

UNIVERSITE D'ALGER

8/77
200

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département d'électronique
et d'électrotechnique

Filière d'ingéniorat en électronique

PROJET DE FIN D'ETUDES

**ETUDE ET SYNTHÈSE DE L'UNITE
DE COMMANDE NUMERIQUE
D'UNE MACHINE - OUTIL**

Proposé par :

Mr. BOUSSEKSOU

Réalisé par :

BELARBI Khaled

RACHEDI Yacine

PROMOTION JUIN 1977

EXHIBIT 2
JULY 1918

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département d'électronique
et d'électrotechnique

Filière d'ingéniorat en électronique

PROJET DE FIN D'ETUDES

**ETUDE ET SYNTHÈSE DE L'UNITE
DE COMMANDE NUMERIQUE
D'UNE MACHINE - OUTIL**

Proposé par :

BOUSSEKSOU

Réalisé par :

BELARBI Khaled

RACHEDI Yacine

PROMOTION JUIN 1977

W. J. Johnson

EXHIBIT

W. J. Johnson

EXHIBIT

- DEDICACES -

"Je dédie cette présente thèse à :

- Les parents,
- mes frères et sœurs".

RACHEDI YACINE



- A mes parents,
- A mes sœurs .

BELARBI KHALED

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Monsieur Bousseksou pour nous avoir soutenu durant notre travail.

Nous remercions tous les professeurs qui ont contribué à notre formation

Nous remercions aussi tous nos amis et collègues pour la précieuse aide matérielle qu'ils nous ont apportée.

K . BELARBI

Y . RACHEDI

- SOMMAIRE -

AVANT PROPOS	P. 1
<u>PREMIERE PARTIE:GENERALITES SUR LA COMMANDE NUMERIQUE:</u>	P. 2
INTRODUCTION	P. 2
<u>CHAPTI /PRINCIPES THEORIQUES DE LA COMMANDE NUMERIQUE</u>	P. 3
<u>CHAPTII/INSTRUCTIONS DE TRAVAIL ET PROCESSUS A METTRE EN CEUVRE POUR L'OBTENTION D'UNE PIECE EN C.N</u>	P. 6
<u>CHAPTIII/TRAITEMENT EXTERNE DES INFORMATIONS</u>	P: 8
<u>CHAPTIV/TRAITEMENT INTERNE DES INFORMATIONS</u>	P.13
<u>DEUXIEME PARTIE:SYNTHESE DE L'UNITE DE COMMANDE:</u>	P.28
INTRODUCTION	P.28
<u>CHAPTI /RAPPELS SUR LES CIRCUITS LOGIQUES</u>	P.29
<u>CHAPTII/LES DONNEES DE DEPART</u>	P.41
<u>CHAPTIII/STRUCTURE GENERALE DE L'UNITE D'USINAGE</u>	P.49
<u>CHAPTIV/ MEMOIRE</u>	P.51
<u>CHAPT.V/L'UNITE DE PROGRAMMATION DES INSTRUCTIONS</u>	P.58
<u>CHAPT.VI/L'UNITE DE SEQUENCEMENT DES PHASES D'INSTRUCTIONS</u>	P.64
<u>CHAPT.VII/LA CHAINE DE COMPTAGE</u>	P.83
<u>CHAPT.VIII/REMARQUES TECHNOLOGIQUES</u>	P.84
<u>CHAPT. IX/PROTECTION CONTRE LES PARASITES</u>	P.87
CONCLUSION GENERALE	P.90

AVANT PROPOS

L'évolution des automatismes industriels tend à révolutionner les modes de production. En effet l'utilisation des systèmes commandés à distance, programmables, permet d'améliorer un certain nombre de paramètres comme la rapidité d'exécution, la précision.... Parmi ces systèmes figure la commande numérique des machines-outils qui sera justement le sujet que nous proposons d'étudier dans ce recueil.

Cet ouvrage a été scindé en deux parties qui, bien que nettement séparées, ne peuvent aller l'une sans l'autre dans le contexte du projet de fin d'études.

En effet la première partie est une suite de points de repères sur la commande numérique des machines-outils: définitions, mode de fonctionnement, description des éléments constitutifs... Elle permettra au lecteur qui ne connaît pas le problème de s'en faire une idée.

La deuxième partie présentera la synthèse logique d'une unité de commande numérique pour fraiseuse paraxiale pouvant être équipée pour réaliser des perçages, des alésages et des taraudages. Le déplacement des différents axes de la fraiseuse se fait en point à point. Cette partie est effectivement le but de ce projet. Nous avons effectué cette synthèse à l'aide de la méthode des organigrammes, organigrammes que nous avons établis compte tenu des caractéristiques de la machine-outil; en effet, la synthèse d'une machine logique complexe ne saurait se faire d'après les méthodes classiques (tables de Karnaugh, Huffmann...) celles-ci n'interviendront qu'à la fin lors de l'élaboration des différents blocs constitutifs de l'unité de commande.

Dans les derniers chapitres de cette seconde partie, nous évoquerons les problèmes que posent en pratique de tels automatismes et nous essayerons de présenter un mode de réalisation concret à l'aide de circuits intégrés numériques TTL.

