulière de l'élément mobile. Dans ce cas le constructeur de la machine valide une valeur d'initialisation qui décale le zéro.

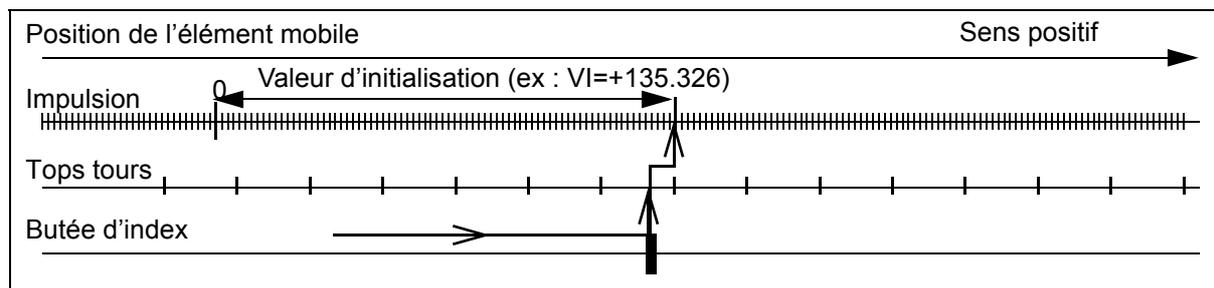


Figure 5 : décalage de l'origine mesure par le constructeur

Si la butée d'index est trop proche d'un top tour, la dispersion du capteur électrique peut parfois provoquer le déplacement jusqu'au top tour suivant. Il en résulte alors une erreur de position du zéro de plusieurs mm (point 0') qui peut avoir des conséquences désastreuses pour la machine.

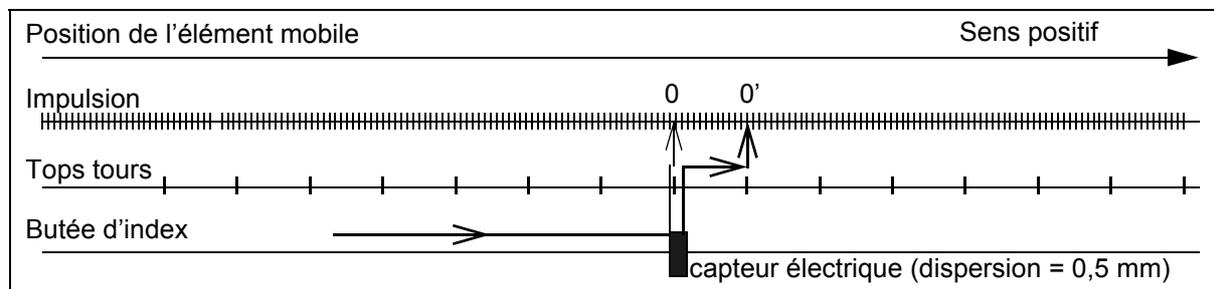


Figure 6 : coïncidence entre la butée d'index et le top tour

Sur la plupart des machines la butée d'index est accostée dans le sens positif de déplacement. Il n'est pas rare de rencontrer des exceptions sur les machines conventionnelles numérisées.

Les butées logicielles ne sont actives qu'après le succès de la procédure d'initialisation !

2.6. Définition normalisée des axes numériques d'une MOCN

La norme AFNOR NF Z 68-020 de décembre 1968 ainsi que l'ISO 841 définissent la dénomination des axes pour les machines possédant 3 axes orthogonaux. L'axe Z est la direction de déplacement parallèle à l'axe de la broche. C'est le déplacement longitudinal sur un tour et le déplacement vertical sur une fraiseuse à broche verticale. L'axe X est la direction de déplacement perpendiculaire à l'axe Z et dont la course est la plus grande. C'est le déplacement transversal sur un tour. Sur une fraiseuse, la direction de déplacement X est souvent la même que la direction de la plus grande dimension de la table. L'axe Y est la direction de déplacement perpendiculaire à Z et X de manière à former un trièdre direct. Selon la norme "le sens positif du mouvement d'un chariot de la machine est celui qui provoque un accroissement sur la pièce de la coordonnée correspondante".

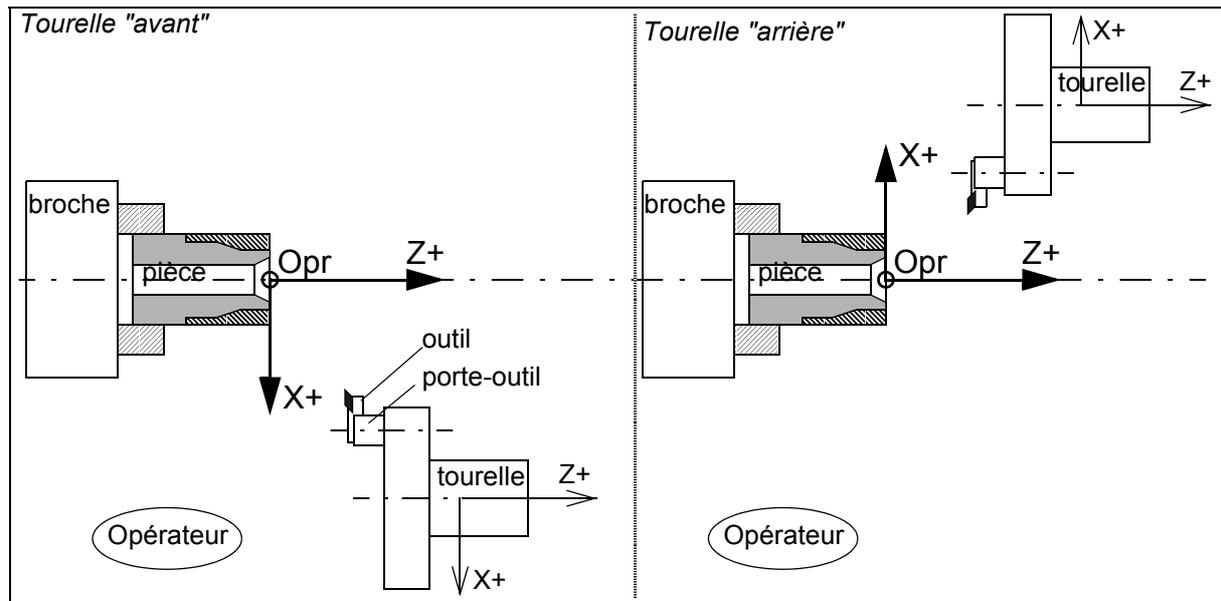


Figure 7 : repère de programmation en tournage

On a les correspondances suivantes pour la notation des axes d'une machine :

- axes principaux : X Y Z pour les axes de translation,
- axes principaux : A B C pour les axes de rotation respectivement parallèles aux directions X, Y et Z,
- axes secondaires : U V W pour les axes de translation respectivement parallèles aux directions X, Y et Z.

2.7. Qu'est ce qu'un programme CN

Pour élaborer un programme CN, il faut avoir déterminé auparavant le contrat de phase qui contient les informations : machine-outil à commande numérique envisagée, choix d'outil, détermination des conditions de coupe et des trajectoires, choix du porte-pièce, calcul des cotes de fabrication. A partir de ceci le programmeur choisit le ou les repères de programmation qu'il va utiliser ainsi que les enchaînements entre les trajectoires d'usinage.

Il existe sur le marché une grande diversité de Directeurs de Commande Numérique (DCN) : NUM (France), SIEMENS (Allemagne), FANUC (Japon), GENERAL ELECTRIC (USA), PHILIPS (NL), FIDIA, capables d'être intégrés sur n'importe quelle machine-outil, ainsi que certains spécifiques à un constructeur comme MAZAK ou FERRARI. Malgré cela la plupart des langages de programmation repose sur des invariants. Pour tous ces DCN, un programme CN est un ensemble de caractères alphanumériques (% , F , + , 2) regroupés en mots composés très souvent d'une adresse alphabétique et d'une valeur numérique (M3, X0, Y-234.567). L'ensemble des mots d'une ligne forme une séquence élémentaire qui a une signification pour la machine et pour le programmeur. Les séquences élémentaires les plus couramment utilisées sont regroupées dans le glossaire des instructions liées à une MOCN.

La syntaxe globale d'un programme CN est :

- %n : % est toujours le premier caractère d'un programme suivi éventuellement du numéro "n" d'identification du programme,
- ...
- M2* : instruction machine de fin de programme suivie du caractère * de fin de fichier indispensable pour les transferts de fichier entre le DCN et un PC.

2.8. Le glossaire des instructions (voir annexe)

La diversité des DCN et des langages de programmation qu'ils utilisent, la diversité des machines pilotées conduisent à une réelle difficulté de programmation. Nous avons donc conçu un glossaire d'instructions pour chaque DCN, une sorte de lexique de phrases types à la syntaxe correcte, qui permet d'élaborer facilement un programme CN. Chaque entrée de glossaire, désignée par un verbe à l'infinitif, correspond à un bloc CN qui est une séquence qui sera exécutée. L'utilisation systématique du glossaire conduit à une standardisation des programmes CN, qui aide à la création, la relecture et les modifications des fichiers. La fonction glossaire des traitements de texte permet de construire le squelette du programme sans taper une seule ligne ; seules les valeurs numériques spécifiques de l'usinage de la pièce doivent être renseignées. De plus, il est possible de créer des super-entrées de glossaire composées de plusieurs lignes pour décrire une opération complète d'usinage comme un dressage, un perçage, etc... Afin de les reconnaître, elles commencent par le verbe "réaliser". Le seul inconvénient lié à l'utilisation d'un glossaire vient du fait que le programme CN n'est pas forcément optimisé. Enfin, à l'arrivée d'une nouvelle machine, il suffit de créer et mettre au point un nouveau glossaire en s'inspirant des précédents.

2.9. L'élaboration du contrat de phase

Les possibilités offertes par les MOCN sont très importantes vis à vis des machines conventionnelles. Il convient donc de les exploiter au maximum en tentant de réaliser le plus possible d'opérations d'usinage dans une même phase. Cela évite les transferts de cotes qui diminuent les intervalles de tolérance des cotes de fabrication, ainsi que la conception et la réalisation de nombreux montages d'usinage. Cela limite le nombre de machines nécessaires à la réalisation d'une pièce. Cela réduit les manipulations inutiles et les stocks d'en-cours entre les machines.

Le schéma suivant présente la succession des études nécessaires à l'élaboration du contrat de phase ainsi que les boucles d'ajustement parfois nécessaires. La réalité est parfois encore plus complexe car les interactions entre les différentes études sont nombreuses et les choix technologiques sont intimement liés.

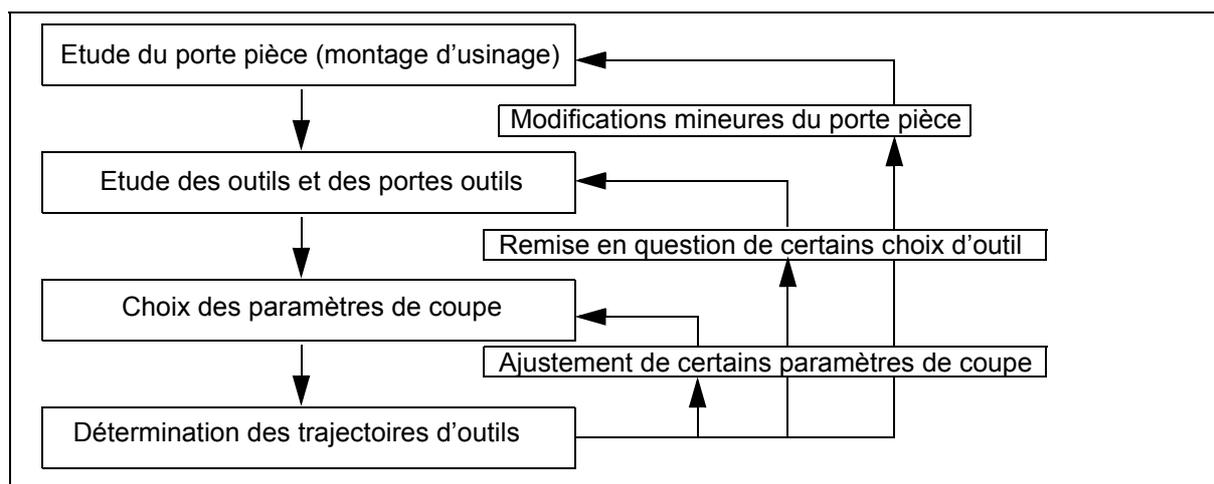


Figure 8 : chronologie d'élaboration du contrat de phase

2.9.1. Etude du porte pièce

Le montage d'usinage doit permettre l'accessibilité à un maximum de surfaces à usiner. Il doit néanmoins satisfaire aux règles de l'isostatisme pour réduire la dispersion de mise en position de la pièce. Le maintien en position doit empêcher la pièce de bouger mais doit aussi éviter qu'elle se déforme. Le

porte pièce doit être rigide, doit permettre l'évacuation des copeaux et de la lubrification. Toutes ces contraintes sont parfois difficiles à concilier et nécessitent des études parfois complexes.

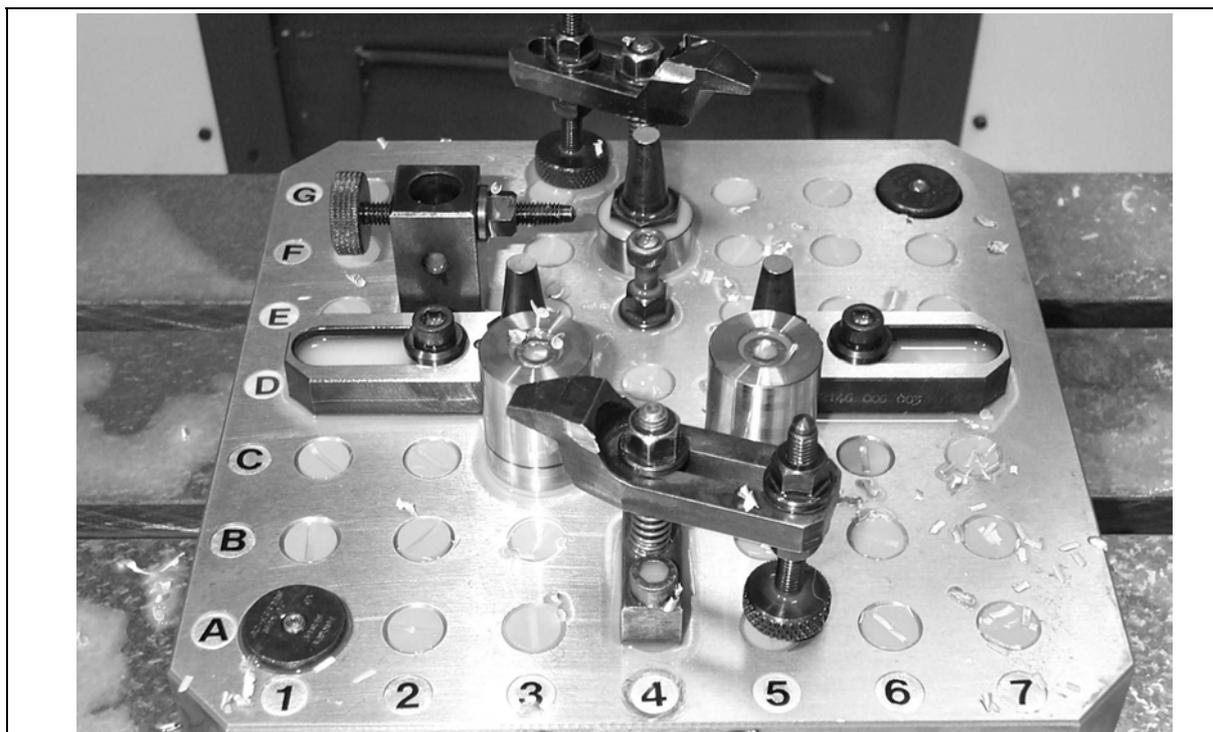


Figure 9 : montage à base d'éléments modulaires

2.9.2. Etude des outils et des portes outils

Le choix consiste à déterminer le type (alésoir à rainures droites ou alésoir à coupe descendante), la nature du matériaux de coupe (ARS revêtu ou carbure monobloc) et les dimensions nominales (diamètre de la fraise deux tailles et nombre de dents) de l'outil. Cet outil est ensuite monté sur un porte outil soit directement soit avec des éléments intermédiaires qu'il faut choisir. Il reste encore parfois un ou plusieurs degrés de liberté comme la longueur du porte à faux de sortie d'une barre à aléser.

