

Sc
N

Sc. N. 73/34^{A bis}



Genie Sufet

COMMANDE DIRECTE DES MACHINES OUTILS
PAR
CALCULATEUR INDUSTRIEL

Michel VERON
8 février 1973

.....

73
34^{Bis}

1/ INTRODUCTION

La commande numérique des machines-outils fait appel depuis le début de son utilisation aux possibilités des calculateurs numériques pour élaborer rapidement les informations, réparties sur une bande perforée, nécessaires à l'usinage des pièces, en particulier dans le cas du contourage où les calculs peuvent être difficiles et très nombreux [1]. "Après avoir parfaitement réussi dans cette tâche, l'ordinateur a vu proliférer ses applications dans les fabrications à tel point que, maintenant, son utilisation n'est plus guère limitée que par l'imagination de ses utilisateurs éventuels ou par des considérations économiques."

L'idée première de commande directe, apparue vers 1965-66 [2] [3], a été de supprimer le support d'information intermédiaire que constitue le ruban perforé et de transmettre directement depuis le fichier "C.TAPE", fourni par le processeur, ces données à l'unité de gouverne de la machine, immédiatement après le lecture de ruban, au niveau du décodeur.

La possibilité de commander directement un processus industriel n'est pas nouvelle et cette technique est déjà appliquée dans l'industrie chimique [4], l'industrie nucléaire [5], la sidérurgie [6] et dans bien d'autres branches d'activités [7]. [8].

Compte tenu de la taille importante des calculateurs capables de traiter les langages symboliques tels que APT ou IFAPT, les premières réalisations de commande directe consistaient en des ensembles complexes, permettant la commande simultanée d'un grand nombre de machines [9].

Dès le mois de février 1968 Sunstrand Machine Tool (USA) développe, d'abord pour son propre compte le système OMVICOTROL [10], qui dans son usine de Belvidere comprend 18 machines, dont plusieurs 5 axes, pilotées par un ordinateur IBM 360/44.

À peu près à la même époque Molins étudie le système 24 particulièrement curieux [11].

Bien que tous les constructeurs se lancent alors dans la commande directe et un grand nombre d'articles apparaissent sur ce sujet en 1970, aussi bien aux USA [12] [13] [14] [15] [16], qu'en Europe [17] [18]. L'exposition Internationale de Chicago de la même année démontre l'avènement industriel de cette technique [19], surtout dans le domaine de la commande groupée de plusieurs machines (DNC).

Pour ailleurs, grâce au développement des microcalculateurs et à l'abaissement de leur prix, les constructeurs envisagent, dès cette époque de remplacer la logique câblée d'une unité de gouverne classique par une logique programmée avec tous les avantages de souplesse et d'adaptation que permet le Soft. Ce type de commande directe directe à une ou deux machines (système CNC), beaucoup moins ambitieux que le précédent devrait satisfaire un grand nombre de petites et moyennes entreprises. Les constructeurs l'ont parfaitement compris et l'Exposition de Chicago 72 [20] traduit un net revirement des fabricants vers des systèmes moins sophistiqués, aptes à intéresser un plus grand nombre d'utilisateurs.

Après avoir défini les différents niveaux rencontrés dans les systèmes CNC et DNC, nous donnerons les avantages qu'ils offrent par rapport à la C.N. classique, puis nous décrirons sommairement le système développé par Renault-Peugeot et la CII en France, système qui constitue la mise en œuvre de la méthode Unisurf de définition des courbes et surfaces.

2) Différentes conceptions de la commande directe des machines

Nous avons déjà évoqué les deux grandes classes de machines à commande les systèmes DNC et les systèmes CNC, dont nous rappellerons brièvement les principes proposés par l'AFNOR.

DNC (Direct Numerical Control).

"Système de commande numérique directe à l'aide d'un ordinateur universel d'un ensemble de machines outils équipées d'un équipement de commande Numérique ou d'organes électroniques spécialisés équivalents (microprocesseur, calculateur, CNC, ...)