PREMIERE PARTIE:GENERALITES SUR LA COMMANDE NUMERIQUE:

INTRODUCTION	P.2
<u>CHAPT.I</u> /PRINCIPES THEORIQUES SUR LA COMMANDE NUMERIQUE	P.3
I-1:Définition	P.3
I-2:Classification des commandes numériques	P.3
<u>CHAPT.II</u> /INSTRUCTIONS DE TRAVAIL ET PROCESSUS A METTRE EN CEUVRE POUR L'OBTENTION D'UNE PIECE EN C.N	P.6
II-1:Analyse du flux des instructions	P.6
II-2:Analyse du processus de commande numérique	P.6
<u>CHAPT.III</u> /TRAITEMENT EXTERNE DES INFORMATIONS	P.8
III-1:Langage-machine	P.8
III-2:Codes utilisés	P.9
III-3:Description de la bande perforée	P.10
III-4:Introduction des données	P.11
<u>CHAPT.IV</u> /TRAITEMENT INTERNE DES INFORMATIONS	P.13
IV-1:Méthodes de mesures numériques(absolues et relatives)	P.14
IV-2:Méthodes de mesures analogiques	P.21

PREMIERE PARTIE :

INTRODUCTION :

La machine-outil est un système qui permet le déplacement d'un outil au moyen d'une transmission motorisée.

Le but de l'usinage sera alors de façonner un produit à la forme requise et aux dimensions demandées.

La machine-outil sera réglée et dirigée par un ouvrier, suivant les instructions relatives à la pièce demandée (vitesses d'avance et de coupe, déplacements).

Les premières machines-outils mettaient en valeur l'habileté manuelle de l'ouvrier, le travail s'effectuant par approches successives, suivies chacune d'une mesure de la pièce.

Plus la forme de la pièce est complexe, plus le travail de l'ouvrier devient dur et fastidieux. C'est ainsi que, par exemple, certaines pièces d'avion ont des profils tellement tourmentés qu'il n'est plus possible de les réaliser par les méthodes traditionnelles. Pour affronter cette difficulté, un constructeur d'avion eut l'idée, en 1943, d'automatiser les mouvements de la machine-outil.

L'étude fut livrée au M.I.T (Massachusetts Institute of Technology) qui réalisa la première commande numérique. Dans ce procédé, la machine n'est plus commandée par un ouvrier, mais par un " directeur de commande électronique ".

CHAPITRE I : PRINCIPES THEORIQUES DE LA COMMANDE
NUMERIQUE

I-1:DEFINITION:

La commande numérique est un processus d'automatisation dans lequel les déplacements sont commandés par un ordre sous forme d'instructions numériques codées. Il y a lieu donc de distinguer la machine elle-même (support pièce et support d'outil) des organes d'entraînement des parties mobiles (table porte-pièce ou support d'outil) et le directeur de commande numérique qui reçoit et transmet les données à la machine en agissant sur les dispositifs d'entraînements des organes mobiles. Les ordres sont reçus sur un support d'informations (bande ou carte perforées, bandes magnétiques, bouton-poussoir,....)

I-2:CLASSIFICATION DES COMMANDES NUMERIQUES

Il existe deux possibilités de classification des C.N:

I-2-I:Classification selon l'utilisation

Il est possible de classer les machines-outil à commande numérique en deux grandes catégories:

I-2-I-1: Les machines pour lesquelles il importe uniquement de rechercher un positionnement d'outil et de pièce selon les cotes définies, l'itinéraire du chemin parcouru étant sans importance. L'outil ne travaille jamais pendant les déplacements. Ce sont les machines dites "machines point à point" ou "à commande discontinue". C'est le cas de toutes les machines opérant de façon discontinue: perceuses, aléseuses, taraudeuses,....) Si, dans ce cas, tous les déplacements sont bloqués sauf un, et que la vitesse est bien réglée, on peut les utiliser pour l'usinage parallèle aux axes de la machine; on aura donc affaire à une machine à commande numérique peraxiale; l'outil peut travailler pendant les déplacements suivant cet axe.

I-2-I-2: Les machines pour lesquelles il est exigé de conduire l'organe mobile le long d'une trajectoire. Une coordination entre les déplacements est donc nécessaire; le chemin parcouru passe par des points courants de la trajectoire théorique suffisamment nombreux pour que l'on puisse être assuré de ce que la trajectoire réelle ne s'en écarte jamais d'une distance su-

-périeure à la tolérance. Le calcul de la trajectoire peut se faire à l'aide d'une calculatrice de bureau ou d'un ordinateur. Ces machines sont dites " machines à commande continue , ou de trajectoire ou de contourage ". C'est le cas des machines destinées à générer un profil ou une surface: fraiseuses, tours,). Dans cette catégorie de machines, il existe des problèmes importants de traitement de l'information puisque il faut manipuler les coordonnées d'un grand nombre de points. Elles sont plus complexes et plus coûteuses que celles de la première catégorie.