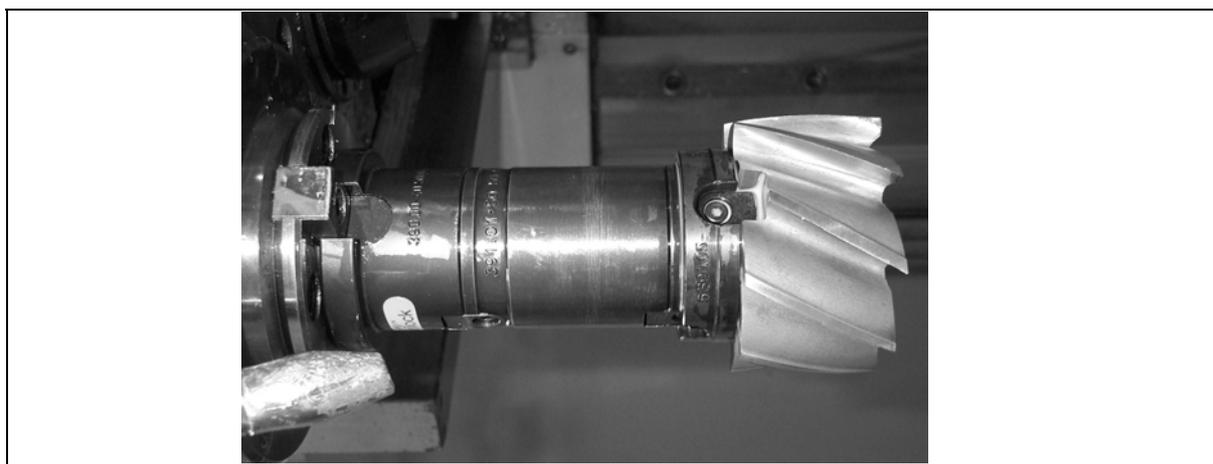


Figure 10 : fraise et son système d'attache

2.9.3. Choix des paramètres de coupe

C'est une étude à part entière car les paramètres de coupe ont une incidence directe non seulement sur le bon déroulement de l'usinage (nature des copeaux, obtention de l'état de surface demandé, respect des performance de la machines) mais aussi sur le coût des opérations.

Il faut déterminer la vitesse de coupe (exprimée en m/min), l'avance par dent ou par tour (exprimée en mm), la ou les profondeurs de passe (exprimée en mm) et la présence ou non de lubrification. Ces valeurs sont optimisées car elles peuvent réellement être programmées et exécutées sur la machine.

2.9.4. Détermination des trajectoires

Cette étape consiste à définir les points caractéristiques des trajectoires d'approche, d'usinage, de dégagement et inter-opérations : point d'approche, point de dégagement, point de changement d'outil, etc... Ces trajectoires dépendent de la géométrie des outils (angle de plongée admissible), des éléments du porte pièce (ne pas avoir de collision) et de la qualité d'usinage recherchée (position des bavures éventuelles). Lorsque la profondeur de passe prévue initialement ne peut pas être respectée, un ajustement des paramètres de coupe peut s'avérer nécessaire.

2.10. Du contrat de phase au programme CN : le choix de l'ordonnancement et de l'origine de programmation

La programmation d'une opération d'usinage réside essentiellement à traduire un contrat de phase en une suite ordonnée de séquences élémentaires. Si le contrat de phase est suffisamment détaillé, la principale difficulté consiste à trouver le bon ordonnancement des séquences en fonction des particularités de la machine outil à commande numérique.

Le choix de l'origine programme est uniquement conditionné par la facilité de programmer de manière directe les cotes de fabrication du contrat de phase. Il faut choisir une origine programme qui évite le calcul des coordonnées de points. Pour cette raison on peut tout à fait envisager de définir plusieurs origines programme dès l'instant que cela facilite la programmation des points. Sur une pièce composée d'entités distinctes (par exemple en fraisage), une origine programme peut être associée au point de symétrie de chacune de ces entités.

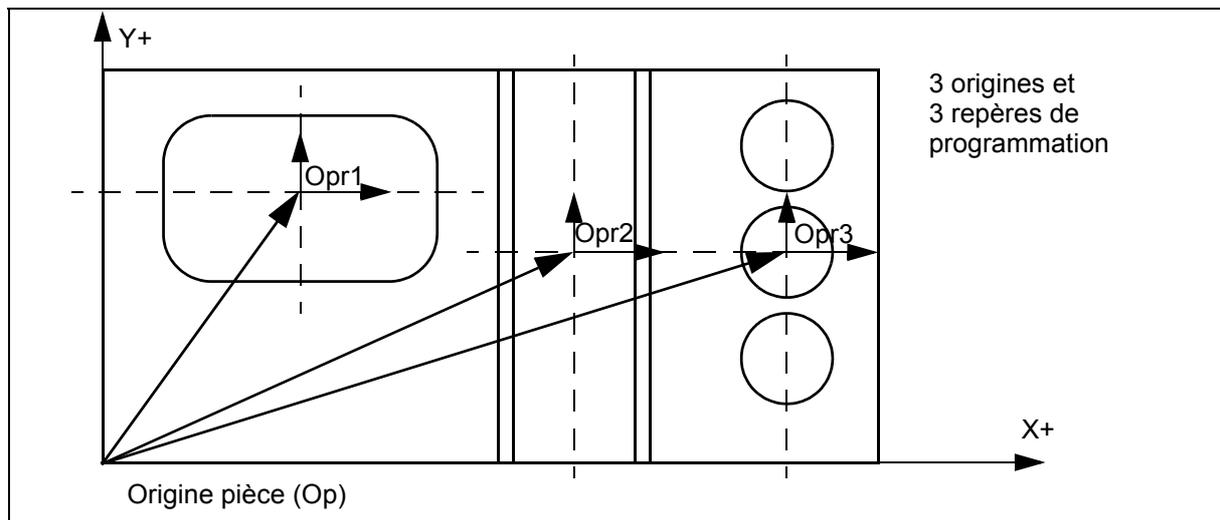


Figure 11 : une origine programme par entité

Opr1 pour la poche rectangulaire ; Opr2 pour la rainure débouchante épaulée ; Opr3 pour le groupe des 3 perçages.

2.11. L'utilisation rationnelle des MOCN

L'augmentation du temps consacré à la production de pièces bonnes passe par une réduction du temps de changement de série. Pour cela, il faut réaliser en temps masqué, en dehors de la machine, le plus d'opérations possible nécessaires à ce changement de série : mesure des outils sur un banc de

préréglage, mesure des caractéristiques dimensionnelles du porte pièce sur une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT), mise au point du programme CN sur des simulateurs de trajectoires.

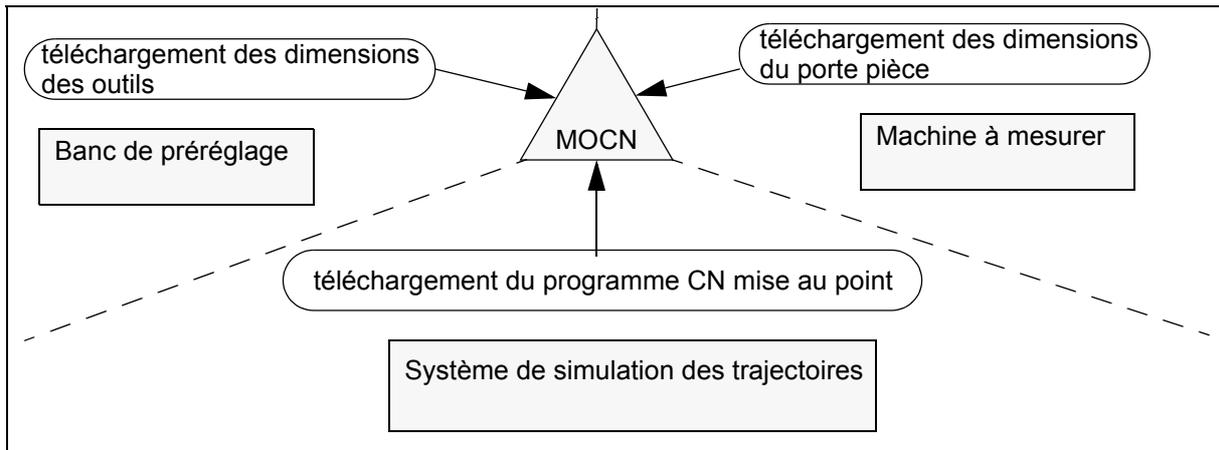


Figure 12 : préparation de l'usinage en dehors de la machine

La mesure d'éléments (outils assemblés ou porte pièce) à l'extérieur de la machine n'est évidemment possible que si la dispersion de mise en position de ces éléments sur la machine est négligeable vis à vis de la précision désirée. Dans le cas contraire une mesure plus précise directement sur la machine est nécessaire. On retrouvera cette hypothèse lorsque nous aborderons la modélisation géométrique des MOCN.

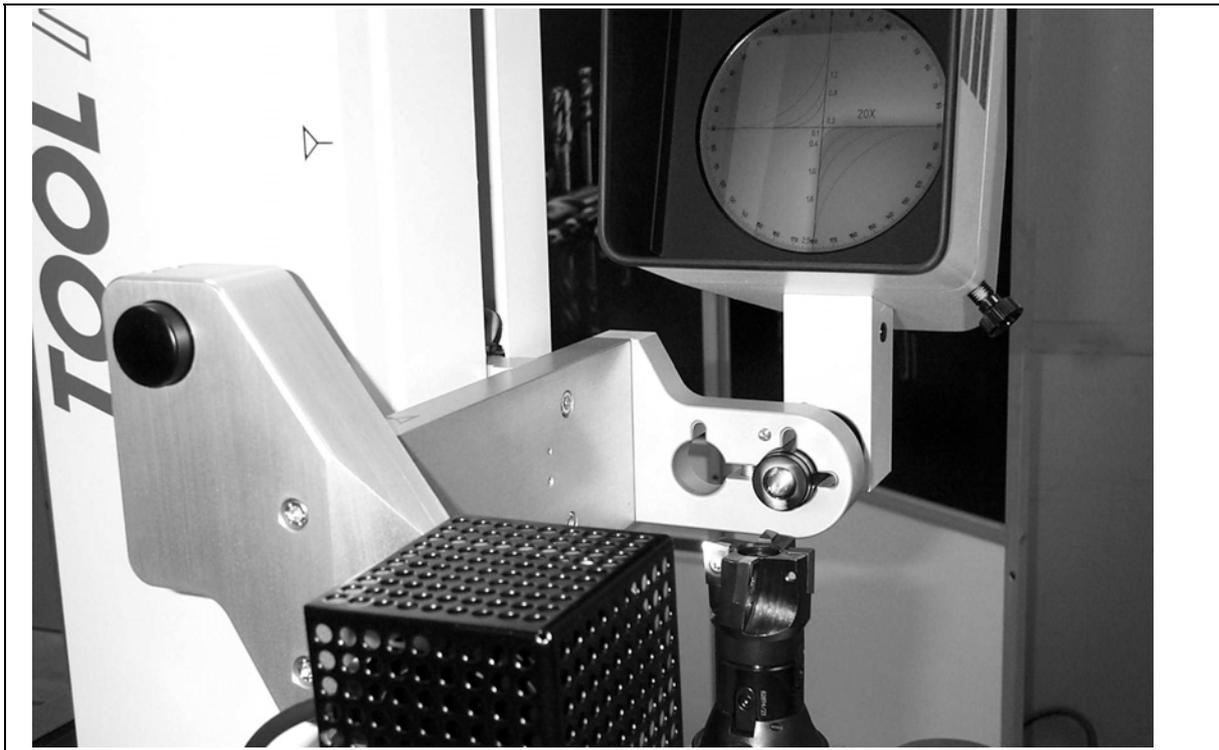


Figure 13 : photo d'un banc de pré réglage d'outil

3. Programmation en tournage

3.1. Programmation au diamètre

Sur toute les machines de l'atelier, on programme les dimensions dans la direction X au diamètre. Cela signifie que pour aller au point de coordonnées (X25,Z30) il faut programmer les coordonnées (X50,Z30). En effet sur les plans des pièces de révolution et sur les contrats de phase, les cotes perpendiculaires à l'axe sont toujours indiquées au diamètre.

3.2. Programmation d'une opération de dressage

La figure ci-dessous montre une opération de dressage dans les deux configurations possibles de tours

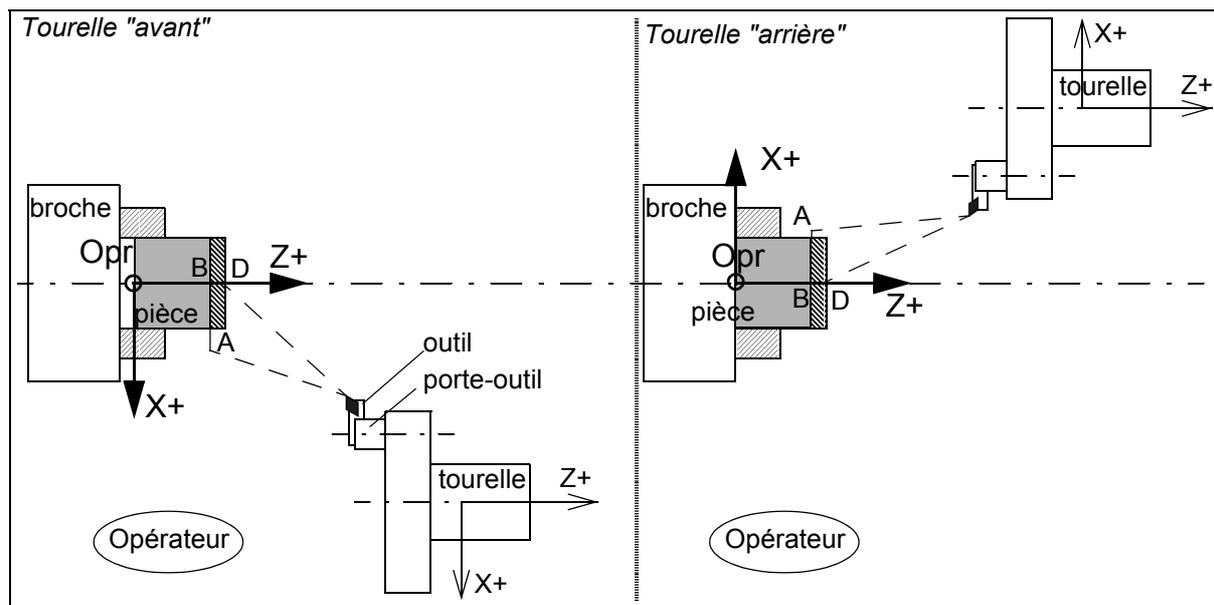


Figure 14 : opération élémentaire de dressage

3.2.1. Eléments du contrat de phase

Il s'agit de réaliser une opération de dressage afin de mettre à longueur une pièce cylindrique. Le matériaux de la pièce et le traitement thermique qu'elle a éventuellement subi sont connus. Les dimensions du brut sont connues. L'outil choisi est caractérisé essentiellement par sa géométrie et la nature du matériaux de coupe. Le couple outil-matière et les caractéristiques de la machine ont permis de déterminer les paramètres de coupe : vitesse de coupe généralement exprimée en m/mn, vitesse d'avance en mm/tr et profondeur de passe.

A partir de ces données, le programmeur choisi l'origine programme et l'emplacement des outils dans la tourelle ou le magasin.

3.2.2. Programme CN

%

[blocs d'initialisation (voir § suivant)]

(DRESSAGE)

les commentaires doivent être entre parenthèses et écrits en MAJUSCULES

(APPELER OUTIL)

Nn₁ Tt Dd M6

M6 : instruction machine qui demande l'évolution de la tourelle porte-outil ou du magasin d'outil,
Dd : prise en compte du correcteur d'outil "d" associé à l'outil qui contient ses dimensions,
Tt : numéro "t" de l'outil ou de son emplacement dans le magasin.

(ALLER POINT APPROCHE)

Nn₂ G0 Xx_A Zz_A

Xx_A, Zz_A : coordonnées dans le repère de programmation du point A,
G0 : fonction préparatoire demandant un déplacement en rapide.

(METTRE EN ROUTE LA BROCHE)

Nn₃ G97 M3 M41 Ss

G97 : fonction préparatoire pour une fréquence de rotation constante exprimée en tr/mn,
M3 (ou M4) : sens de rotation trigonométrique en tournage utilisé en perçage (ou sens contraire),
M40 (ou M41, ou M42, etc...) : sélection de la gamme des vitesses de broche correspondant au rapport de la boîte de vitesses lorsqu'elle existe ; même en l'absence de boîte de vitesses certaines machines exigent la présence d'une instruction M40 ou M41,
Ss : intensité "s" de la fréquence de rotation (exemple : S1000 pour une fréquence de N=1000 tr/mn).

(LUBRIFIER)

Nn₄ M8

M8 : fonction machine de mise en marche de la lubrification.