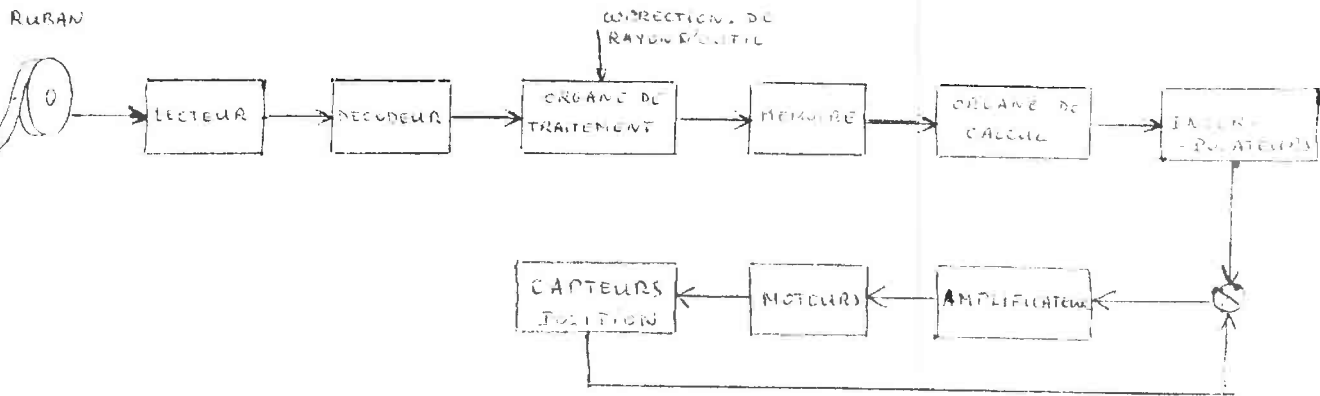
On confie habituellement au calculateur d'autres fonctions que la conduite des machines, notamment, des fonctions d'assistance à la production ou des fonctions d'aide à la programmation."

CNC (Computerized Numerical Control)

"Équipement de commande numérique utilisant un calculateur universel dans lequel un certain nombre de fonctions habituellement câblées dans les commandes Numériques, sont réalisées par un programme enregistré. Un tel équipement peut commander une seule machine ou un petit nombre de machines outils par multiplexage."

Dans le premier cas la structure est hiérarchisée [21] et l'ordinateur a un rôle de gestion, d'organisation et de préparation du travail et de surveillance de la machine et doit fournir une réaction immédiate à tout arrêt de la machine [22]. Dans le deuxième cas le mini-calculateur remplace tout ou partie des fonctions câblées de l'unité de gouverne, il peut avoir quelques fonctions limitées de surveillance : durée du travail, nombre de pièces exécutées, causes d'arrêt, etc. ...

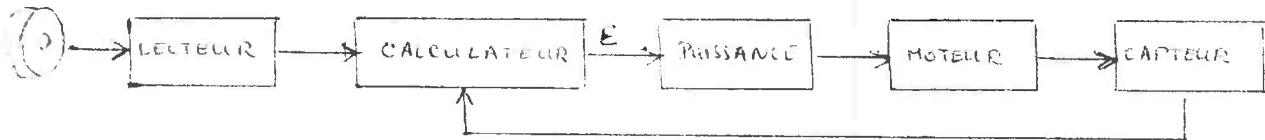
- Selon le point d'introduction de l'information dans la chaîne logique de l'ordinateur de commande (fig 1) on obtient différents versions [23].



(figure 1)

2.1 Cas du CNC

- La calculatrice assure toutes les fonctions logiques et arithmétiques de l'ordinateur, y compris l'interpolation fine et la formation des boucles de positionnement.