Les informations sont données sous une forme discrète dont la juxtaposition définit un contour polygonal inscrit dans la trajectoire réelle; les organes d'action de la machine ne peuvent s'accomoder de discontinuité d'un contour polygonal. Il faut donc procéder à des calculs d'interpolation; on utilise un calculateur d'interpolation qui est incorporé à la machine.

I-2-2: Classification selon la technique de fonctionnement

I-2-2-I: Fonctionnement en boucle ouverte

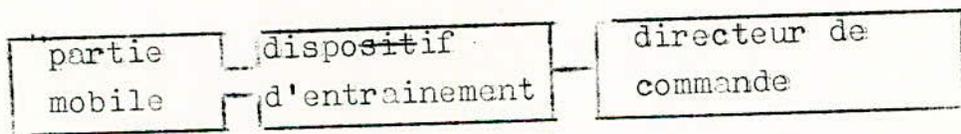


Fig I-I: Schéma élémentaire d'un tel fonctionnement

Le moteur qui entraine la partie mobile tourne d'un angle $\Delta\varphi$ à chaque impulsion électrique reçue. Si cette rotation $\Delta\varphi$ introduit le déplacement nécessaire d'une manière certaine et si le nombre d'impulsions et leurs fréquences déterminent la vitesse nécessaire, le système serait idéal et simple. Les organes d'entraînement qui répondent à cette condition sont les moteurs pas à pas, mais le fonctionnement de ces dispositifs n'est pas très sûr et on ne les utilise par conséquent presque jamais.

I-2-2-2 Fonctionnement en boucle fermée :

Considérons la figure I-2 qui représente le schéma élémentaire d'un tel fonctionnement :

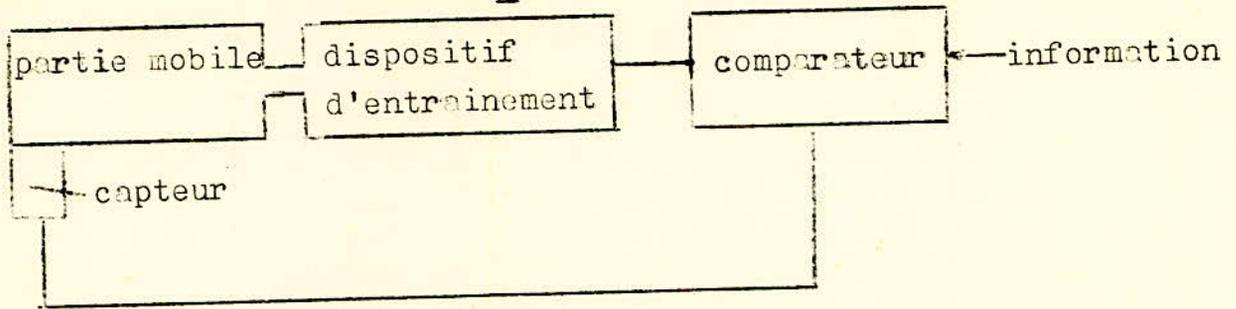


Fig.I-2 schéma élémentaire du fonctionnement en boucle fermée .

On associe à la partie mobile ^{un dispositif} pour mesurer le parcours. A chaque instant la position actuelle est comparée à la position désirée: lorsqu'il y a égalité, le comparateur applique un ordre d'arrêt au moteur.

Lorsqu'une machine à commande numérique comporte plusieurs axes de commande, elle ^{en} comporte autant de boucles indépendantes.

CHAPITRE II: INSTRUCTION DE TRAVAIL ET PROCESSUS AMETTRE EN ŒUVRE POUR L'OBTENTION D'UNE PIÈCE EN CN

Pour l'obtention d'une pièce en commande numérique, il s'agira de grouper les instructions relatives à cette pièce et d'amorcer un processus qui nous conduira du dessin de la pièce jusqu'à sa transcription en programme machine sur un support d'information (bande perforée, bande magnétique, disque magnétique...)

II-I: ANALYSE DU FLUX D'INFORMATIONS

On peut diviser ces informations en deux groupes

II-I-1: Données de forme

Elles permettent de définir la géométrie de la pièce et comportent des informations relatives aux déplacements des organes mobiles suivant les axes de mouvement de la machine (exemple: X, Y, Z). Ces déplacements sont en rapport direct avec les cotes de la pièce à réaliser.

II-I-2: Données technologiques

Elles décrivent le mode opératoire. Ce sont les données indiquant les ^{vitesse} de travail (vitesse de la rotation de la broche, vitesse d'avance de la broche), démarrage et arrêt du moteur, mise en route de l'arrosage, choix de l'outil, déclenchement d'un cycle d'usinage.

II-2: ANALYSE DU PROCESSUS DE COMMANDE NUMERIQUE

La machine-outil peut être englobée dans un système de traitement de l'information. Ce système nous conduira, des données relatives à la pièce jusqu'à l'exécution de cette dernière. La figure II-1 nous décrit ce processus:

Le traitement externe des informations consiste à l'acquisition des données par le programmeur et à l'élaboration de la bande support d'information.

Le traitement interne, qui se fait dans le directeur de commande, consiste à enregistrer sur le lecteur les différentes informations reçues sur bande dans des mémoires électroniques, à aiguiller chaque instruction vers le lieu où elle doit être traitée et à déclencher chaque processus au moment voulu.