(LIMITER LA FREQUENCE DE ROTATION BROCHE)

Nn₅ G92 Ss₁

G92 : fonction préparatoire de limitation de la fréquence de rotation de la broche,
Ss₁ : fréquence "s₁" de rotation maximale imposée à la machine.

(PROGRAMMER VITESSE DE COUPE CONSTANTE)

Nn₆ G96 Sv_C Xx_A

G96 : fonction préparatoire de vitesse de coupe constante exprimée en m/mn,
Sv_C : "v_C" indique la valeur de la vitesse de coupe (exemple : S230 signifie Vc=230 m/mn),
Xx_A : rappel du diamètre du point d'approche qui doit être le même que celui que l'on a programmé dans le déplacement précédent.

(DRESSER)

Nn₇ G1 Xx_B G95 Ff

G1 : fonction préparatoire de déplacement en avance travail et en interpolation linéaire,
Xx_B : point d'arrivé du bloc ou fin de dressage ; x_B=0 si le dressage est effectué jusqu'au centre,
G95 : la vitesse d'avance "f" est exprimée en mm/tr,
Ff : valeur de la vitesse d'avance (exemple : F0.3 pour f=0,3 mm/tr) ; F comme "feed" en anglais.

(DEGAGER EN Z)

Nn₈ G1 Zz_D

Dégagement suivant Z jusqu'au point de coordonnée z_D.

(REPRENDRE UNE SEQUENCE)

Nn₉ G77 N10 N20

G77 : fonction préparatoire de reprise des tous les blocs compris entre N qui suit et le N suivant ; N10 et N20 inclus.

3.3. Blocs d'initialisation

Il est conseillé de commencer tous les programmes par les blocs de commentaires contenus dans l'entrée de glossaire **760T-Commencer un programme**.

%

(FICHER : nom du fichier)

(AUTEUR : nom de l'auteur)

(DATE : date de création)

(PIECE : nom de la pièce porté sur le dessin de définition)

(PHASE : numéro et nom de la phase programmée)

() permet de sauter une ligne pour aérer le programme et ainsi le rendre plus lisible.

Puis de continuer par un bloc d'initialisation, plus ou moins spécifique de la machine, et qui sera rappelé à la fin de chaque opération : **760T-Initialiser**.

(INITIALISER)

N10 M5 M9 G95

M5 : fonction machine d'arrêt de la broche,
M9 : fonction machine d'arrêt de la lubrification,
G95 : fonction machine de programmation de la vitesse d'avance en mm/tr.

Enfin, on programme le déplacement qui permet d'aller au point de changement d'outil avec l'entrée de glossaire **760T-Aller au point de changement d'outil**.

(ALLER POINT CHANGEMENT OUTIL)

N20 G0 G52 Xx Zz

G52 : fonction préparatoire de programmation des coordonnées du point de changement d'outil dans le repère "mesure" de la machine dont l'origine est définie par le zéro des capteurs. Cette fonction n'est pas mémorisée ; cela signifie que les coordonnées du bloc suivant sont exprimées dans le repère de programmation en cours.

On verra dans le chapitre 6 qu'il y a deux repères dans lesquels on peut définir les coordonnées de points : le repère de programmation associé à la pièce et le repère "mesure" associé à la machine.

3.4. Interpolation circulaire

En plus de l'interpolation linéaire suivant 2 axes, le DCN est capable de piloter un mouvement circulaire à la vitesse d'avance programmée. On parle de déplacement en interpolation circulaire. Il se programme à l'aide de la fonction préparatoire G2 ou G3 suivie des coordonnées du point d'arrivée et de la valeur du rayon de l'arc de cercle. Comme cette définition de l'arc de cercle n'est pas univoque (un petit arc et un grand arc) la CN prend par défaut celui dont le secteur angulaire est inférieur à 180°. Dans ce cas la programmation d'un grand arc de cercle nécessitera la programmation d'un point de passage intermédiaire. Cependant certaines CN permettent de définir l'arc de cercle sans ambiguïté en programmant les coordonnées du centre du cercle à l'aide des adresses I et K.

Nn G2 Xx Zz Rr

G2 : sens anti-trigonométrique,
Xx Zz : coordonnées du point d'arrivée,
Rr : rayon de l'arc de cercle.

ou

Nn G2 Xx Zz Ii Kk

(i,k) : coordonnées du centre du cercle.

ou

Nn G3 Xx Zz Rr

G3 : sens trigonométrique

ou

Nn G3 Xx Zz Ii Kk

(i,k) : coordonnées du centre du cercle.

Voici la programmation lorsque le rayon du cercle est connu.

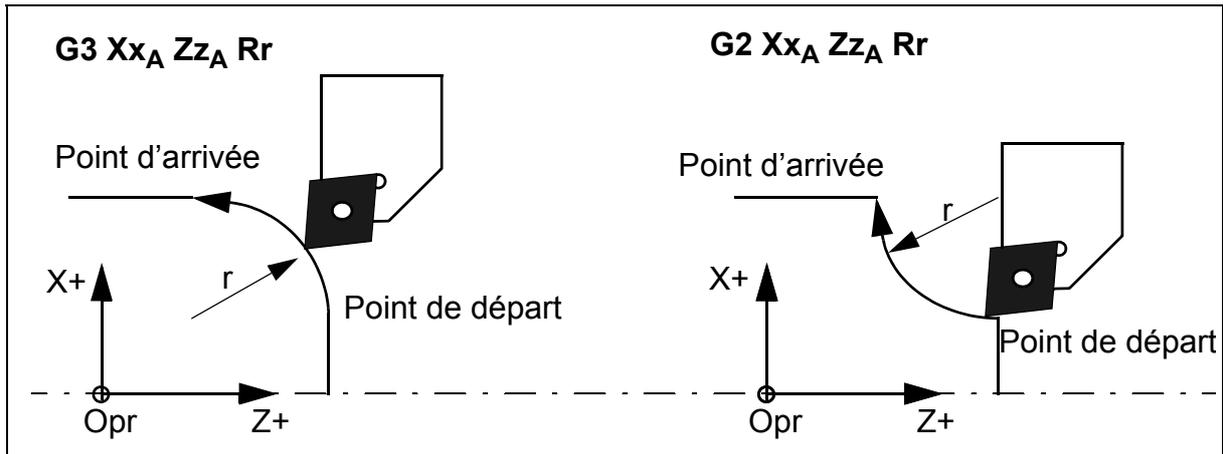


Figure 15 : interpolation circulaire sur un tour avec une tourelle arrière

3.5. Cycles automatique d'ébauche de profils monotones (uniquement croissants ou décroissants)

Dès 1985, les premiers cycles d'ébauche automatique étaient disponibles sur certains directeurs de commande numérique. A partir d'un nombre de blocs restreint décrivant sans ambiguïté la zone de matière à enlever, le cycle se charge du découpage et de la génération des passes d'usinage. Ce sont des cycles d'ébauche relativement simples mais bien adaptés au tournage. Les passes sont généralement parallèles aux axes de la machine. Une surépaisseur de matière est laissée pour la passe de finition. Par contre, la définition des paramètres est parfois délicate à maîtriser.

Le cycle d'ébauche paraxiale est le plus utilisé. Il est appelé par l'entrée de glossaire **760T-Ebaucher cycle paraxial**. Cela signifie que les passes sont prises parallèlement aux axes. Le découpage des passes est automatique. Une finition est nécessaire dans la plupart des cas.

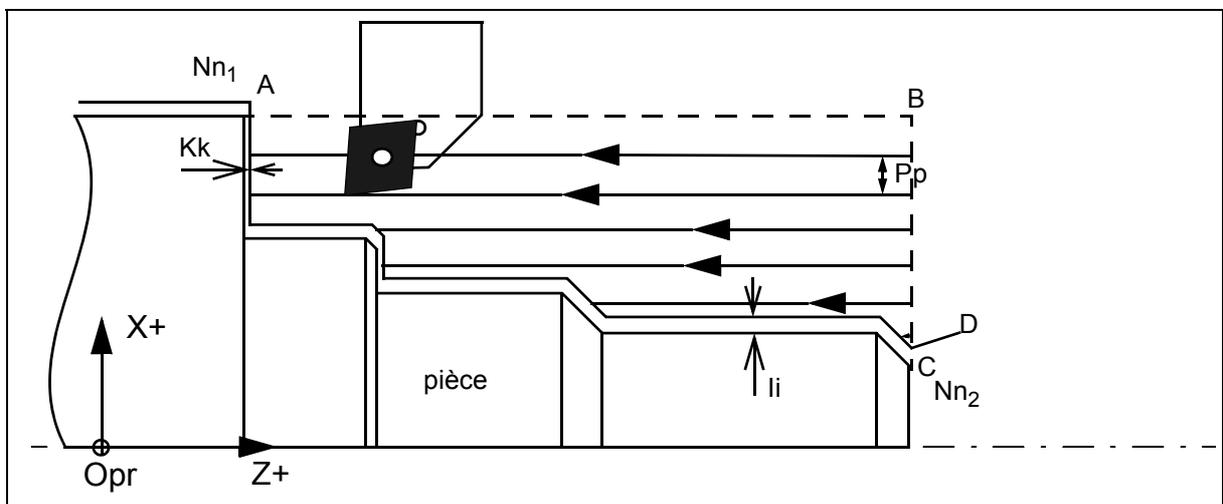


Figure 16 : cycle d'ébauche paraxial de profil monotone

Programmation par appel de la fonction préparatoire G64.

Nn G64 Nn₁ Nn₂ li Kk Pp Ff

G64 : fonction préparatoire du cycle d'ébauche paraxiale ; elle doit être annulée par la fonction préparatoire G80,
 Nn₁ : numéro du dernier bloc du profil fini,
 Nn₂ : numéro du premier bloc du profil fini,
 li : surépaisseur de finition suivant l'axe X,
 Kk : surépaisseur de finition suivant l'axe Z,
 Pp : profondeur de passe radiale (suivant la direction X),
 Ff : vitesse d'avance pour l'ébauche en mm/tr.

Nn Xx_A Zz_A

Xx_A, Zz_A : premier point du profil brut.

Nn Xx_B Zz_B

Nn Xx_C Zz_C

Xx_C, Zz_C : dernier point du profil brut.

Nn G80 Xx_D Zz_D

G80 : fonction préparatoire de fin de cycle ; c'est elle qui indique que la définition du profil brut est finie,
 Xx_D, Zz_D : coordonnées du point de dégagement (facultatif).

Le profil de la pièce brute est uniquement composé de segments de droite. Il est défini par un minimum de 3 points. Pour la surépaisseur de finition, tout se passe comme si le profil de finition était translaté du vecteur surépaisseur de composantes (i,k).

Lorsque la profondeur de passe est suivant X, elle est programmée avec la lettre P. Lorsque la profondeur de passe est suivant Z, elle est programmée avec la lettre R.

On a les correspondances suivantes :

X Y Z
 A B C
 I J K
 P Q R
 U V W

Voici d'autres configurations possibles d'utilisation du cycle d'ébauche.

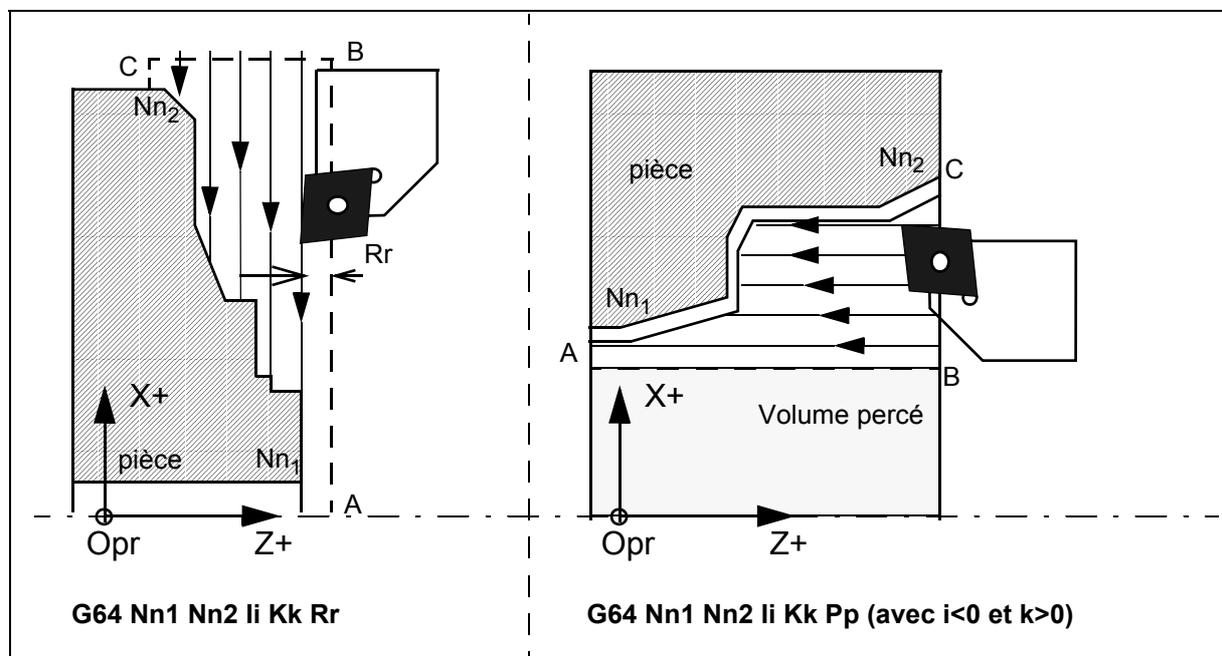


Figure 17 : ébauche radiale et ébauche intérieure

Le cycle G64 n'ébauche que des profils monotones. On pourrait croire à une limitation de l'algorithme de calcul. En réalité, très souvent cette limitation est due à la géométrie de l'outil utilisé pour l'ébauche. Il doit avoir un angle de pointe suffisamment important pour avoir une bonne résistance ; en général cet angle de pointe est de 80° (le premier caractère de la désignation des plaquettes est un C

comme CNMG. Ce qui entraîne un angle K_r' faible incompatible avec une opération de plongée. En conséquence si le profil n'est pas monotone, le cycle laisse une poche qu'il faut usiner par ailleurs avec un autre cycle. Il est dans ce cas nécessaire d'utiliser des outils capables de plonger et ayant un angle de pointe inférieur à 80° . Il existe 2 géométries de plaquette répondant à ces critères : celle commençant par un D avec un angle de 55° et celle commençant par un V avec un angle de 35° .

3.6. Cycles automatique d'ébauche de poche

La matière laissée par les cycles précédents peut être enlevée automatiquement par le cycle d'ébauche de poche appelé par la fonction préparatoire G65.

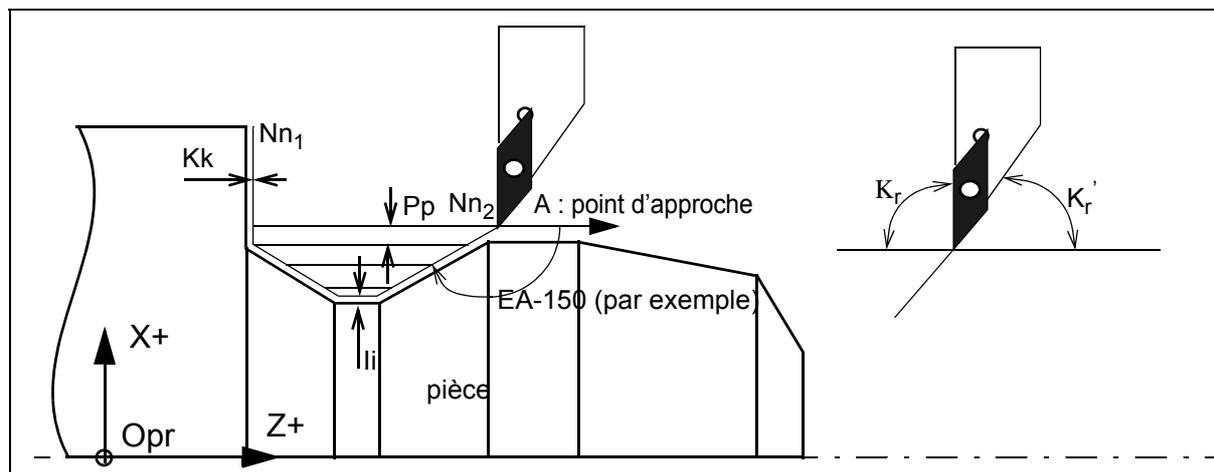


Figure 18 : cycle d'ébauche paraxial de poche

Dans ce cas, à partir du point d'approche A, l'outil plonge suivant la droite inclinée de l'élément d'angle (EA) jusqu'à la profondeur de passe "p" puis usine une passe longitudinale jusqu'au profil décalé de la surépaisseur de finition, suit le profil décalé et revient au point de début de passe. On recommence ce cycle élémentaire autant de fois que nécessaire.