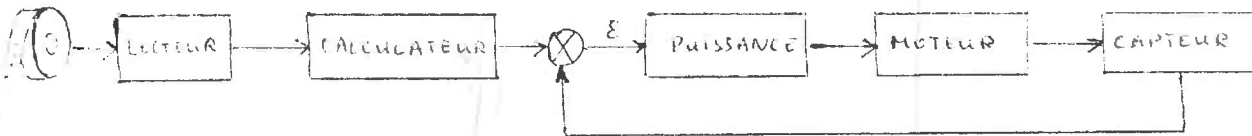


Pour le calculateur les grandeurs d'entrée sont, en particulier, les signaux issus du lecteur pendant la phase d'entrée de données et les informations fournies par le capteur pendant la phase d'exécution. Selon le type de capteur, il sera nécessaire de compter des impulsions (capteur incrémental), de traiter une grandeur digitale (dosage ou règle codée) ou une grandeur analogique (Résolveur, Inductosyn). Les grandeurs de sortie E sont fonctions des écarts entre la position vraie du mobile et la position calculée et appliquent, en général un asservissement en vitesse.

La précision ne peut être assurée que de choisir une vitesse présente
 d'entraînement faible (10 à 20 rad). Dans cet intervalle de temps,
 on doit effectuer les calculs relatifs à l'ordre suivant, ce qui ne peut être fait
 que pour un nombre limité d'axes (5 ou 6).

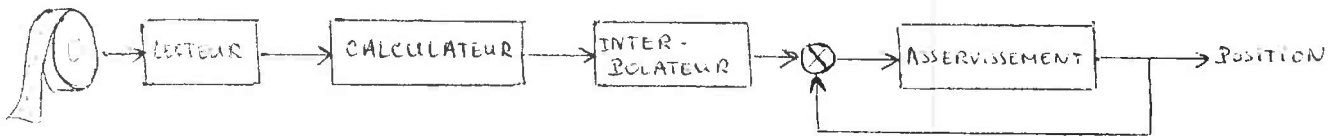
Les systèmes Non-World de Westinghouse, CNC 7300 de Allen Bradley
 (Bessey en France), Kongsberg sont basés sur ce principe.

B/ L'ordinateur assure pas la fermeture de la boucle de positionnement
 manquant la fonction d'interpolation fine.



Si par le contrôle de la position tout reste identique à la version précédente. Les
 opérations élaborées par le calculateur ne sont plus des erreurs mais des consignes
 de position. L'entraînement peut alors être effectué à une fréquence beaucoup
 plus élevée.

c/ Une logique câblée assure l'asservissement en position et l'interpolation
 fine, le calculateur ne fournit que les coordonnées des points entre lesquels
 une interpolation linéaire est possible.



Ce principe correspond vraisemblablement au dispositif optimal pour la
 commande CNC [24] [25].

D'une façon générale, d'après les systèmes existants actuellement sur le marché [20][26], un ordinateur de 4 K de mémoire suffit pour commander trois axes en contourage. Il assure également d'autres tâches :

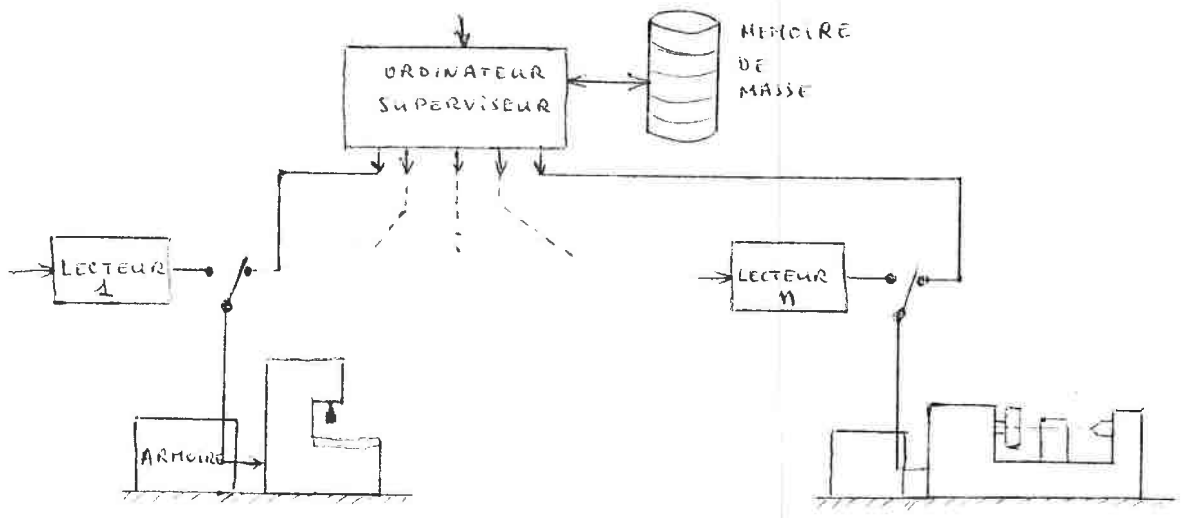
- sentation des informations issues du proprio (mode de fonctionnement, position de rayon d'outil, mise en route, remise à zéro, ...)
- détection de pannes ou de défauts (fin de course, surcharge les outils)
- Visualisation des grandeurs mesurées.