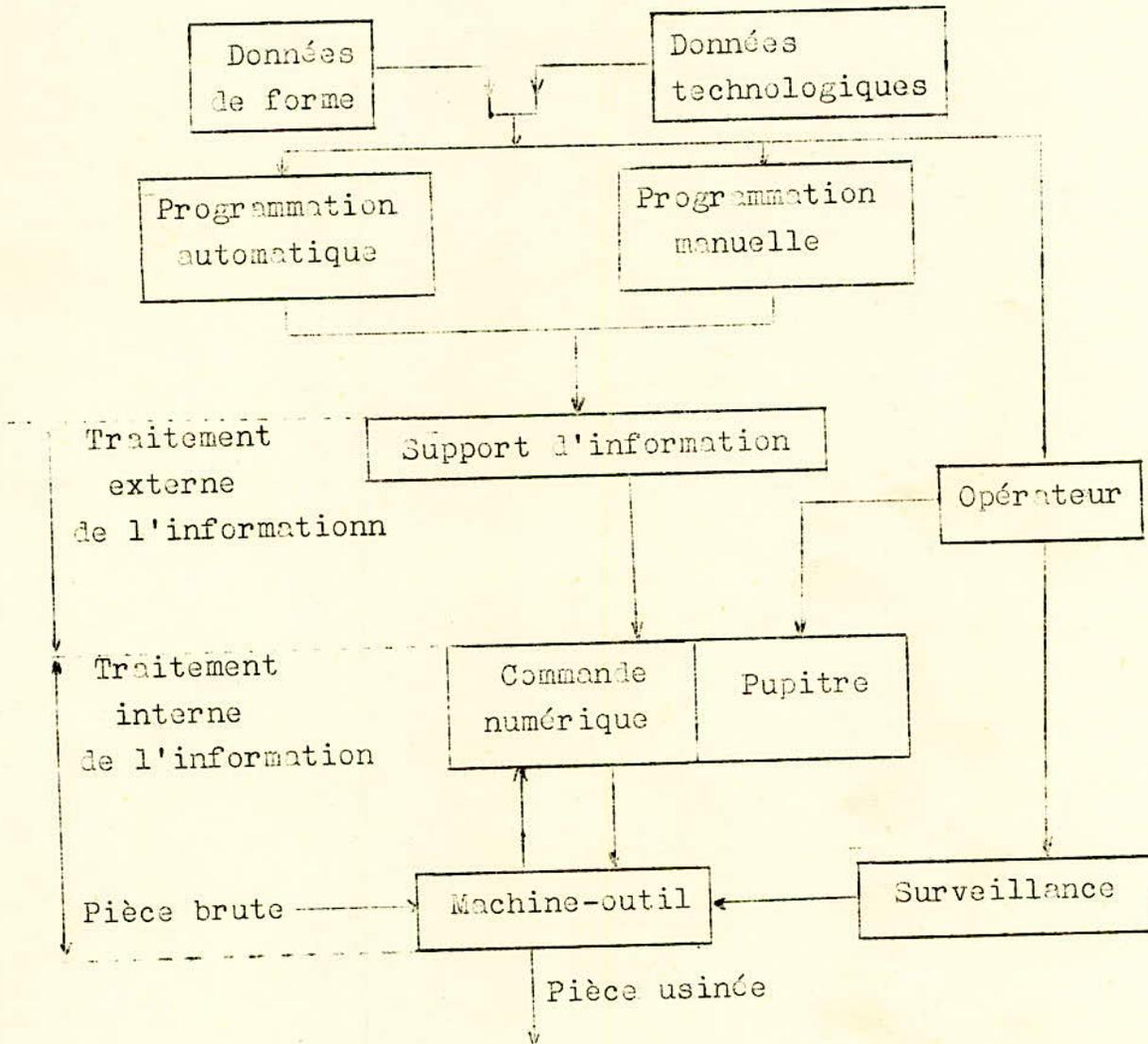


Figure II-I:
Processus à mettre en oeuvre pour l'obtention
d'une pièce en commande numérique.

CHAPITRE III : TRAITEMENT EXTERNE DES INFORMATIONS

Comme on l'a vu précédemment, le traitement externe des informations consiste à préparer le support d'information en analysant toutes les données relatives à l'exécution d'une pièce. Les informations sont transmises à la machine sous forme codée. Le code est réalisé d'après le langage machine. Il s'agira donc de définir le langage machine.

III-I LANGAGE MACHINE

Le langage machine est composé de mots. Chaque ^{mot} est composé de deux parties distinctes:

III-I-I La lettre adresse

Cette lettre ne sert qu'aux dispositifs électro-niques de commande numérique. Elle sert en effet à ouvrir des portes électroniques pour introduire la 2^{ème} partie du mot à l'endroit convenable. Il existe donc, directement derrière les circuits électroniques du lecteur de bande perforée, un réseau décodeur reconnaissant les codes propres aux lettres adresses nécessaires à l'équipement.