Programmation par appel de la fonction préparatoire G65

Nn G0 XxA ZzA pour aller au point d'approche.

Nn G65 Nn1 Nn2 Zzl EAa li Kk Pp Ff G65 : fonction préparatoire du cycle d'ébauche de poche ; elle n'a pas besoin d'être annulée par la fonction G80,
 Nn1 : numéro du dernier bloc du profil fini,
 Nn2 : numéro du premier bloc du profil fini,
 Zzl : limite inférieure en Z en dessous de laquelle le cycle ne se prolonge pas,
 EAa : angle de plongée ou de pénétration
 li : surépaisseur de finition suivant l'axe X,
 Kk : surépaisseur de finition suivant l'axe Z,
 Pp : profondeur de passe radiale (suivant la direction X),
 Ff : vitesse d'avance pour l'ébauche en mm/tr.

Quand la géométrie de la pièce et de la poche en particulier l'impose, il est parfois nécessaire d'enchaîner deux cycles de poche avec deux outils différents.

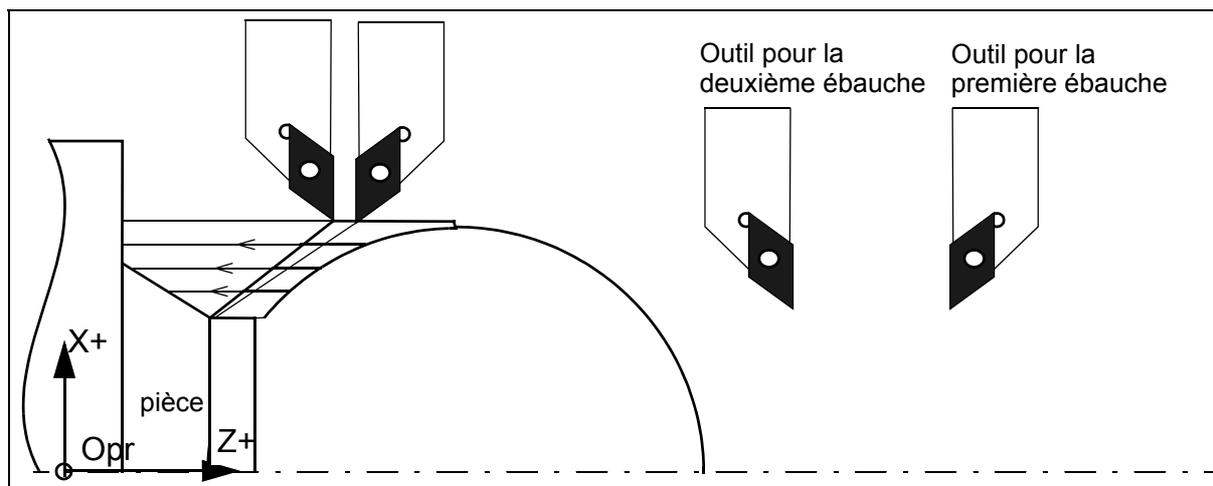


Figure 19 : enchaînement de deux cycles de poche

3.7. Cycles de filetage

Le filetage est une entité d'usinage que l'on retrouve très souvent sur les pièces de révolution. Un cycle automatique simple permet de réaliser entièrement les filetages plus ou moins courants.

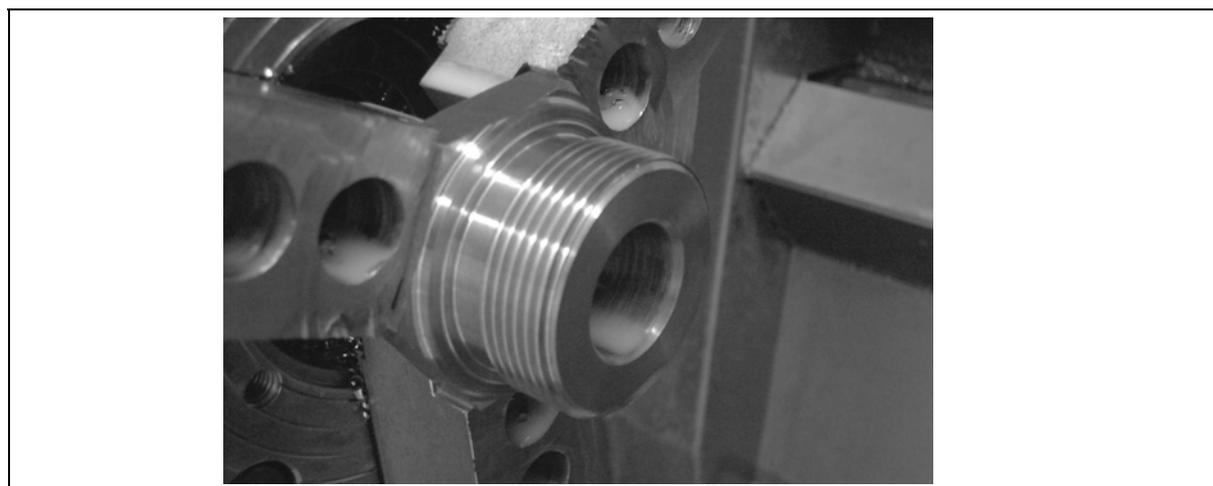


Figure 20 : exemple de filetage

Pour programmer un filetage cylindrique on utilise l'entrée de glossaire **760T-Fileter S passes cylindriques**.

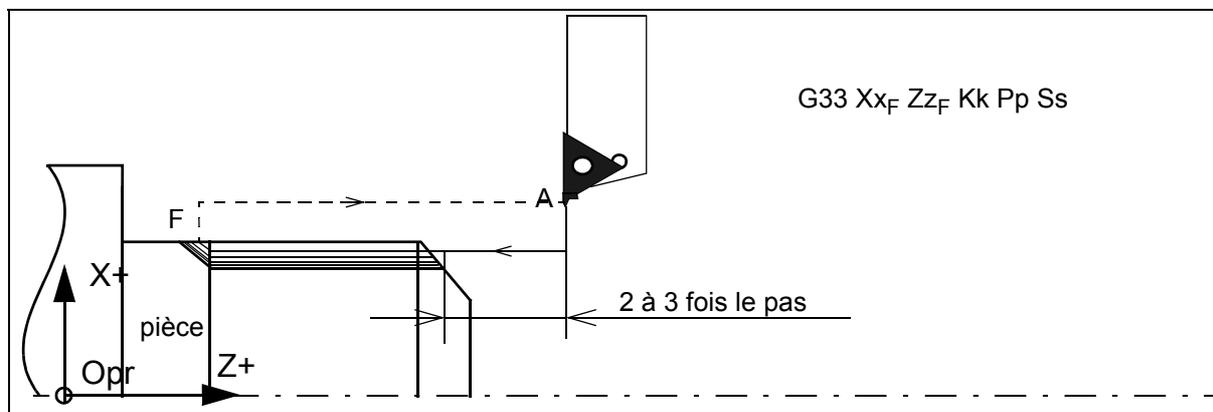


Figure 21 : cycle de filetage

Programmation à l'aide la fonction préparatoire G33

Nn G0 XxA ZzA

Pour aller en rapide au point d'approche A

Nn G33 XxF ZzF Kk Pp Ss

G33 : fonction préparatoire des cycles de filetage ; elle n'a pas besoin d'être annulée par la fonction G80,
XxF ZzF : coordonnées du point final du filetage ; il doit se trouver sur le diamètre extérieur du filetage,
Kk : valeur du pas du filetage,
Pp : valeur de la profondeur de passe,
Ss : nombre de passes

L'entrée de glossaire **760T-Fileter un cycle complet** permet de faire pratiquement tous les filetages et de maîtriser les paramètres de coupe : filetage conique, filetage à plusieurs filets, angle de pénétration, longueur du cône de dégagement en sortie de filetage, profondeur de la dernière passe (souvent à vide), etc...

En filetage la vitesse d'avance linéaire de l'outil est très importante. La valeur théorique calculée à partir des conditions de coupe normales dépasse parfois la vitesse maximale admissible pour la synchronisation avec le top tour de la broche permettant à l'outil de retomber dans le pas à chaque nouvelle prise de passe. Un calcul préalable de vérification est donc nécessaire. Pour un filetage M10 dont le pas est de 1,5 mm usiné avec une vitesse de coupe de 150 m/min, la fréquence de rotation de la broche est de l'ordre de 5000 tr/min ce qui provoque une vitesse d'avance linéaire de 7500 mm/min. Toutes les machines ne sont pas capables de supporter une telle vitesse.

3.8. Correction de rayon d'outil normale au profil (CRONP) en tournage

3.8.1. Cas où il est nécessaire de corriger le rayon d'outil

En comparant l'usinage de deux pièces, l'une composée uniquement de cylindres et d'épaulement, l'autre présentant un cône, on voit sur la figure suivante que le rayon de bec de la plaquette laisse une surépaisseur le long du cône lorsque le point P piloté de l'outil suit le profil à réaliser.

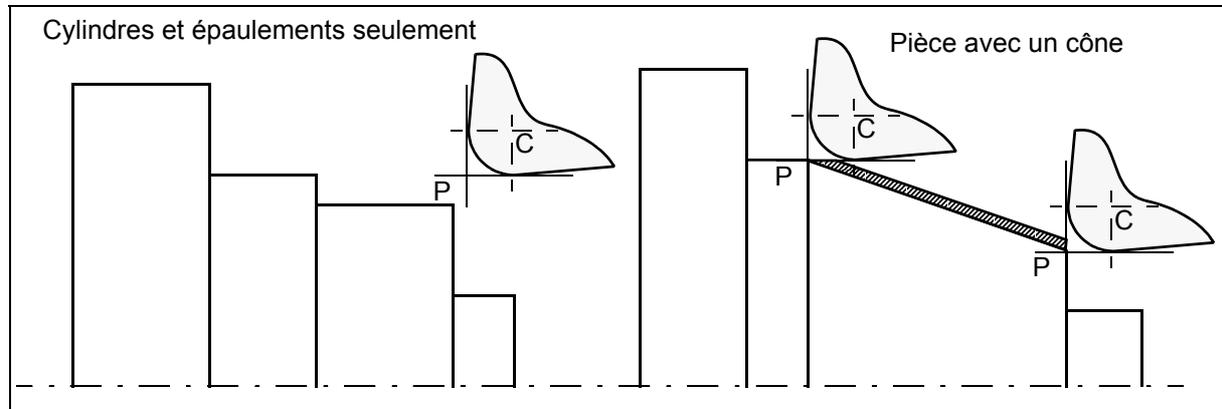


Figure 22 : correction de rayon en tournage

Il est donc nécessaire de corriger la trajectoire programmée dans les cônes et les arcs de cercle pour tenir compte du rayon de bec de la plaquette. Ce calcul est fait automatiquement par la CN pour la plupart des cas courant de profil. Pour cela il faut programmer la fonction préparatoire qui valide la correction de rayon d'outil et s'assurer de la présence d'une valeur de rayon dans le correcteur d'outil utilisé. Nous verrons plus tard que la configuration de l'outil doit être également codée dans le correcteur d'outil.

A contrario, la correction de rayon d'outil est parfaitement inutile dans les opérations de perçage, de tronçonnage, d'usinage de gorge, de dressage, de filetage. Elle est également incompatible avec les cycles d'ébauche paraxiale et de poche.

3.8.2. Programmation : fonctions G40, G41 et G42

La correction de rayon d'outil normale au profil porte bien son nom : il faut avoir un profil composé d'au moins 2 points reliés soit par un segment de droite soit par un arc de cercle, il faut que la normale existe et soit unique, que le profil soit plan (difficile de faire autrement en tournage !), il faut que la CN

connaisse le rayon et la configuration de l'outil et enfin, il faut impérativement programmer les 4 points suivants :

- le point d'approche situé en dehors de la matière que l'on atteint sans prise en compte de la correction de rayon : point A,
- le point de début de profil situé en dehors de la matière dans le prolongement du premier élément géométrique du profil fini à une distance de sécurité suffisante ; c'est en allant à ce point là que l'on valide la correction de rayon d'outil par l'appel d'une des deux fonctions préparatoires G41 ou G42 : point D,
- le point de fin de profil situé en dehors de la matière dans le prolongement du dernier élément géométrique du profil fini : point F,
- le point de dégagement situé en dehors de la matière que l'on atteint en annulant la correction de rayon d'outil : point B.

Avec la fonction G41 la trajectoire d'outil est décalée à **gauche** du profil par rapport au sens de parcours. Avec la fonction G42 la trajectoire d'outil est décalée à **droite** du profil par rapport au sens de parcours. L'annulation est appelée par la fonction G40.

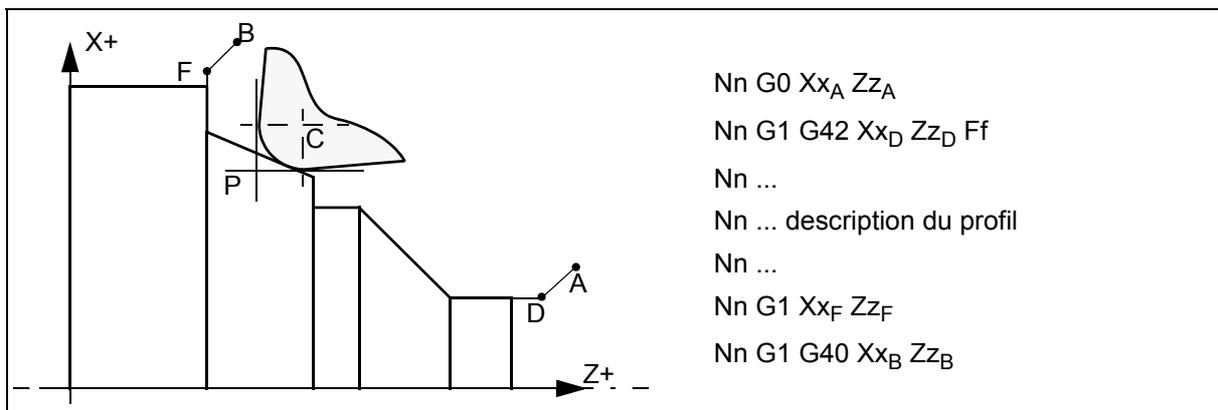


Figure 23 : programmation de la correction de rayon en tournage

4. Programmation en fraisage

4.1. Usinage en opposition ou usinage en avalant

Sur les machines conventionnelles, qui n'ont pas de système de rattrapage du jeu dans la liaison vis - écrou de transmission du mouvement, il est indispensable d'usiner en **opposition** pour éviter les chocs. Ce mode d'usinage conduit à une épaisseur de copeau nulle en début de passe ce qui présente l'inconvénient de ne pas favoriser la coupe.

Sur les machines outils à commande numérique, l'utilisation indispensable de liaison vis à billes avec rattrapage de jeu permet d'usiner en **avalant**. Ce mode d'usinage est nettement préférable car l'épaisseur de copeau est maximale au début pour décroître et devenir nulle à la fin. La coupe s'en trouve nettement améliorée.

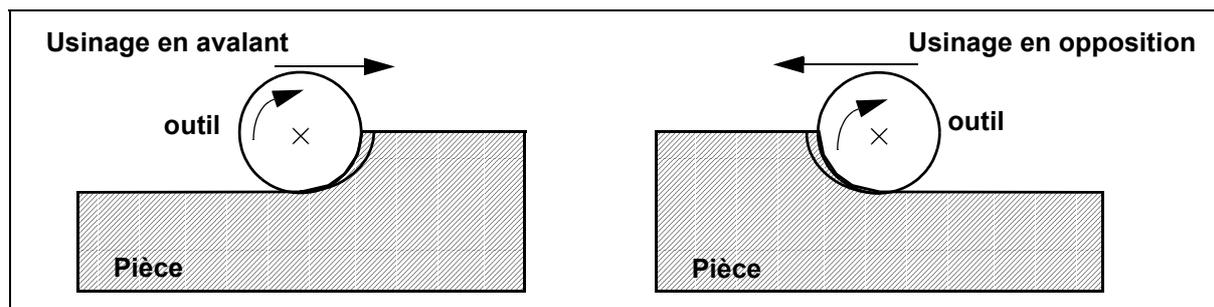


Figure 24 : usinage en opposition et en avalant

4.2. Conditions de coupe

Les paramètres de coupe en fraisage sont :

V_c : vitesse de coupe exprimée en m/min,

f_z : avance par dent en mm,

Pour passer aux paramètres opératoires programmés sur la machine il faut calculer :

N : fréquence de rotation de la broche en tr/min, programmée par l'adresse "S".

V_f : vitesse d'avance de l'outil en mm/min, programmée par l'adresse "F".