et si il lui reste encore du temps on peut toujours rajouter des fonctions complémentaires

2.2 Cas du D.N.C

a) La solution la plus simple consiste à envoyer directement les informations dans une armoire de commande classique immédiatement derrière le lecteur, cette armoire peut d'ailleurs être à logique programmée (CNC).

Cette solution, appelée BTR (Behind Tape Reader) nécessite un ordinateur superviseur ayant une mémoire de masse suffisante pour stocker plusieurs programmes relatifs ~~relatifs~~ aux messages réalisés par les différentes machines connectées.



- Les informations humaines sont celles qui arrivent par l'intermédiaire d'une bande de papier. Souvent un pupitre, situé à côté des posts de travail permet la modification instantanée de divers paramètres géométriques ou technologiques. On obtient ainsi un système conventionnel très performant pour la correction ou modification des programmes tout en évitant les causes de pannes dues aux lecteurs et aux rubans (25% des pannes)

Les systèmes Commandir de General Electric, Génieci de Keaneey et Trecher, Siemens, Cincinnati utilisent la solution BTR.

b) L'interpolation grossière peut être prise en compte par le calculateur, la machine ne fonctionne pas en automatique, elle soustrait de calculs pour le ordinateur autant que le nombre de machines à us commander est moins important. L'exemple le plus connu et le plus répandu, le système Control de Sunstrand, correspond à ce type de DNC.

En général la taille mémoire nécessaire est de l'ordre de 32 K et varie bien entendu selon la configuration envisagée pour atteindre 512 K pour le système le plus évolué. [27]. En DNC le calculateur intervient surtout dans la préparation du travail (programmation géométrique), organisation et la gestion du travail entre les divers machines, et fournit des éléments d'information appréciables à la "direction" pour le bon rendement de la production (MIS = Management Information System).

3) Avantages et possibilités de la commande directe des machines-outils

La présence du calculateur augmente considérablement les possibilités des machines à commande numérique et facilite les relations entre les différents services intervenant dans la chaîne de fabrication depuis le début de la conception jusqu'à la réalisation de la pièce. Nous nous limiterons aux avantages les plus immédiats concernant plus particulièrement le CNC.

3.1) Souplesse des codes et formats d'entrée.

La possibilité de modifier à volonté le format des informations est très importante pour réaliser une même pièce sur des machines équipées d'unités de commande différentes, le ruban étant parfait dans un format bien précis. Cette adaptabilité est particulièrement intéressante pour la sous-traitance.

3.2) Lecture et mémorisation simultanée de plusieurs blocs

On augmente ainsi la rapidité de lecture en évitant un grand nombre de démarrages et d'arrêts qui usent rapidement le lecteur.

3.3) Corrections de rayon et de longueur d'outil.

En CN classique il est nécessaire de disposer d'un groupe d'impostateurs pour afficher les corrections relatives à un outil, ce qui coûte cher et encombre inutilement le panneau de l'unité de commande. En CNC un seul groupe suffit, l'un des impostateurs permettant d'afficher et de mémoriser le numéro d'outil concerné par les corrections.