On distingue les adresses cotées qui représentent les axes du mouvement; elles sont suivies donc d'un signe qui indique le sens de déplacement de la partie mobile correspondant à l'axe considéré; et les adresses non cotées qui définissent les diverses fonctions: usinage, outils, n^o du bloc, fonctions de préparation, vitesses .

III-I-2 Les chiffres

Ils déterminent les mouvements ou les opérations de la machine. Ils suivent la lettre adresse; derrière l'adresse cotée, ils donnent la coordonnée du point à atteindre; derrière une adresse non cotée, ils peuvent donner la valeur d'une

vitesse, le n° d'un outil, etc....

Ces chiffres sont donc aiguillés grâce à la lettre adresse.

Remarques : -Les signes + ou - indiquent le sens de déplacement et viennent toujours derrière la lettre adresse cotée.

-Les parenthèses indiquent que l'instruction qui s'y trouve n'est pas prise en considération par la machine.

-Les lettres adresses changent souvent d'un constructeur à un autre ; notons cependant, qu'en général les lettres X, Y et Z désignent les axes de déplacement et permettent d'introduire les cotes dans la mémoire du directeur de commande.

Une instruction élémentaire est donc définie par une adresse cotée ou non cotée suivie d'un chiffre.

"X + 3000" signifiera, par exemple, que le chariot devra se déplacer, suivant l'axe des X et dans le sens positif défini, de la valeur 3000 centièmes de mm si le pas de la vis est au centième de mm.

"T 04" indiquera qu'il faudra choisir l'outil n°4.

"X + 3000" et "T 04" sont des mots en langage machine.

III-1-3: Un bloc est composé de plusieurs mots. Il constitue l'ensemble des informations correspondant à une même phase d'usinage et qui, en conséquence, sont interprétées par le système de commande au cours d'une même séquence.

La distribution des informations à l'intérieur d'un bloc caractérise "le format". Ce format peut être fixe ou variable: Dans le 1^{er} cas, les mêmes informations occupent toujours la même position relative par rapport à l'origine du bloc d'informations. Dans le 2^{ème} cas, certaines informations intermédiaires peuvent ne pas être utilisées; ce qui entraîne un décalage des suivantes et nécessite l'emploi, aux fins d'identification de ces dernières, d'une adresse d'ailleurs réduite à une simple lettre clé.

III-2 CODES UTILISES

Pour transcrire ces informations sur bande perforée,

on utilise des codes. En voici les plus utilisés:

III-2-1 Code EIA (Electronic Industries Association)

Ce code est utilisé aux USA.

Il contient 6 bits à parité impaire. Un 7^{ème} bit est utilisé pour caractériser le caractère CR/EOB (retour chariot/fin de bloc). Il prend alors la valeur 1.

Les chiffres décimaux allant de 0 à 9 sont représentés en codes binaire naturel par l'ensemble de 4 bits des ordres inférieurs, dont les poids sont respectivement 8, 4, 2, 1.

III-2-2 Code ISO (International Standard Organisation)

Ce code est utilisé en Europe.

Il s'impose universellement aux autres codes. Il est né d'une normalisation destinée à permettre une interchangeabilité entre les machines de caractéristiques compatibles.

Il est constitué de 8 bits qui se répartissent comme suit:

- 4 premiers bits permettent d'écrire chaque nombre en binaire naturel,

- Le bit 5 permet un contrôle de parité (la parité est paire)

- Les bits 6 et 7 permettent de différencier les chiffres et les lettres,

- Le bit 8 contribue également à définir 3 informations différentes.

III-3 BANDE PERFORÉE

La bande est faite d'un ruban de papier ou quelquefois de matière plastique. Sa largeur est normalisée à 1 pouce (2,54 cm). Sur cette largeur sont réparties 9 pistes (on dit également canaux) écartés l'un de l'autre de 0,1 pouce. On distingue sur cette largeur:

- des perforations de 1,8 mm de diamètre sur les pistes matérialisées; elles sont réservées à l'information; elles peuvent donc exister ou non.

- des perforations de 1,2 mm de diamètre, obligatoires sur la piste non matérialisée; elles assurent l'entraînement de la bande perforée. La figure III-1 montre la disposition de ces pistes.

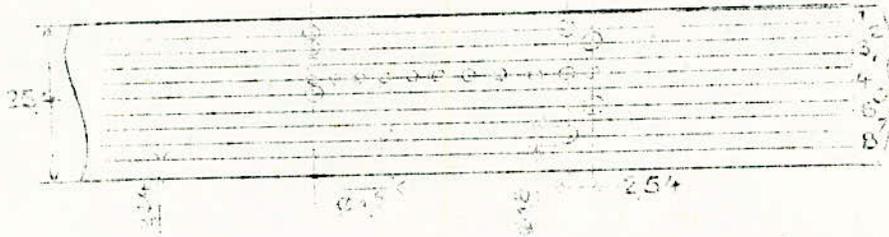


Figure III-I: Description d'une bande perforée.

III-4: INTRODUCTION DES DONNEES

III-4-1: Introduction manuelle

Les informations sont introduites manuellement à l'aide de boutons poussoirs disposés sur le pupitre du directeur de commande.