Pour cela on utilise les formules classiques :

1) calculer la fréquence de rotation

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D}$$

2) calculer la vitesse d'avance linéaire

$$V_f = f_z \cdot Z \cdot N$$

Figure 25 : formules de calcul des paramètres opératoires

Lorsque les paramètres opératoires théoriques ne peuvent être programmés sur la machine, il convient de choisir les paramètres admissibles les plus proches. Un calcul des paramètres de coupe réellement utilisés est ensuite nécessaire afin de vérifier qu'ils ne sont pas trop éloignés de ceux retenus au départ soit à partir d'abaques soit après un calcul d'optimisation. Ainsi, un tableau de ce type permet de synthétiser le cheminement suivi :

Tableau 1 : exemple où la fréquence calculée diffère de la valeur affichée

N° outil-diamètre (mm)	V_c désirée (m/min)	N calculée (tr/min)	N affichée (tr/min)	V_c réelle (m/min)	Z nombre de dents	f_z désirée (mm)	V_f programmée (mm/mn)
N°1 - 80	60	238	213	52	10	0,147	313
N°2							

4.3. Correction de rayon d'outil normale au profil (CRONP) en fraisage

En fraisage sur les machines trois axes (X,Y,Z), la correction de rayon d'outil normale au profil peut être appliquées dans les trois plans d'interpolation : XY ou YZ ou XZ. Dans le cas général, le plan par défaut est le plan XY perpendiculaire à l'axe de broche donc à l'axe de l'outil. Comme en tournage, l'intérêt de la CRONP est de programmer le profil désiré avec les cotes du dessin de définition. La CRONP, validée par les fonctions préparatoires G41 (à gauche du profil) ou G42 (à droite du profil), calcule automatique la trajectoire décalée du centre de l'outil (projection du point de référence R dans le plan du profil). Pour que la CN puisse faire ce calcul, il faut bien évidemment que le rayon d'outil ait été défini dans le correcteur d'outil. Cela respecte le principe de quasi indépendance entre le programme CN et les dimensions des outils. En pratique la CRONP peut être utilisée en demi finition pour laisser une surépaisseur de finition constante en mettant dans le correcteur d'outil un rayon supérieur à celui de l'outil monté dans la broche. La CN est ainsi "trompée". En pratique toujours la CRONP permet de régler les cotes obtenues après la finition en ajustant la valeur du rayon dans le correcteur d'outil.

Dans les configurations simples la trajectoire décalée est celle du centre d'une roue qui roule le long du profil. Cependant, il existe quelques cas particuliers où les algorithmes de la CRONP installés dans les CN ne fonctionnent pas. Dans ces cas le recours à un système de FAO plus performant est indispensable et ceci même en 2D. C'est à fortiori toujours le cas en 3D où il s'agit là de gérer une correction spatiale des dimensions et de la géométrie de l'outil.

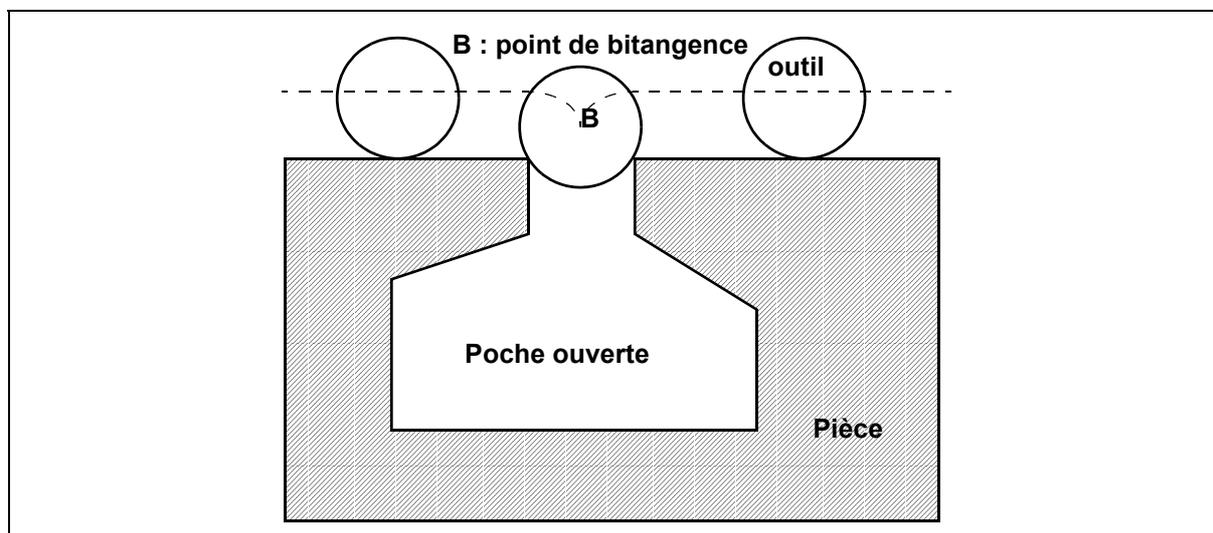


Figure 26 : configuration particulière non gérée par la CRONP des CN

Comme en tournage, la programmation de la CRONP en fraisage nécessite l'existence de 4 points distincts : un point d'approche (point A), un point de début de profil (point D) sur lequel est validée la CRONP par l'une des deux fonctions préparatoires G41 ou G42, un point de fin de profil (point F) et un point de dégagement (point B) sur lequel est annulée la CRONP par la fonction G40.

La ligne du correcteur d'outil en fraisage se présente sous la forme :

Dd Ll Rr (par exemple : D12 L126.437 R8.97)

dans laquelle "d" est le numéro du correcteur d'outil (d comme dimension), "l" est la valeur de la longueur de l'outil et "r" la valeur du rayon de l'outil.

La CRONP est principalement utilisées dans les opérations de contournage. Elle n'a pas lieu d'être dans les opérations d'usinage suivant l'axe Z comme le perçage, le lamage, le taraudage, l'alésage à l'alésoir ou à la barre à aléser. Elle est rarement employée pour les opérations de surfacage pour lesquelles on préfère piloter directement le centre outil (projection du point de référence R dans le plan extrémité de l'outil).

4.4. Les cycles fixes suivant l'axe Z (point à point)

De nombreuses opérations d'usinage en fraisage se font uniquement suivant l'axe Z. Il s'agit des opérations de perçage, lamage, taraudage et alésage. Elles sont programmées à l'aide de cycles fixes

appelés par une fonction préparatoire comprise dans l'intervalle [G81-G89]. Ces cycles doivent impérativement être annulés par la fonction de fin de cycle G80.

4.4.1. Paramètres des cycles

Les paramètres communs à tous ces cycles sont les suivants :

Xx, Yy : coordonnées de l'axe de l'entité perpendiculaire au plan XY,

Zz : altitude du fond de l'entité ou de fin de plongée de l'outil,

ERzr : altitude du plan de retrait de l'outil pour l'approche et le dégagement de l'outil,

Fvf : vitesse d'avance de l'outil dans sa phase principale de travail.

Des paramètres spécifiques sont nécessaires pour certains cycles :

Pp : profondeur de la première pénétration par rapport au plan de retrait,

Qq : profondeur de la dernière pénétration,

EF : valeur de la temporisation en fond de trou ou en fin de plongée.

4.4.2. Exemple de programmation d'un cycle de perçage

Soit le perçage de deux trous :

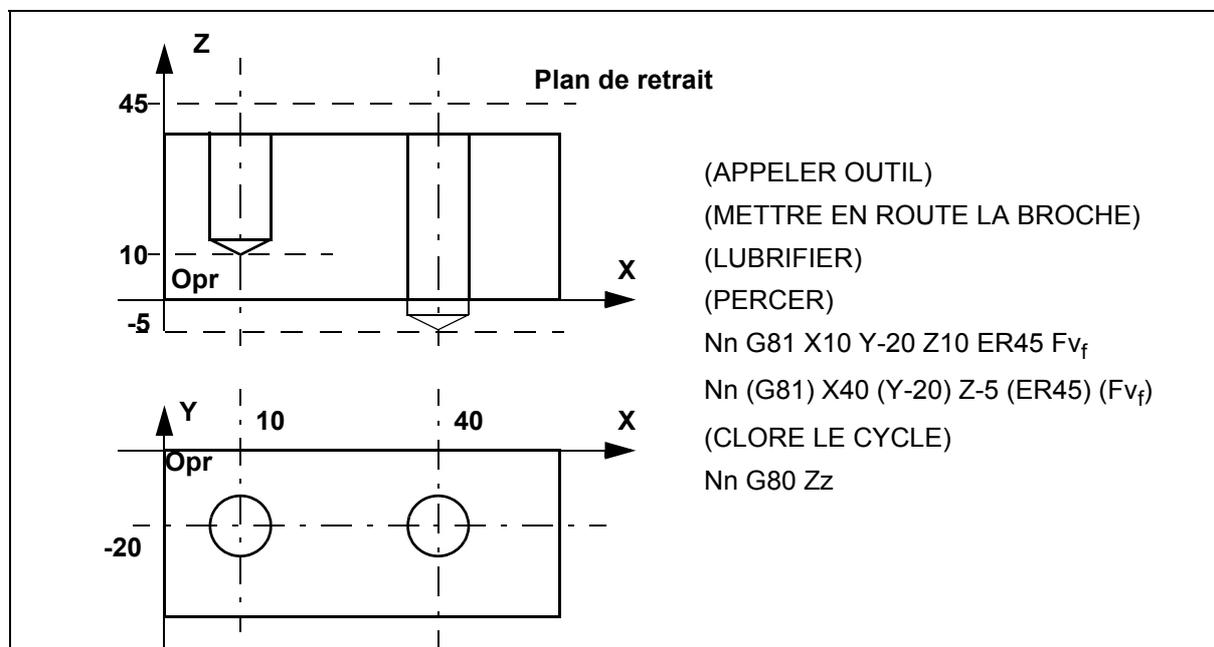


Figure 27 : exemple de cycle de perçage

4.4.3. Risque de collision

Il faut porter une attention particulière à la programmation du plan de retrait lorsque les différentes entités, de perçage par exemple, sont accessibles par des plans d'altitudes différentes.

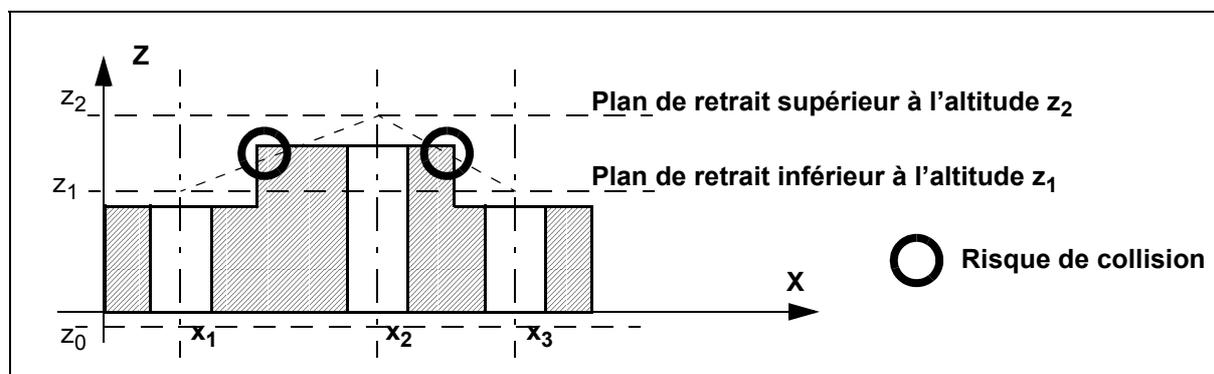


Figure 28 : plan de retrait et risque de collision

Dans ce cas de figure pour éviter les collisions sans pour autant perdre de temps en n'utilisant que le plan de retrait supérieur pour les trois trous, il faut programmer les enchaînements de la manière suivante :

Nn G81 Xx₁ Yy Zz₀ ERz₁ Fv_f

Nn G80 Zz₂

Nn G81 Xx₂ Yy Zz₀ ERz₂ Fv_f

Nn G80 Xx₃ Yy

Nn G81 Zz₀ ERz₁ Ff

Nn G80 Zz₂

Ce qui rallonge le programme mais le rend plus fiable.

4.4.4. Alésage en interpolation circulaire

Lorsque le diamètre de l'alésage est important et que la qualité dimensionnelle de la surface n'est pas trop précise (supérieure ou égale à H8), la réalisation de l'alésage peut être faite avec une fraise deux tailles en interpolation circulaire.

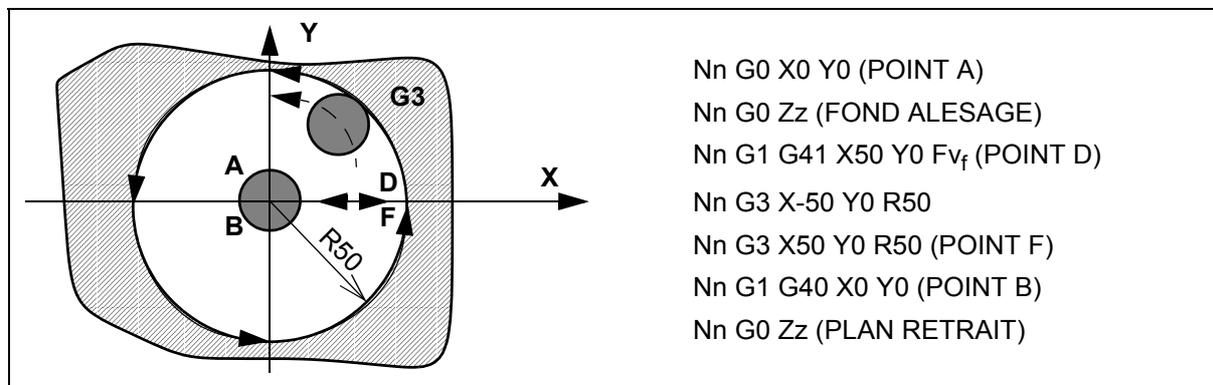


Figure 29 : alésage en interpolation circulaire

Dans un but de simplification, l'accostage dans la matière est ici perpendiculaire à la surface cylindrique à usiner. Une approche tangente circulaire est préférable car elle rend la prise de passe plus progressive et évite le marquage de la pièce au niveau du point D ainsi que les risques de rupture d'outil.

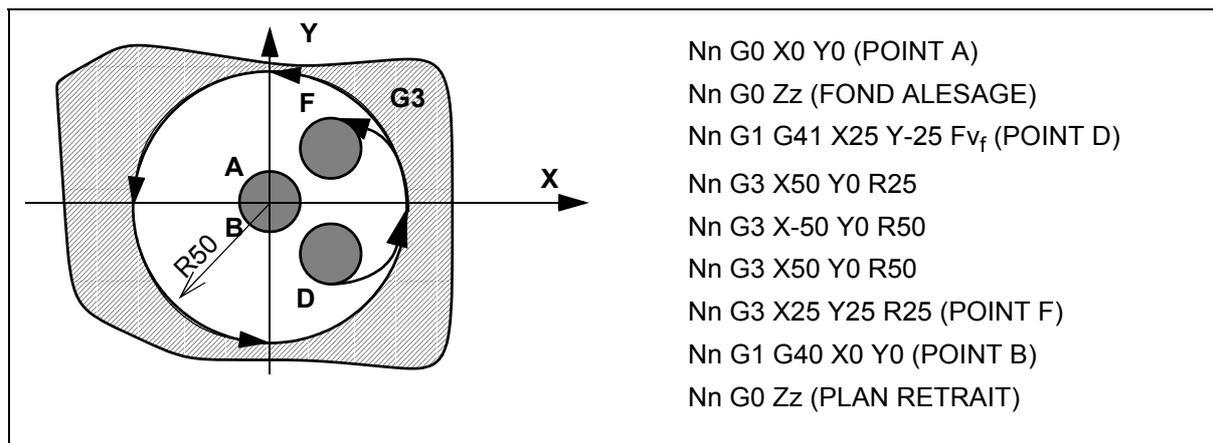


Figure 30 : approche tangente circulaire

5. Compléments de programmation spécifique à NUM

5.1. Programmation paramétrée

Comme dans tout langage informatique, il est possible d'utiliser des variables à la place des valeurs numériques. Sur NUM plus de 120 variables "programme" sont disponibles. Elles sont de deux types. D'une part les variables de L0 à L19 sont à accès rapide ; cela signifie que les lignes de calcul sur ces variables n'ont pas d'influence sur le déplacement des éléments mobiles de la machine. D'autre part, les variables de L100 à L199 permettent des calculs plus lourds mais entraînent une interruption du contrôle des déplacements de la CN. Les programmation de ces variables suit les règles suivantes.

5.1.1. Affectation d'une valeur numérique à une variable

L10=15.5 pour affecter la valeur 15.5 à la variable L10.