La correction de rayon peut alors être effectuée rigoureusement perpendiculairement à la trajectoire, car le trajet ultérieur de l'outil est mémorisé. Le travail du programmeur est ainsi facilité : il lui suffit de programmer le contour fini de la pièce.

3.4) Génération de courbes complexes

Les armées classiques se limitent essentiellement à la droite ou au cercle, la génération de fonctions plus compliquées, genres polygones unisuf, présente un intérêt indéniable.

3.5) Visualisation des grandeurs mémorisées.

Par simple demande sur le pupitre on peut se remémorer des toutes opérations particulières du programme soit par affichage lumineux, soit sur écran cathodique ou même téléimpression.

3.6) Aide à la programmation

au niveau DNC la programmation en langage symbolique est permise, de même les modifications ou corrections de programmes depuis le poste de travail, ce qui permet une mise au point très rapide et l'obtention des premières pièces dans des délais très courts.

au niveau CNC il n'est pas possible d'envisager une telle efficacité, mais moyennant une extension limitée de la configuration, il n'est pas impossible de développer des langages adaptés d'aide à la programmation ou à la correction, solution intéressante pour un grand nombre de petits utilisateurs.

3.7) Aide à la maintenance

Des programmes test permettent de vérifier tous les circuits, y compris ceux du calculateur lui-même, ce qui élimine a priori un certain nombre de pannes non encore détectées, les organes defectueux n'étant pas nécessairement instrument sollicités.

3.8) Standardisation des armées de commande.

Il s'agit là d'un avantage incontestable du CNC. En effet,

- En agissant presque exclusivement sur le soft, le constructeur pourra sélectionner une gamme à des machines différentes, quels que soient les capteurs de position, les boucles d'asservissement ou le nombre d'axes. Cela devrait conduire à un net abaissement des prix pour une diffusion plus importante.

3.9) Compensation des erreurs géométriques.

On peut corriger les imperfections de la machine en mesurant les écarts entre la position réelle et la position théorique du mobile selon chaque axe pour un grand nombre de points. On obtient ainsi une table de corrections qui seraient prises en compte pendant l'usinage. Cette possibilité contredit le très ancien principe selon lequel une machine ne peut produire une pièce plus précise qu'elle-même.

3.10) Prise en compte des grandeurs relatives aux conditions de coupe.

- Avec la commande adaptative, seule une unité de gouvern. à ordinateur équipé sera capable de prendre en compte les grandeurs caractéristiques du processus de coupe (couple, vibrations, flexion de l'outil, puissance absorbée) et de modifier les paramètres d'usinage afin de l'optimiser.

3.11) Gestion intégrée

On désigne par ce nom un ensemble de machines commandées par un ordinateur (DNC) qui assure également le transfert et la répartition des pièces entre les différentes machines et les différentes parties de l'atelier. Il vérifie le bon déroulement de la production entre les différentes phases de fabrication. Le maillon de base est un système CNC, regroupé dans un ensemble DNC, lui-même intégré à un ensemble plus vaste.

4) Système développé par Renault-Renogyt

Ces systèmes CNC présentent le double intérêt d'être les seules réalisations françaises dans ce domaine et d'intégrer la définition unique des courbes et des surfaces pour la mise en œuvre de laquelle ils ont été conçus. Ce sont des moyens de représentation de formes pour la création des carrosseries et l'usinage des outils d'emboutissage correspondants [28][29].