III-4-2: Introduction automatique

Elle se fait à l'aide de bande perforée ou bande magnétique... Elle nécessite donc une programmation préalable. Selon la quantité d'information, la programmation peut être manuelle ou automatique.

III-4-2-1: Programmation manuelle

Le programmeur groupe toutes les données nécessaires à l'exécution des pièces, les traduit en langage machine et, à l'aide d'une machine à écrire couplée à une perforatrice procède à la perforation de la bande.

III-4-2-2: Programmation automatique

Elle se fait à l'aide d'un ordinateur, elle est surtout utilisée dans la commande par contourage où le flux d'information est très dense. Le processus est le suivant:

- Etude du dessin qui doit définir la forme et donner les dimensions de la pièce,
- Rédaction de la feuille de préparation pour l'ordinateur en langage symbolique. Les langages symboliques utilisés sont l'EXAPT, ADAPT; ils sont similaires au FORTRAN pour les calculs mathématiques.

L'ordinateur procède aux calculs de déplacements, aux changements d'axes, à la génération du langage machine et à la perforation de la bande.

Note sur les systèmes à programmation absolue et relative

Les systèmes à programmation absolue sont ceux auxquels on délivre les ordres de mise en position sous forme de coordonnées des points qui représentent les destinations relatives du mobile.

Les systèmes à programmation relative sont ceux auxquels on délivre les ordres de mise en position sous forme de composantes du déplacement à opérer à partir d'une position occupée pour gagner la suivante.

CHAPITRE IV : TRAITEMENT INTERNE DES INFORMATIONS

Le traitement des informations consiste à déclencher chaque processus au moment voulu et surtout à veiller à ce que les déplacements soient correctement exécutés. Pour ce faire, la position actuelle du mobile est mesurée et comparée à tout instant à la valeur programmée. La mesure de déplacement est effectuée par des dispositifs appelés "capteurs de mesure", tandis que les comparateurs comparent la position actuelle du mobile à la valeur programmée.

On classe les méthodes de mesure et comparaison en deux catégories:

- Les méthodes numériques,
- Les méthodes analogiques.

Nous allons, dans ce qui suit, décrire quelques méthodes numériques et analogiques appliquées au fonctionnement point à point. Dans le cas du fonctionnement en contournage, d'autres problèmes s'ajoutent à la mesure et au contrôle du déplacement nous en parlerons brièvement dans un dernier point.

IV-I METHODES DE MESURES NUMERIQUES

Les méthodes numériques se subdivisent en 2 groupes : -les méthodes numériques incrémentales ou relatives
-les méthodes numériques absolues.

IV-I-I Méthodes numériques incrémentales :

IV-I-I-I Principe

Le parcours du chariot est subdivisé en éléments unitaires Δl ; à chaque fois que le chariot se déplace de Δl , le capteur envoie une impulsion électrique au comparateur. Ces impulsions sont comptées ou décomptées par un système compteur. Dans un 1^{ier} point nous décrirons quelques types de capteurs et dans un 2nd point les comparateurs associés à ces capteurs.

IV-I-I-2 Capteurs

On subdivise les capteurs en 2 catégories:

A) Les capteurs rotatifs:

Ils sont entraînés soit par la vis de commande du déplacement, soit par un autre dispositif. Nous en décrirons deux types:

-Les capteurs rotatifs photoélectriques: ils utilisent des photodiodes dont l'éclairement est obtenu à l'aide d'une lampe à incandescence à filament. Une échelle circulaire est subdivisée en parties opaques et parties transparentes; à chaque fois qu'une partie transparente se présente devant la lampe, la photodiode envoie une impulsion électrique (cf fig IV-a)

-Les capteurs inductifs à effet HALL: ils exploitent l'effet Hall. Un matériau semi conducteur placé dans un champ magnétique et alimenté convenablement, délivre à ses bornes de sorties une tension qui varie avec le champ qui le traverse.

B) Les capteurs linéaires:

Dans ce groupe on utilise en pratique que les capteurs photoélectriques. Le principe est le même que pour les capteurs rotatifs photoélectriques à la seule différence que l'échelle est linéaire (cf fig IV-b).