5.1.2. Utilisation d'une variable

Toute valeur numérique d'un programme peut être remplacée par une variable. Ainsi le bloc :

N120 G0 X15.5 Z20 peut être remplacé par :

N120 G0 XL10 Z20.

5.1.3. Opérations sur les variables

Les opérations classiques sont programmables sur les variables. Les opérateurs disponibles sont : + (addition), - (soustraction), x (multiplication), / (division), S (sinus), C (cosinus), T (troncature : partie entière d'un nombre), A (arctangente). Il n'y pas d'opérateurs prioritaires. Les parenthèses sont interdites puisqu'elles signalent déjà la présence de commentaires. Avec ces contraintes il est conseillé de faire une opération par ligne ou de respecter le fait que chaque opérateur réunit le terme qui suit le symbole au résultat des opérations précédentes.

Ainsi $L13 = \frac{L11 + L12}{2}$ s'écrit : Nn L13=L11+L12/2

ou avec deux blocs qui font une seule opération chacun :

N100 L13=L11+L12

N110 L13=L13/2

5.1.4. Branchement conditionnel

Le branchement conditionnel du type IF "condition" THEN GOTO "adresse" est programmé avec l'instruction G79 c Nn dans laquelle c est la condition et n le numéro du bloc exécuté si la condition est vraie. Les conditions utilisent les symboles de comparaison : > (supérieur), < (inférieur), = (égal), <> (différent), >= (supérieur ou égal), <= (inférieur ou égal). Voici un exemple :

N100 G79 L13>20 N200

N110

N120

N200

Si la condition est vraie, c'est à dire si L13 est strictement supérieure à 20, alors le programme saute directement au bloc N200, sinon c'est le bloc suivant (ici N110) qui est exécuté.

5.2. Programmation des congés de raccordement et des chanfreins

Nous détaillons ici l'instruction NUM permettant d'insérer facilement des congés de raccordement et des chanfreins dans une description de profil existante. Ces petites entités doivent présenter une symétrie par rapport aux deux éléments adjacents du profil. Elles permettent d'obtenir un bon niveau de finition de la pièce en supprimant les arêtes vives, parfois les bavures, et en évitant des zones d'amorce de rupture. Elles sont programmées avec l'adresse EB suivi d'une valeur numérique. Si cette valeur est positive, il s'agit de la valeur du rayon de raccordement. Si cette valeur est négative, il s'agit de la longueur projetée du chanfrein. L'exemple ci-dessous montre comment on insère ces entités

6. Modélisation géométrique des machines-outils à commande numérique

La modélisation vectorielle d'une machine-outil passe par la construction de la relation vectorielle entre le vecteur liant l'origine mesure et le point piloté, et les grandeurs caractéristiques de la machine. Les points utilisés pour modéliser la géométrie sont soit des positions particulières des mobiles de la chaîne cinématique de la machine, soit des points physiques associés à des interfaces entre solides.

6.1. Définition des points caractéristiques

6.1.1. le point de référence R

R est le point caractéristique de la liaison encastrement supposée parfaite entre le porte-outil et la machine. Il est défini par les surfaces de mise en position. Le point R est un point situé à l'interface entre le porte-outil et la machine. Suivant la machine (centre de fraisage, ou centre de tournage), la forme de la liaison entre le porte-outil et la machine n'est pas la même, le point R peut donc changer d'une machine à l'autre. On peut l'appeler «point de référence».

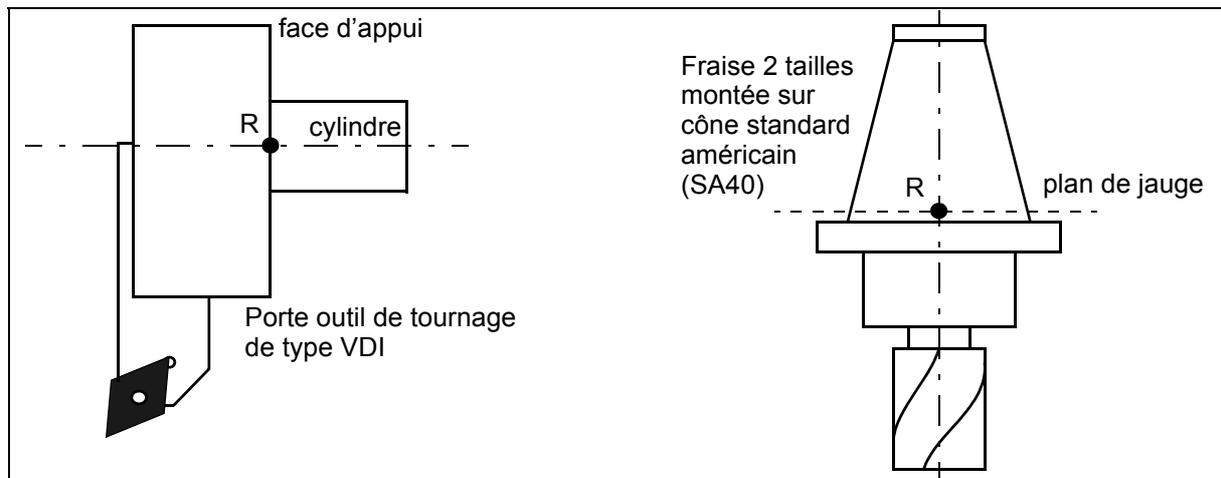


Figure 33 : position du point R

Sur le porte outil de tournage de type VDI, le point R est à l'intersection de l'axe du cylindre et de la face d'appui. En fraisage, sur les cônes au standard américain (SA25, SA30, SA40, SA50), le point R est à l'intersection de l'axe de la surface conique et du plan de jauge. En pratique il est difficile de mesurer la position de ce dernier point R .

6.1.2. l'origine mesure O_m

O_m est le point coïncidant de R à la date de mise en référence ou d'initialisation des éléments mobiles. La procédure d'initialisation des capteurs de mesure de la position des éléments mobiles de la machine a été détaillée au chapitre 2.

6.1.3. le point O_o

O_o est le point caractéristique de la liaison encastrement supposée parfaite entre la machine et le porte-pièce. Il est défini par les surfaces de mise en position. Le point O_o est un point situé à l'interface entre le porte-pièce et la machine. De plus en plus, pour des raisons de standardisation, on alèse des

centreurs sur les tables des machines-outils. On place, alors, le point O_o à l'intersection de l'axe de l'alésage et du plan associé à la table.

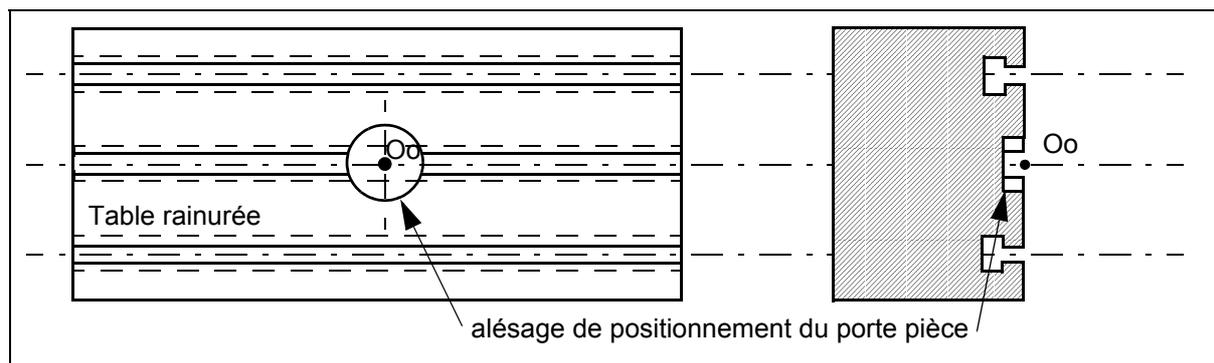


Figure 34 : position du point O_o sur la table d'une fraiseuse

En tournage la position donnée au point O_o dépend de la fréquence de changement de mandrin. Si le mandrin n'est jamais démonté, alors tout se passe comme s'il faisait partie de la machine et le point O_o peut être situé à l'intersection de l'axe de broche et de la face avant du mandrin pour en faciliter l'accessibilité. Par contre si le mandrin est souvent démonté, alors il fait partie du porte pièce et dans ce cas le point O_o est situé à l'intersection de l'axe de broche et du plan de jauge du cône de positionnement du mandrin sur la broche.

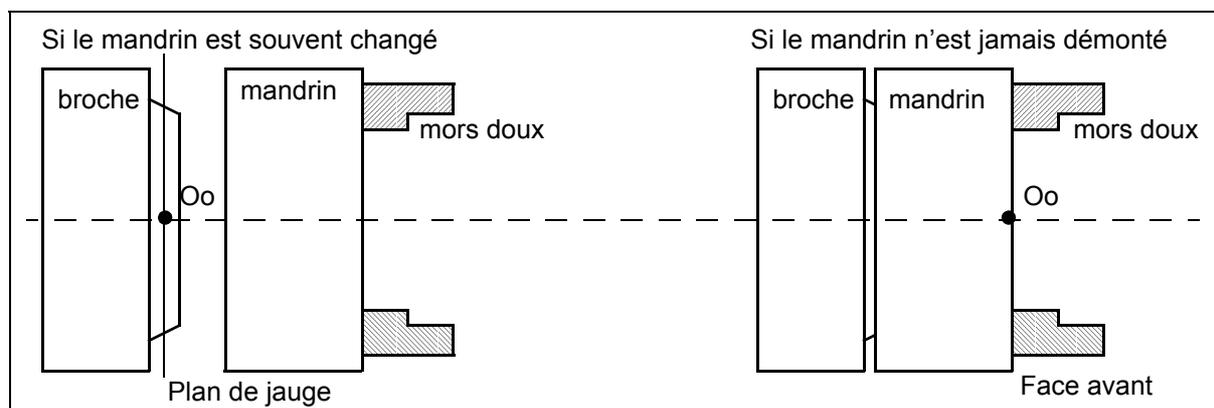


Figure 35 : position du point O_o sur un tour

6.1.4. l'origine pièce O_p

O_p est le point caractéristique de la liaison encastrement supposée parfaite entre le porte-pièce et la pièce. Il est défini par les surfaces de mise en position et appelé «origine pièce». Le point O_p est l'intersection des éléments géométriques (plans, droites) associés aux liaisons qui concourent à la liaison complète entre la pièce et le porte-pièce.

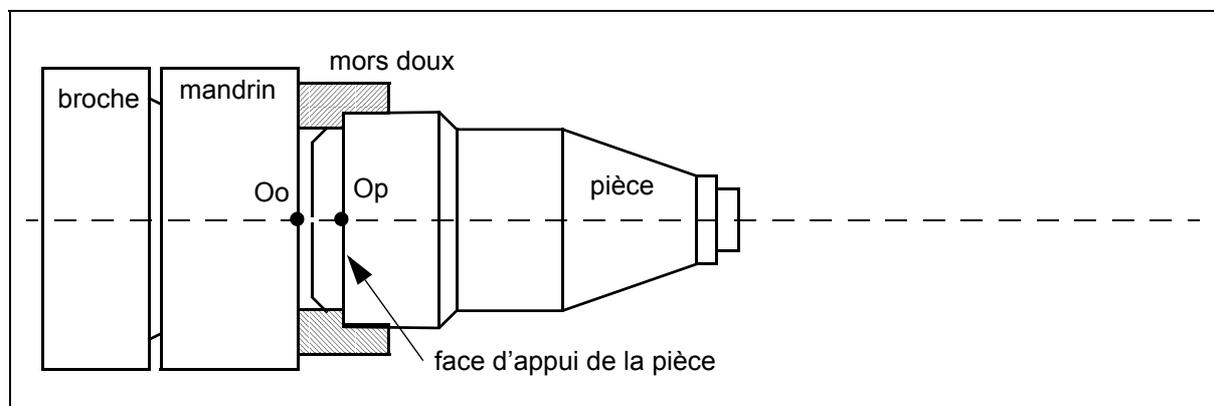


Figure 36 : position de l'origine pièce O_p en tournage sur des mors doux épaulés

6.1.5. l'origine programme Opr

Opr est l'origine du repère de programmation. On rappelle que l'origine de programmation est choisie par le programmeur pour lui faciliter le calcul des coordonnées des points à atteindre. Elle est donc souvent située sur les éléments de symétrie de la pièce ou sur une surface de départ de cotes de fabrication. On peut utiliser plusieurs origines de programmation dans un même programme.

6.1.6. le point piloté P

P est le point caractéristique ou générateur de l'outil. En tournage, c'est la pointe de l'outil.

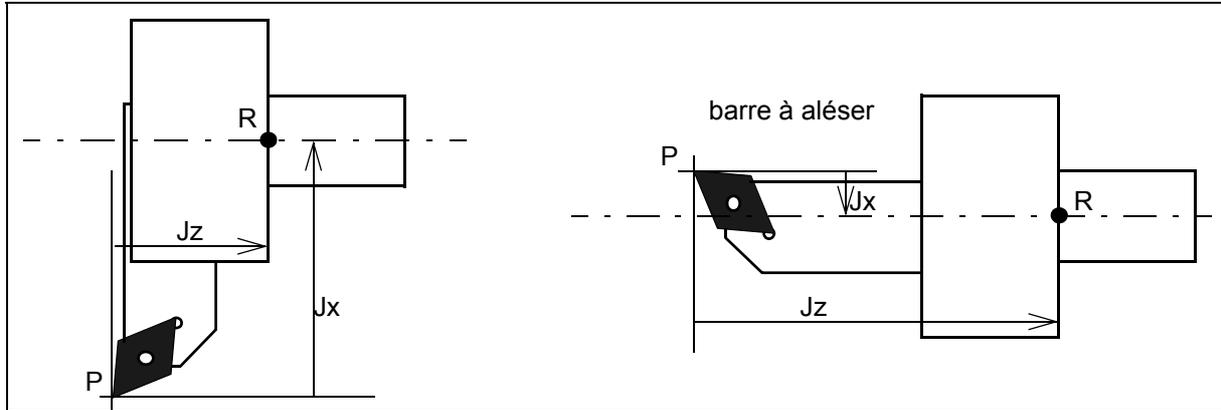


Figure 37 : position du point P en tournage et jauge d'outil

En fraissage ce point P est situé selon les géométries d'outil comme indiqué ci-dessous :

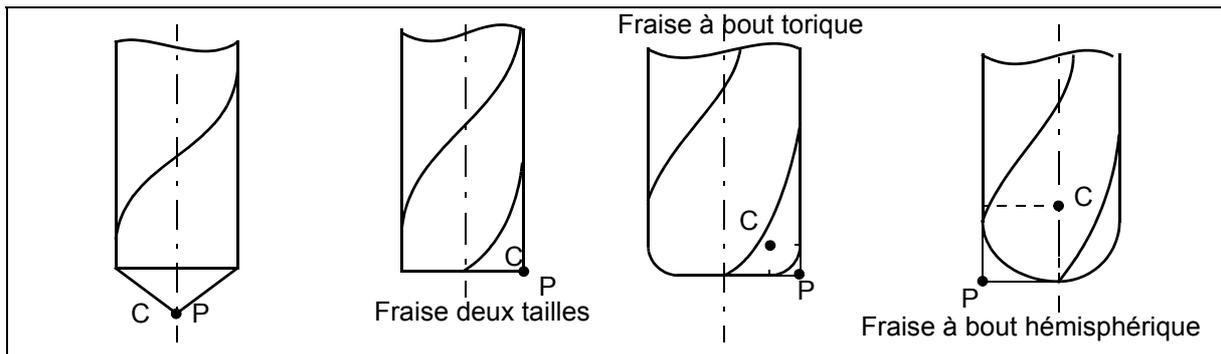


Figure 38 : position du point P en fraissage

6.1.7. le point C

C est le centre du rayon de bec de plaquette en tournage ou du rayon de bout en fraissage.

6.1.8. les points programmés Qi

Qi est le point programmé d'indice i. C'est aussi le point visé, le point à atteindre.

6.2. Définition des vecteurs caractéristiques

A partir de ces couples de points appartenant aux mêmes solides, on définit les vecteurs caractéristiques des éléments de la MOCN (voir tableau 2).

Tableau 2 : définition des vecteurs caractéristiques des MOCN

\overrightarrow{OmOo}	Caractérise la machine.
\overrightarrow{OoOp}	Caractérise le porte-pièce.
\overrightarrow{OpOpr}	Caractérise la pièce.
\overrightarrow{OprQi}	Caractérise la pièce : la position de Qi dans le repère de programmation.

Tableau 2 : définition des vecteurs caractéristiques des MOCN

$\vec{Q_iC}$	Correction de rayon d'outil normale au profil (CRONP).
\vec{CP}	Caractérise la configuration de l'outil en tournage, et le type d'outil en fraisage.
\vec{PR}	Caractérise l'outil ; les composantes sont appelées jauges.
\vec{OmR}	Caractérise le déplacement des éléments mobiles de la MOCN.