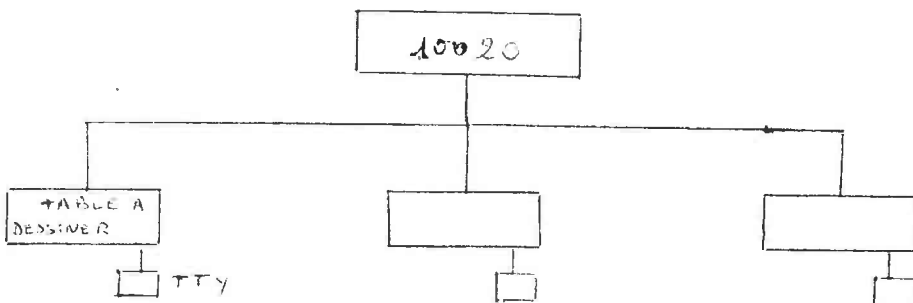
Des fin 1967 la Régie Renault a mis au point un système de commande de table à dessiner et de "machine à dessiner dans l'espace", une fraiseuse pour matériaux tendre, pilotées par un calculateur.

Actuellement ces constructeurs développent le CNC pour trois usages différents correspondant à trois phases successives du travail :

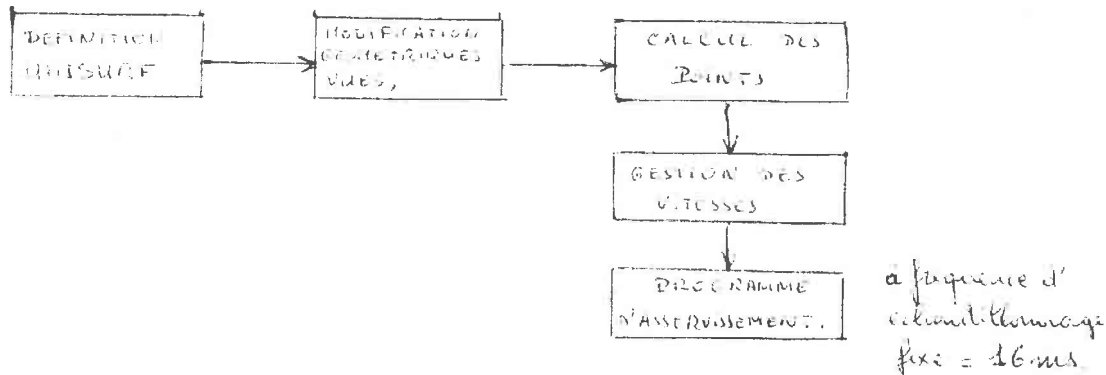
- 1) conception et traçage
- 2) fraisage dans du matériau tendre
- 3) fraisage lourd des matrices.

4.1) Système de dessin

Cet ensemble est constitué d'un calculateur Cii 10020 connecté à 1, 2 ou 3 tables à dessiner, chacune équipée d'une console qui permet à chaque opérateur de traiter immédiatement son problème particulier.



- Les asservissements sont continus et réalisés à l'aide de moteurs à courant continu.
 - Et les capteurs de position sont des désignés codes (1024 positions) qui donnent une représentation absolue de la position sur un tour.
- Grâce à la définition de l'usinage qui permet de prévoir les variations de rayons de courbure importantes et donc de décaler en temps réel, on atteint des vitesses de trace de 300 mm/seconde.



La précision obtenue est de $1/10$ pour les tables de 3 mètres et de $2/10$ pour celles de 7 mètres.

4.3 Fraisage de maquettes

Une fraiseuse pour matériaux tendres peut être couplée au calculateur 10020 simultanément avec une table à dessiner.

Le programme de gestion détermine les vitesses d'avance automatiquement si la courbe présente des difficultés et accélère ensuite jusqu'à la vitesse maxi de 150 mm/seconde, tout en effectuant, en temps réel les corrections de rayon d'outil (sphérique et cylindrique), ces calculs étant facilités par la définition de l'usinage. Le système permet également la permutation des axes, le miroir image, le décalage du zéro, le choix de l'échelle et du nombre de points pour déterminer la courbe.

Afin de faciliter le travail de l'opérateur un grand nombre de ces fonctions sont introduites directement par simple enfoncement d'une touche du pupitre de commande.