6.3. Equation vectorielle

On obtient l'équation vectorielle qui modélise la géométrie de la MOCN en appliquant la relation de Chasles au vecteur \vec{OmR} :

$$\vec{OmR} = \vec{OmOo} + \vec{OoOp} + \vec{OpOpr} + \vec{OprQi} + \vec{QiC} + \vec{CP} + \vec{PR} \quad (1)$$

6.4. Application au tournage

La figure ci-dessous montre l'extrémité de l'outil dans le cas de l'usinage d'un cône :

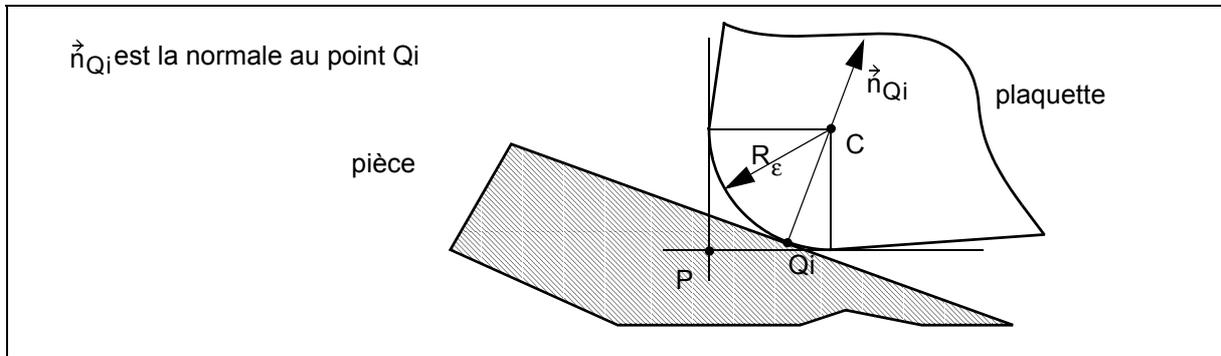


Figure 39 : position de l'outil dans le cas de l'usinage d'un cône

En tournage le vecteur \vec{CP} dépend de la configuration de l'outil codée dans la table des correcteurs d'outils selon la position particulière du point C par rapport au point P. Le code est obtenu en s'aidant de l'une des deux figures ci-dessous.

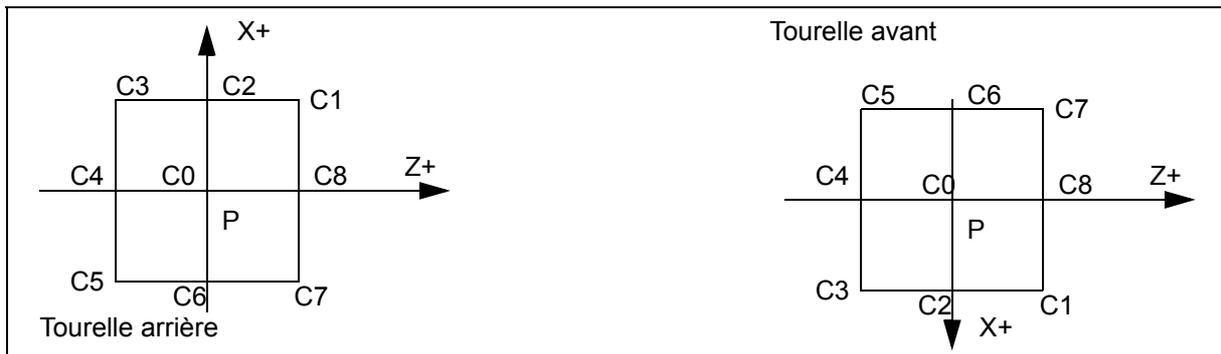


Figure 40 : code de configuration des outils de tournage

On constate que pour les deux positions de la tourelle le vecteur \vec{CP} est identique pour un code de configuration donné. Ainsi pour le code C1 on a $\vec{CP} = -R_\epsilon \cdot \vec{X} - R_\epsilon \cdot \vec{Z}$ et, dans le cas d'un outil à aléser de code C7, on a $\vec{CP} = R_\epsilon \cdot \vec{X} - R_\epsilon \cdot \vec{Z}$. Dans le cas général on a donc $\vec{CP} = c_x \cdot R_\epsilon \cdot \vec{X} + c_z \cdot R_\epsilon \cdot \vec{Z}$ avec c_x et c_z donné par le tableau suivant :

Tableau 3 : valeur de c_x et c_z en fonction du code de configuration de l'outil

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C0
c_x	-1	-1	-1	0	+1	+1	+1	0	0
c_z	-1	0	+1	+1	+1	0	-1	-1	0

Pour mieux représenter ce qui se passe en tournage, l'équation vectorielle devient :

$$\overrightarrow{OmR} = \overrightarrow{OmOo} + \overrightarrow{OoOp} + \overrightarrow{OpOpr} + \overrightarrow{OprQi} + R_\epsilon \cdot \vec{n}_{Qi} + c_x \cdot R_\epsilon \cdot \vec{X} + c_z \cdot R_\epsilon \cdot \vec{Z} + J_x \cdot \vec{X} + J_z \cdot \vec{Z} \quad (2)$$

On rappelle que R_ϵ est le rayon de bec de la plaquette et qu'il prend les valeurs normalisées suivantes données en mm : (0,2) - 0,4 - 0,8 - 1,2 - 1,6 - (2.0) - ...

6.5. Application au réglage

Soit Q_i le point mesuré en lieu et place du point Q_i qui est le point à atteindre, soit \vec{n}_{Qi} la normale en Q_i orientée vers l'extérieur de la matière, alors la correction à apporter est égale à : $\vec{Q}_i' \cdot \vec{n}_{Qi}$.

6.6. Correspondance entre les vecteurs et les directeurs de commande (DCN) NUM

Les directeurs de commande numérique de marque NUM possèdent deux groupes de registres. L'un est appelé PREF et l'autre DEC. Chacun d'eux possède autant de registres qu'il y a d'axes sur la machine. Dans le cas général ces registres sont accessibles en lecture et en écriture depuis le pupitre opérateur et sont donc renseignés par le régleur de la MOCN. Il existe également une possibilité d'y accéder par programmation ; elle ne sera pas détaillée dans ce cours. Par ailleurs nous avons défini plus haut deux vecteurs : l'un caractéristique de la machine \overrightarrow{OmOo} , l'autre caractéristique du porte pièce \overrightarrow{OoOp} . Nous proposons donc de stocker les composantes de ces deux vecteurs dans ces registres mis à disposition des utilisateurs selon le tableau ci-dessous.

Le vecteur \overrightarrow{OpOpr} qui donne la position de l'origine de programmation par rapport à l'origine pièce, sera programmé à l'aide de la fonction préparatoire G59 suivie des composantes de ce vecteur. Nous avons vu qu'il était parfois souhaitable d'utiliser plusieurs origines programme dans un même programme. Cette fonction autorise justement la programmation de plusieurs décalages programmés.

Le vecteur \overrightarrow{OmR} caractérise le déplacement des éléments mobiles de la machine en donnant la position du point de référence R par rapport à l'origine mesure Om . Ses composantes sont visualisables dans la fenêtre du "point courant par rapport à l'origine mesure" (PT COUR/OM). En résumé nous proposons le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : correspondance entre les vecteurs et les registres du NUM

NUM	X	Y	Z	élément
PREF	$\overrightarrow{OmOo} \cdot \vec{X}$	$\overrightarrow{OmOo} \cdot \vec{Y}$	$\overrightarrow{OmOo} \cdot \vec{Z}$	machine
DEC	$\overrightarrow{OoOp} \cdot \vec{X}$	$\overrightarrow{OoOp} \cdot \vec{Y}$	$\overrightarrow{OoOp} \cdot \vec{Z}$	porte pièce
G59	$\overrightarrow{OpOpr} \cdot \vec{X}$	$\overrightarrow{OpOpr} \cdot \vec{Y}$	$\overrightarrow{OpOpr} \cdot \vec{Z}$	pièce
PT COUR/OM	$\overrightarrow{OmR} \cdot \vec{X}$	$\overrightarrow{OmR} \cdot \vec{Y}$	$\overrightarrow{OmR} \cdot \vec{Z}$	déplacement

ATTENTION à la signification de PT COUR/OP sur l'écran du DCN !

7. Programmation CN et systèmes de FAO : analyse et conclusion

Dans le début des années 80, les premiers systèmes d'assistance à la programmation des MOCN faisaient leur apparition. Malgré l'aide importante qu'ils apportaient, cette programmation assistée s'appuyait malheureusement sur l'apprentissage d'un autre langage, même s'il était de plus haut niveau (High Level Programming) que celui des DCN. L'apport majeur de ces systèmes reposait sur l'environnement de programmation associé disponible sur un PC, le calcul automatique de certaines trajectoires d'outil, leur simulation graphique et leur traduction dans le langage du DCN par un post-processeur. Cela a conduit quelques années plus tard à l'apparition de quelques applications dédiées de programmation automatique.

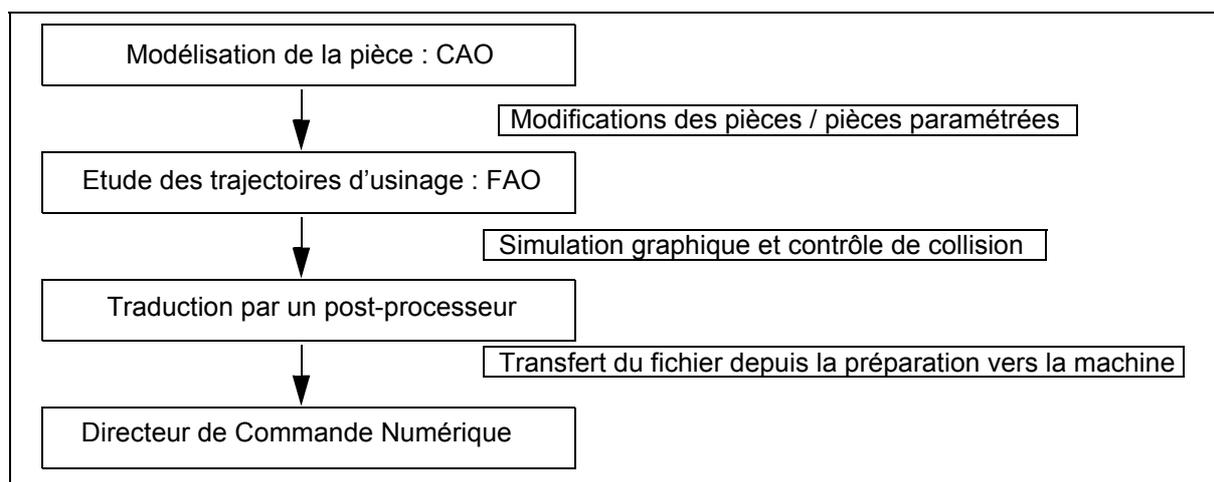


Figure 41 : chronologie d'élaboration du contrat de phase

Dans le début des années 90, des environnements de programmation intégrés à la conception des pièces (CFAO) voyaient le jour en tentant de supprimer définitivement les lourdes interfaces entre les systèmes orientés conception (CAO) et les systèmes orientés fabrication (FAO).

Depuis cette évolution et les progrès significatifs qui ont été accomplis, certaines questions sont tout à fait légitimes. En particulier, est-il toujours aussi nécessaire d'apprendre et de connaître les langages des DCN ? Si une fonctionnalité existe à la fois sur le système de FAO et sur le DCN, doit-on l'utiliser sur le système de FAO ou la programmer sur le DCN ? Qui développe les post-processeurs : le concepteur du système de FAO, l'utilisateur du DCN ou une tierce personne spécialisée dans ce travail de traduction ? Dans le cas d'une modification mineure du programme, peut-on la faire directement sur le DCN ou doit-on impérativement repasser par le système de FAO ? Dans quels cas les systèmes de FAO souvent très onéreux sont-ils rentables ?

Pour éviter d'apporter une réponse figée à ces questions, voici quelques éléments de réflexion.

Il faut d'abord retenir que le post-processeur (PP) est actuellement le maillon faible de la chaîne complète entre la conception de la pièce et la machine-outil sur laquelle elle va être usinée (CFAO-PP-MOCN). Un bon post-processeur doit évidemment être compatible avec le langage du DCN et notamment les fonctions préparatoires G. Il doit ensuite prendre en compte les particularités de la MOCN pour laquelle il est destiné ; ce sont les fonctions M : changeur d'outil, systèmes de lubrification, changement de palette, etc... Il doit enfin être adapté aux habitudes de programmation de l'entreprise et des opérateurs. Certes, les cahiers des charges des post-processeurs sont souvent incomplets mais, parmi les développeurs de post-processeurs, combien connaissent toutes les fonctionnalités des DCN et leurs subtilités, combien ont pris le temps d'étudier la machine-outil pour laquelle ils doivent traduire le fichier des instructions et des positions d'outils (CLFILE) généré par le système de CFAO ? Par ailleurs, lorsqu'une entreprise vient d'investir massivement dans du matériel informatique adapté (mémoire vive importante et carte graphique performante) et un logiciel de CFAO reconnu, elle a des difficultés à justifier les dépenses supplémentaires liées au développement de post-processeurs spécifiques.

Si l'on s'intéresse un peu plus à la technique de génération des trajectoires, on devine rapidement les interrogations liées à la **redondance** entre les fonctionnalités présentes sur le DCN au pied de la machine et celles proposées par le système de CFAO. En perçage par exemple, il y a des cycles fixes préprogrammés dans le DCN et des cycles paramétrés équivalents dans le système de FAO. Les

premiers utilisent des fonctions préparatoires (G81 et suivantes) souvent familières des opérateurs qui peuvent ainsi, lorsqu'ils y sont autorisés, modifier rapidement des paramètres dans le programme en cours sans avoir à connaître et à utiliser le système de CFAO souvent éloigné de la machine. Cela conduit à une grande réactivité en cas de problème. On comprend, par contre, qu'il serait incongru de vouloir ainsi modifier le programme de finition d'une matrice d'emboutissage dans lequel des milliers de points ont été calculés pour un compromis entre vitesse d'exécution et qualité de réalisation.

A l'heure de l'évolution accélérée des produits, le système de CFAO intégré permet le recalcul automatique et rapide des trajectoires programmées en cas de changement mineur de modélisation de la pièce : légère modification d'une dimension, ajout d'un congé de raccordement, etc... A l'heure de la diversité toujours croissante des produits, le système de CFAO est capable de générations automatiques de programmes CN à partir d'une famille paramétrée de pièces. Le système de CFAO, couplé à une démarche plus ou moins automatisée de "technologie de groupe" (TGAO), permet également d'appliquer une gamme existante à une pièce voisine ou soeur et de rejouer le scénario de calcul de trajectoires. Ces trois axes justifient économiquement les investissements considérables que les entreprises consentent pour leur système de CFAO ; à condition qu'elles se dotent de post-processeurs performants et qu'elles s'appuient sur des opérateurs formés.

8. Bibliographie

- [NF E 60-023] AFNOR - Cônes d'emmanchement, nez de broches à conicité 7 / 24 pour changement manuel d'outil - norme AFNOR NF E 60-023 - Mai 1985
- [NF Z 68-036] AFNOR - Commande numérique des machines, format de programme et description des mots adresses, partie 2 : codage et mise à jour des fonctions préparatoires G et des fonctions auxiliaires universelles M - norme AFNOR NF Z 68-036 - octobre 1988
- [NF Z 68-037] AFNOR - Commande numérique des machines, format de programme et description des mots adresses, partie 3 : codage des fonctions auxiliaires M (classe 1 à 9) - norme AFNOR NF Z 68-036 - octobre 1988
- [NF ISO 3592] AFNOR - Informations de sortie des processeurs CN, structure logique et mots majeurs - norme ISO 3592, identique norme AFNOR Z 65-510 - octobre 1980
- [NF ISO 841] ISO - Nomenclature des axes et des mouvements, pour la commande numérique des machines - norme ISO 841, équivalent norme AFNOR NF Z 68-020 - décembre 1968
- [NF ISO 4342] ISO - Commande numérique des machines, données d'entrée des processeurs CN, langage de référence de base pour programme de pièce - norme ISO 4342, norme AFNOR NF Z 68-040 - octobre 1988
- [NF ISO 4343] AFNOR - Informations de sortie des processeurs CN, éléments mineurs des enregistrements de type 2000, (instructions post-processeur) - norme ISO 4343, équivalent norme AFNOR Z 65-511 - décembre 1977
- [NF ISO 6983-1] ISO - Commande numérique des machines, format de programme et description des mots adresses, partie 1 : format de données pour les équipements de commande de mise en position, de déplacement linéaire et de contournage - norme ISO 6983-1, norme AFNOR NF Z 68-035 - octobre 1988
- [VERGNAS 82] Vergnas (J) - Usinage - Dunod - août 1982
- [LONGEOT 85] Longeot (H), Jourdan (L) - Fabrication Industrielle - Dunod - octobre 1985
- [VERGNAS 85] Vergnas (J) - Exploitation des machines-outils à commande numérique - pyc édition - octobre 1985
- [INTARTAGLIA 86] Intartaglia (R), Lecoq (P) - Guide pratique de la commande numérique - Dunod - février 1986
- [COOREVITS 91] Coorevits (T), David (J-M), Rosenbaum (M) - Le contrôle tridimensionnel sur machine à mesurer et machine-outil - Renishaw / Techno-Nathan - 1991
- [LAFFARGUE 94] Laffargue (A) - Mise en œuvre et réglage d'une cellule élémentaire d'usinage - Mémoire d'ingénieur du CNAM - 1994
- [MATHIEU 91] Mathieu (L), Weill (R) - Model for machin tool setting as a function of position error - CIRP international working seminar on computer aided tolerancing, Pennstate University - 16-17 mai 1991
- [MERY 97] Méry (B) - Machines à commande numérique - Hermes - Avril 1997
- [DUC 98] Duc (E), Lefur (E) - La modélisation géométrique des MOCN : un outil pour le régleur - Technologies et Formation - N°74
- [LEFUR 98] Lefur (E), Duc (E) - La modélisation géométrique des MOCN : application au palpéage sur MOCN - Technologies et Formation - N°75

9. Acronymes

AFNOR : Association Française de NORmalisation
ANSI : American National Standard Institute
API : Automate Programmable Industriel
APT : Automatically Programmed Tools
ARS : Acier Rapide Supérieur
BTS : Brevet de Technicien Supérieur
CAD : Computer Aided Design (idem CAO)
CAN : Convertisseur analogique numérique
CAM : Computer Aided Manufacturing (idem FAO)
CAO : Conception Assistée par Ordinateur
CFAO : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
CLFILE : Cutter Location File
CNA : Convertisseur numérique analogique
CRONP : Correction de Rayon d'Outil Normale au Profil
CSG : Constructive Solid Geometry
DCN : Directeur de Commande Numérique
ERO : Etude et Réalisation d'Outillage
FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur
HSS : High Speed Steel
IGES : Initial Graphics Exchange Specification
ISO : International Standard Organisation
MOCN : Machine-Outil à Commande Numérique
PGP : Programmation Géométrique de Profil (fonctionnalité NUM)
SET : Standard d'Echange et de Transfert
STEP : STandard for the Exchanging of Product definition
STS : Sections de Techniciens Supérieurs
UGV : Usinage à Grande Vitesse
VDA : Verband Der Automobil (standard allemand)
VDI : Verband Der Industrie (standard allemand)

10. Glossaire des instructions du NUM 760 T (tournage)

760T-Aller au point d'approche

(ALLER POINT APPROCHE)

N G0 X Z

760T-Aller au point de changement d'outil

(ALLER POINT CHANGEMENT OUTIL)

N G0 G52 X Z

760T-Annuler la correction de rayon

(ANNULER CORRECTION DE RAYON)

N G1 G40 X Z

760T-Appeler l'outil

(APPELER OUTIL)

N T D M6

760T-Appeler un correcteur

(APPELER UN CORRECTEUR)

N D

760T-Appeler un sous programme

(APPELER UN SOUS PROGRAMME)

N G77 H

760T-Arrêter la broche

(ARRETER LA BROCHE)

N M5

760T-Arrêter la lubrification

(ARRETER LUBRIFICATION)

N M9

760T-Avance la contre-pointe

(AVANCER LA CONTRE-POINTE)

N M17

760T-Charioter

(CHARIOTER)

N G1 Z G95 F

760T-Clore le cycle

(CLORE LE CYCLE)

N G80 X Z

760T-Clore le programme

(CLORE LE PROGRAMME)

N1000 M2

760T-Commencer un programme

```
%  
(FICHER : )  
(AUTEUR : )  
(DATE : )  
(PIECE : )  
(PHASE : )  
( )
```

760T-Dégager sur X

```
(DEGAGER SUR X)  
N G0 X
```

760T-Dégager sur Z

```
(DEGAGER EN Z)  
N G0 Z
```

760T-Dresser

```
(DRESSER)  
N G1 X G95 F
```

760T-Ebaucher cycle paraxial

```
(EBAUCHER EN CYCLE PARAXIAL)  
(N=NUMERO DU DERNIER BLOC)  
(N=NUMERO DU PREMIER BLOC)  
(I=SUREPAISSEUR DE FINITION SUR X)  
(K=SUREPAISSEUR DE FINITION SUR Z)  
(P=PROFONDEUR DE PASSE)  
(F=VITESSE AVANCE)  
N G64 N N I K P F  
N X Z  
N X Z  
N X Z  
N G80 X Z
```

760T-Ebaucher poche frontale

```
(EBAUCHER POCHE RADIALE)  
(N=NUMERO DU DERNIER BLOC)  
(N=NUMERO DU PREMIER BLOC)  
(X=LIMITE DE LA ZONE EBAUCHEE)  
(EA=ANGLE DE PENETRATION)  
(I=SUREPAISSEUR DE FINITION SUR X)  
(K=SUREPAISSEUR DE FINITION SUR Z)  
(R=PROFONDEUR DE PASSE)  
(F=VITESSE AVANCE)  
N G0 X Z  
N G65 N N X EA I K R F
```

760T-Ebaucher poche longitudinale

(EBAUCHER POCHE LONGITUDINALE)

(N=NUMERO DU DERNIER BLOC)

(N=NUMERO DU PREMIER BLOC)

(Z=LIMITE DE LA ZONE EBAUCHEE)

(EA=ANGLE DE PENETRATION)

(I=SUREPAISSEUR DE FINITION SUR X)

(K=SUREPAISSEUR DE FINITION SUR Z)

(P=PROFONDEUR DE PASSE)

(F=VITESSE AVANCE)

N G0 X Z

N G65 N N Z EA I K P F

760T-Fileter S passes cylindriques

(FILETER S PASSES CYCLINDRIQUES)

(X=DIAMETRE DE FIN DE FILETAGE)

(Z=COORDONNEE SUR Z DE FIN DE FILETAGE)

(K=PAS DU FILETAGE)

(P=PROFONDEUR TOTALE DU FILET)

(S=NOMBRE DE PASSES)

N G33 X Z K P S

760T-Fileter un cycle complet

(FILETER UN CYCLE COMPLET)

(AVEC 10 PARAMETRES)

(X=DIAMETRE DE FIN DE FILETAGE)

(Z=COORDONNEE SUR Z DE FIN DE FILETAGE)

(K=PAS DU FILETAGE)

(P=PROFONDEUR TOTALE DU FILET)

(Q=PROFONDEUR DE LA DERNIERE PASSE)

(R=LONGUEUR DU CONE DE DEGAGEMENT)

(EA=ANGLE DU FILETAGE CONIQUE)

(EB=ANGLE DE PENETRATION)

(F=NOMBRE DE FILET)

(S=NOMBRE DE PASSES)

N G33 X Z K P Q R EA EB F S

760T-Fileter une passe cylindrique

(FILETER UNE PASSE CYLINDRIQUE)

(X=DIAMETRE DE FIN DE FILETAGE)

(Z=COORDONNEE SUR Z DE FIN DE FILETAGE)

(K=PAS DU FILETAGE)

(P=PROFONDEUR TOTALE DU FILET)

N G33 X Z K P

760T-Initialiser

(INITIALISER)

N M5 M9 G95

760T-Limiter rotation broche

(LIMITER FREQUENCE ROTATION BROCHE)

N G92 S

760T-Lubrifier

(LUBRIFIER)

N M8

760T-Mettre en route la broche

(METTRE EN ROUTE BROCHE)

N G97 S M M

760T-Percer dans l'axe

(PERCER DANS AXE)

N G0 X0 Z
N G1 Z G95 F
N G0 Z

760T-Percer G83

(PERCER G83)

N G83 Z ER P Q G95 F

760T-Plonger une gorge

(PLONGER)

N G1 X G95 F

760T-Programmer la V.B.C.

(PROGRAMMER VITESSE BROCHE CONSTANTE)

N G97 S

760T-Programmer la V.C.C.

(PROGRAMMER VITESSE COUPE CONSTANTE)

N G96 S X

760T-Reculer contre-pointe

(RECLER CONTRE-POINTE)

N M18

760T-Reprendre une séquence

(REPRENDRE UNE SEQUENCE)

N G77 N N

760T-Réaliser trou de centre

(PERCAGE TROU DE CENTRE)

(APPELER OUTIL)

N T D M6

(ALLER POINT APPROCHE)

N G0 X Z

(METTRE EN ROUTE BROCHE)

N G97 S1000 M3 M40

(LUBRIFIER)

N M8

(PERCER DANS AXE)

N G0 X0
N G1 Z G95 F
N G0 Z

(REPRENDRE UNE SEQUENCE)

N G77 N N

()

760T-Réaliser un dressage

(DRESSAGE)

(APPELER OUTIL)

N T D M6

(ALLER POINT APPROCHE)

N G0 X Z

(METTRE EN ROUTE BROCHE)

N G97 S M M

(LUBRIFIER)

N M8

(PROGRAMMER VITESSE COUPE CONSTANTE)

N G96 S X

(LIMITER FREQUENCE ROTATION BROCHE)

N G92 S

(DRESSER)

N G1 X G95 F

(DEGAGER EN Z)

N G0 Z

(REPRENDRE UNE SEQUENCE)

N G77 N N

760T-Sauter vers un bloc

(SAUTER VERS UN BLOC)

N G79 N

760T-Sauter vers un bloc si...

(SAUTER VERS UN BLOC SI...)

N G79 ? N

760T-Temporiser

(TEMPORISER)

N G4 F

760T-Tronçonner

(TRONCONNER)

N G1 X G95 F

760T-Usiner à droite du profil

(USINER A DROITE DU PROFIL)

N G1 G42 X Z F

760T-Usiner à gauche du profil

(USINER A GAUCHE DU PROFIL)

N G1 G41 X Z F

760T-Var : additionner

(VAR : ADDITIONNER)

N L = +

760T-Var : affecter

(VAR : AFFECTER)

N L =

760T-Var : cosinus

(VAR : COSINUS)

N L = C

760T-Var : diviser

(VAR : DIVISER)

N L = /

760T-Var : multiplier

(VAR : MULTIPLIER)

N L = *

760T-Var : racine carrée

(VAR : RACINE CARREE)

N L = R

760T-Var : sinus

(VAR : SINUS)

N L = S

760T-Var : soustraire

(VAR : SOUSTRAIRE)

N L = -

760T-Var : troncature

(VAR : TRONCATURE)

N L = T

11. Glossaire des instructions du NUM 760 F (fraisage)

760F-Aller au point d'approche

(ALLER POINT APPROCHE)

N G0 X Y Z

760F-Aller au point de changement d'outil

(ALLER POINT CHANGEMENT OUTIL)

N G0 G52 X Y Z

760F-Aléser au grain

(ALESER AVEC GRAIN)

(X=ABSCISSE AXE DU TROU)

(Y=ORDONNEE AXE DU TROU)

(Z=COTE DU FOND DU TROU)

(ER=COTE DU PLAN DE RETRAIT)

(F=VITESSE AVANCE)

N G0 X Y
N G86 Z ER F

760F-Aléser à l'alésoir

(ALESER AVEC ALESOIR)

(X=ABSCISSE AXE DU TROU)

(Y=ORDONNEE AXE DU TROU)

(Z=COTE DU FOND DU TROU)

(ER=COTE DU PLAN DE RETRAIT)

(F=VITESSE AVANCE)

N G85 X Y Z ER F

760F-Annuler la correction de rayon

(ANNULER CORRECTION DE RAYON)

N G1 G40 X Y

760F-Appeler l'outil

(APPELER OUTIL)

N T D M6

760F-Appeler un correcteur

(APPELER UN CORRECTEUR)

N D

760F-Appeler un sous programme

(APPELER UN SOUS PROGRAMME)

N G77 H

760F-Arrêter la broche

(ARRETER LA BROCHE)

N M5

760F-Arrêter la lubrification

(ARRETER LUBRIFICATION)

N M9

760F-Clore le cycle

(CLORE LE CYCLE)

N G0 G80 Z

760F-Clore le programme

(CLORE LE PROGRAMME)

N1000 M2

760F-Commencer un programme

%

(FICHER :)

(AUTEUR :)

(DATE :)

(PIECE :)

(PHASE :)

()

760F-Déplacer rapide sur XY

(DEPLACER EN RAPIDE SUR XY)

N G0 X Y

760F-Déplacer rapide sur Z

(DEPLACER EN RAPIDE SUR Z)

N G0 Z

760F-Exécuter rotation plateau

(EXECUTER ROTATION PLATEAU)

N G0 B

760F-Initialiser

(INITIALISER)

N G0 G90 M5 M9

760F-Lubrifier

(LUBRIFIER)

N M8

760F-Mettre en route la broche

(METTRE EN ROUTE BROCHE)

N S M M

760F-Perçer avec brise copeaux

(PERCER AVEC BRISE-COPEAUX)

(X=ABSCISSE AXE DU TROU)

(Y=ORDONNEE AXE DU TROU)

(Z=COTE DU FOND DU TROU)

(ER=COTE DU PLAN DE RETRAIT)

(P=PROFONDEUR PREMIERE PASSE)

(Q=PROFONDEUR DERNIERE PASSE)

(F=VITESSE AVANCE)

(EF=TEMPORISATION)

N G87 X Y Z ER P Q F EF

760F-Perçer et chamber

(PERCER ET CHAMBRER)

(X=ABSCISSE AXE DU TROU)

(Y=ORDONNEE AXE DU TROU)

(Z=COTE DU FOND DU TROU)

(ER=COTE DU PLAN DE RETRAIT)

(F=VITESSE AVANCE)

(EF=TEMPORISATION)

N G82 X Y Z ER F EF

760F-Perçer ou centrer

(PERCER OU CENTRER)

(X=ABSCISSE AXE DU TROU)

(Y=ORDONNEE AXE DU TROU)

(Z=COTE DU FOND DU TROU)

(ER=COTE DU PLAN DE RETRAIT)

(F=VITESSE AVANCE)

N G81 X Y Z ER F

760F-Perçer avec déburrage

(PERCER AVEC DEBOURRAGE)

(X=ABSCISSE AXE DU TROU)

(Y=ORDONNEE AXE DU TROU)

(Z=COTE DU FOND DU TROU)

(ER=COTE DU PLAN DE RETRAIT)

(P=PROFONDEUR PREMIERE PASSE)

(Q=PROFONDEUR DERNIERE PASSE)

(F=VITESSE AVANCE)

N G83 X Y Z ER P Q F

760F-Plonger suivant Z

(PLONGER SUIVANT Z)

N G1 Z F

760F-Programmer décalage origine

(PROGRAMMER DECALAGE ORIGINE)

N G59 X Y Z

760F-Reprendre une séquence

(REPRENDRE UNE SEQUENCE)

N G77 N N

760F-Sauter vers un bloc

(SAUTER VERS UN BLOC)

N G79 N

760F-Sauter vers un bloc si...

(SAUTER VERS UN BLOC SI...)

N G79 ? N

760F-Tarauder

(TARAUDER)

N G84 X Y Z ER F

760F-Temporiser

(TEMPORISER)

N G4 F

760F-Usiner dans XY

(USINER DANS XY)

N G1 X Y F

760F-Usiner suivant X

(USINER SUIVANT X)

N G1 X F

760F-Usiner suivant Y

(USINER SUIVANT Y)

N G1 Y F

760F-Usiner à droite du profil

(USINER A DROITE DU PROFIL)

N G1 G42 X Y F

760F-Usiner à gauche du profil

(USINER A GAUCHE DU PROFIL)

N G1 G41 X Y F

760F-Var : additionner

(VAR : ADDITIONNER)

N L = +

760F-Var : affecter

(VAR : AFFECTER)

N L =

760F-Var : cosinus

(VAR : COSINUS)

N L = C

760F-Var : diviser

(VAR : DIVISER)

N L = /

760F-Var : multiplier

(VAR : MULTIPLIER)

N L = *

760F-Var : racine carrée

(VAR : RACINE CARREE)

N L = R

760F-Var : sinus

(VAR : SINUS)

N L = S

760F-Var : soustraire

(VAR : SOUSTRAIRE)

N L = -

760F-Var : troncature

(VAR : TRONCATURE)

NL= T

Fin.

Version de Septembre 2001