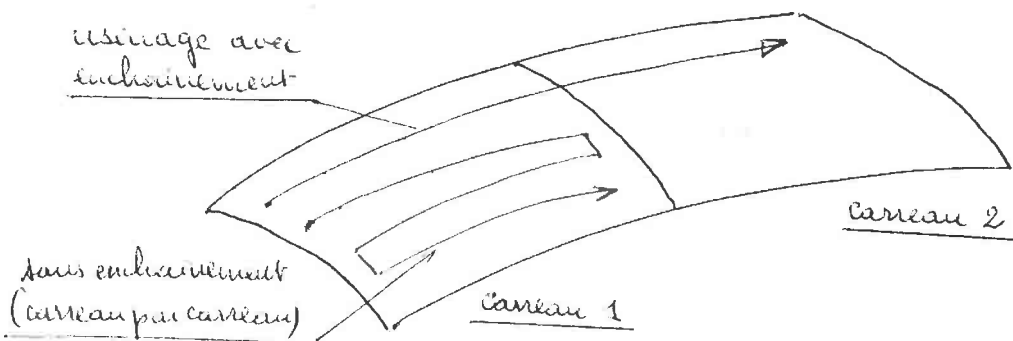
Ce système utilise une mémoire de 16K et il faut 4K supplémentaires par M.O. que l'on pourrait ultérieurement connecter.

4.3) Fraiseuse d'outillage

Dans ce cas ^{peut} un calculateur piloté une ^{peut} fraiseuse lourde. Les possibilités sont celles relatives au matériau tendre augmentées d'un certain nombre relatives à l'usage de matériaux dur. On dispose, en plus, de la correction d'outils toriques qui permettent un meilleur débit de copeau. Des renseignements relatifs à l'usage sont prélevés et gérés par le calculateur. La broche a été dessinée pour recevoir les capteurs nécessaires pour la commande adaptative, mais rien n'est encore bien défini dans ce domaine pour le moment.

L'entrée des informations se fait par ruban perforé, les données relatives à la définition l'usinage (sommets des polygones caractéristiques) utilisent des formats spéciaux, en prenant les créneaux laissés disponibles par la norme ISO.

On a la possibilité d'introduire les données de plusieurs carreaux de surface successifs et d'enchaîner l'usinage de l'un à l'autre, ce qui donne une meilleure utilisation de la machine



Un carreau peut être défini par un nombre de points variant de 16 à 40.

- 141

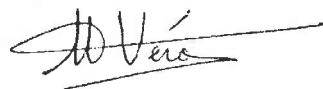
Pour Renault et Peugeot, le CNC ne se limite pas à ces systèmes assez spécifiques, mais la commande par calculateur doit apporter dans les ateliers une standardisation entre les différents équipements et permettre l'échange de programmes d'une M.O. à l'autre, ce qui est impossible avec des équipements câblés différents.

Ce point est particulièrement important pour les entreprises de sous-traitance qui pourront alors traiter et réaliser des pièces avec des programmes de provenance quelconque.

Conclusion

La commande numérique directe au niveau DNC est un stade vers lequel il faut tendre, mais il semble que dans un premier temps la conception CNC doit pouvoir apporter des avantages indéniables par sa souplesse d'utilisation, ses performances techniques et surtout sa faculté d'adaptation aux besoins réels de l'utilisateur.

Le CNC est le présent de la commande numérique.



2. février 73.

- [1] D. N. SMITH - La commande numérique en USA hier, aujourd'hui et demain.
Automatisme XVI - 1971, N° 67. p 513-13.
- [2] J. E. WILBURN - Future marriage of N.C and Computer Control.
Automation - janvier 1966 - p 73-55.
- [3] (sans auteur) Computer to control N/C machines - Automation - février 1967.
- [4] J. HAYES ET N. LIPSZYC - La régulation numérique DDC 1800: un système de
conduite automatique de processus industriel.
Automatisme XIII, 1968 - N° 11. p 576-581
- [5] J. CHERUY, E. TOURNIER, B. VOURRON. Identification de processus et
adaptation du corrélateur en contrôle numérique direct.
Congrès informatique AFCET - 1970 - XII - p 97-123.
- [6] M. GERHARD. Contrôle du haut fourneau par calculateur industriel.
Automatique et informatique - 1972 - N° 10, p 24, 25.
- [7] M. BARANY, B. SASS. Commande d'un processus dans l'industrie des
cigarettes. Automatisme XVI - N° 3. 1971, p 154-158.
- [8] B. ROBIN, R. MARCILLE. Conduite d'une tranche thermique de 250 MW par
ordinateur. Automatisme XVI N° 3. 1971, p 144-153.
- [9] T. PROCTOR. Bunker Ramo System 70. On line computer control.
17th Annual IEEE Machine Tool Conference. Cleveland, Ohio, oct. 1967
- [10] G. GARRATT. NC machine tools under direct computer control.
Machinery and Production Engineering - July 1969. p 2-9.
- [11] (Molins) Specifications Molins - System 24.
- [12] R. B. HARTE. Computers monitor machine tools.
Automation - June 1970 - p 67-73.
- [13] (sans auteur) New Computer Numerical control system.
Machinery - April 1970 p 90-91.
- [14] C. J. BURTON. Computer controlled machine tools.
Metalworking Production - March 1970 - p 53-58
- [15] C. H. WICK. Economical direct computer control for machine tools.
Machinery and production engineering - June 70 - p 973-76.

- [16] R.L. HATSCHER. MCS spotlight computer.
American Machinist - Mai 1970 p 124-125
- [17] W. DEYER, S. WALLER. Direct control of Numerically controlled Machine tools by a process computer. Siemens Review XXXVII-1970, 9, p 471-75.
- [18] C. SPUR, W. ADAM, W. WENTZ. System zur direkten Steuerung von NC-Werkzeugmaschinen durch einen Prozeßrechner.
Z. wirtsch. Fertigung. Allemagne - 1971 - tome 66, 3, p 115-121.
- [19] R.L. HATSCHER. Computer take control at Chicago show.
Metalworking Production - septembre 70 p 30-34.
- [20] M. VÉRON. Systèmes de commande directe présentés à l'exposition des M.C. de Chicago en septembre 1972.
Exposé au séminaire R10. ADEPA-CUCN - Nancy 31/11-1/12. 1972
- [21] G. DUREAU. Système hiérarchisé d'automatisation de fabrication - GATE. ISMCM - journées d'étude du 9 juin 71.
Mécanique. Mécatronique. Électricité. 1972 - N°266, p 37-40.
- [22] J. ROSENBERG. NC 1974. The opening door to productivity and profit.
Proceeding of the eight Annual Meeting and technical conference of the Numerical control society. - March 22-24. 1971 - Anaheim.
- [23] J. FLAS. Commande directe des machines outils par petits calculateurs. Exposé au séminaire R10 - ADEPA-CUCN. Nancy 31/11-1/12 1972.
- [24] L. EVANS. Optimal contouring control system for digital applications. Present and future techniques - Paper presented at the CIRP 3^d International seminar on optimization of Manufacturing Systems - Pisa - Italy - 24-25 - June 1971.
- [25] S. FLAS, J. BLOMMAERT. A stepping motor drive assembly especially designed for CNC systems. Paper presented at the XIIIth MTDR Conference of Birmingham - September 1972.
- [26] (Business Week) Computers move into the machine shop.
Business Week - septembre 1970.

- [27] G. SPUR, W. ADAM. Automatisierung des Datenflusses und Optimierung des Zerspannungsprozesses durch die Einsatz von Prozessrechnern. Paper presented at the congress held prior to the XXI general Assembly of the CIRP, Warsaw, April 71.
- [28] GORNET (RNUR)
EDOUARD
KILLIAN (PEUGEOT) Le CNC - Point de vue d'utilisateurs.
Reunion du 6.10.72 du groupe de travail de l'ADEPA
Commande numérique par calculateurs.
- [29] GORNET (RNUR)
PRESIROT (CII) Systeme developpe par Renault-Peugeot.
Expose au seminaire R 10 - ADEPA - CUEN - Nancy
31/11 - 1/12 - 1972
-