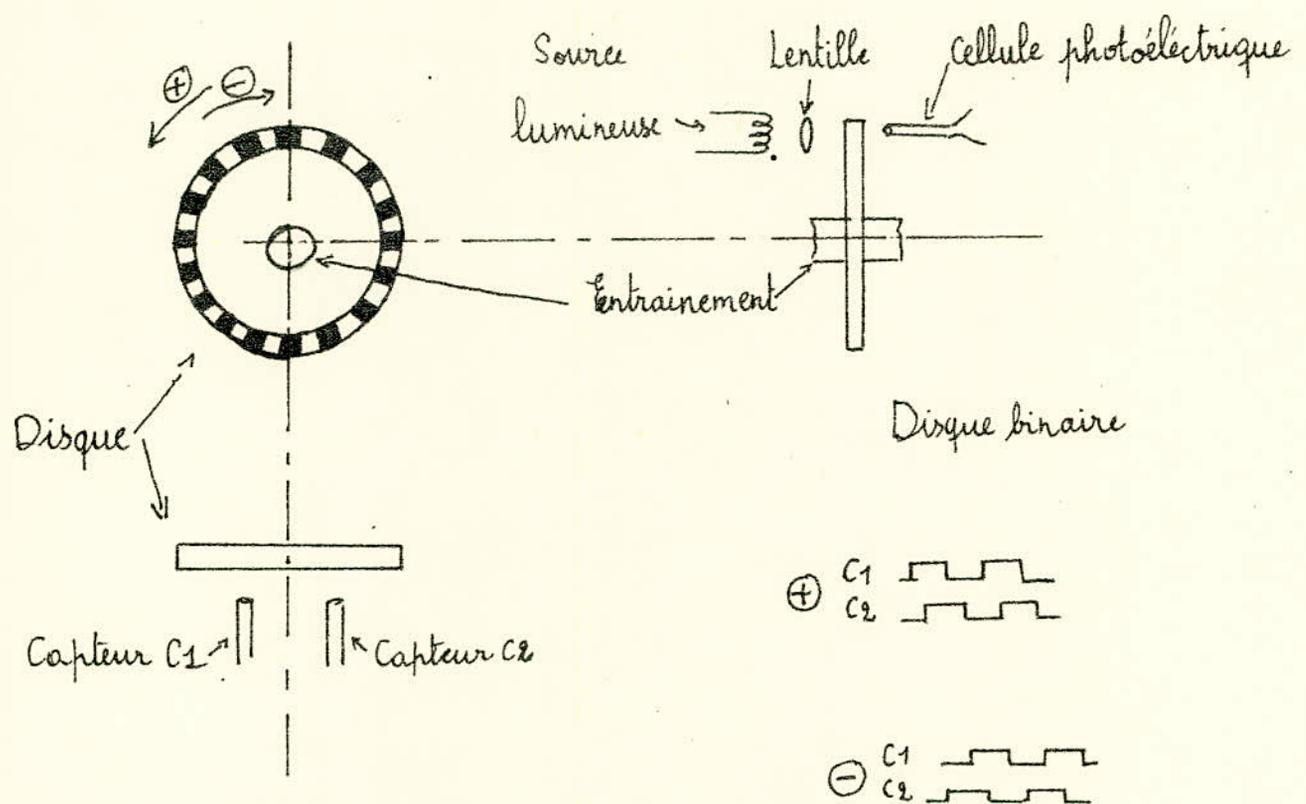


Fig. IV. A Capteur incrémental photoélectrique rotatif

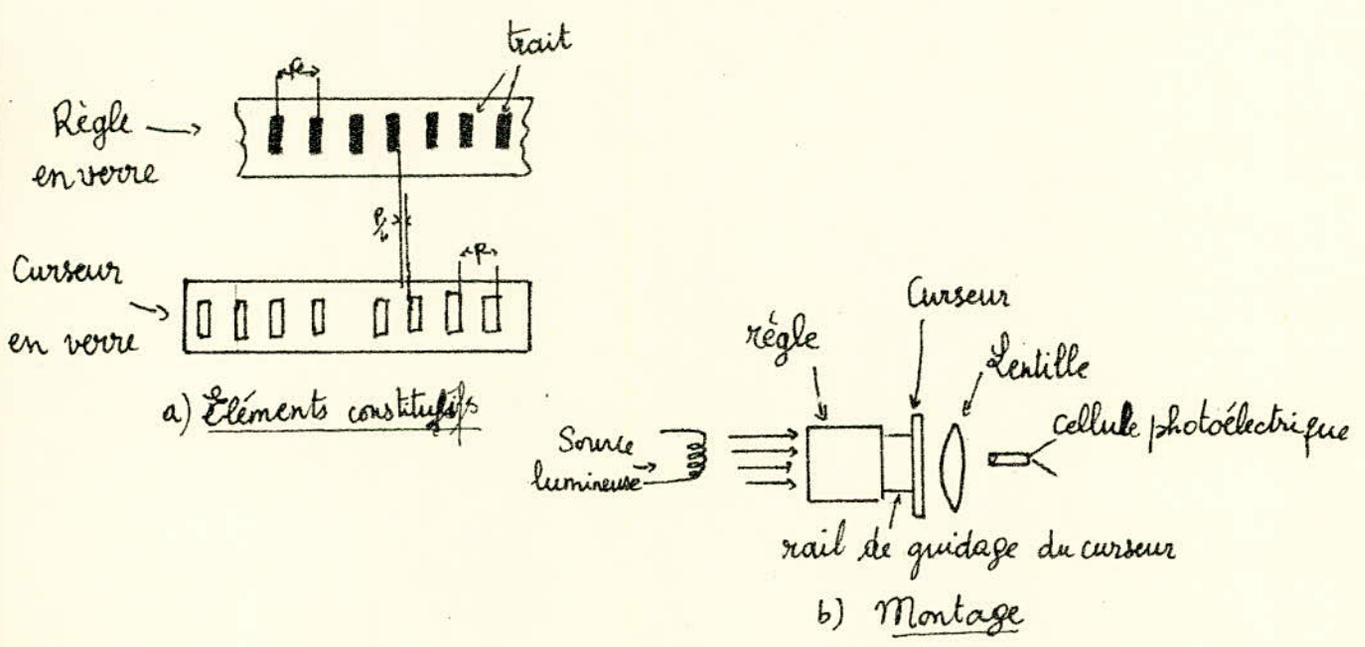


Fig. IV. B Capteur incrémental photoélectrique linéaire

IV-I-1-3 Comparateurs pour méthodes incrémentales

On distingue deux méthodes de comparaison:

A) Les décompteurs prédéterminés:

Les décompteurs sont prédéterminés par l'ordre transmis par le support d'information. La prédétermination consiste à afficher sur le décompteur un état de départ correspondant à la cote à atteindre, celui-ci décomptera les impulsions qu'il reçoit du capteur, arrivé à l'état 0 le décompteur envoie un signal indiquant que la cote est atteinte qui arrêtera le moteur. On voit qu'il est facile d'introduire une correction d'outil avec la cote.

B) Les compteurs suivis de comparateurs:

Les impulsions sont envoyées directement dans un compteur-décompteur qui affiche la position actuelle du mobile, celle-ci est comparée à la cote désirée à l'aide d'un comparateur numérique qui indiquera laquelle des deux valeurs est plus grande, plus petite ou si elles sont égales et commandera le moteur en conséquence.

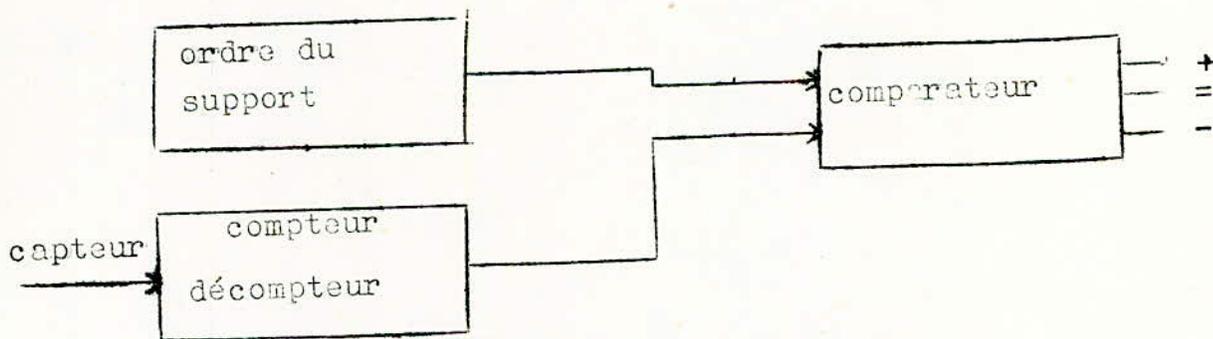


Figure IV-I: Schéma de principe d'un dispositif de comparaison relatif au B)

IV-I-2 Méthodes numériques absolues :

IV-I-2-I Principe

On subdivise la piste de course^{de} la partie mobile en éléments unitaires Δl , chacun est coté d'après la position qu'il occupe, ce qui revient à graduer cette piste, la graduation s'effectue en code binaire. Ce procédé a deux avantages

principaux:

-Insensibilité vis à vis des parasites.

-Possibilité de connaître à tout instant la position de la partie mobile, même en cas de coupure de l'alimentation.

IV-I-2-2 Les capteurs:

On distingue les capteurs rotatifs et les capteurs linéaires. On ne décrira que les capteurs linéaires. Les capteurs linéaires sont formés d'une règle graduée en binaire. La partie correspondante au chiffre binaire I est transparente, celle correspondante au 0 est opaque (figure IV-2) dans le cas des capteurs photoélectriques.

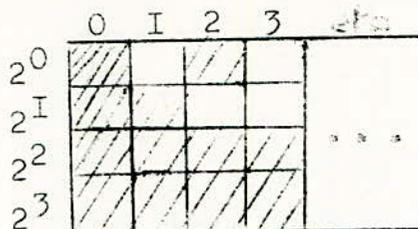


Figure IV-2: Exemple d'une règle graduée en binaire pur.

Le choix du code joue un rôle déterminant dans les performances du capteur associé.

Le problème majeur réside dans l'ambiguïté aux frontières. En effet, dans certains codes le passage d'une position à une autre, peut donner lieu à des erreurs grossières. Par exemple pour le code binaire pur, le passage de 7 (OIII) à 8 (I000) peut donner lieu à la lecture soit 0000 (Tout sombre) ou IIII. (tout éclairé); en effet aucune partie ne sera éclairée ni franchement ni pas du tout. On a recours alors à des méthodes plus élaborées qui permettent de lever le doute.

A-Utilisation des codes binaires réfléchis

Dans ces codes, le passage d'une position à une autre se fait par changement d'un seul digit, c'est pourquoi, on les appelle codes "progressifs". Seulement, ces codes posent des problèmes de décodage car ce ne sont pas des codes pondérés; ils se prêtent mal aux traitements de l'information.

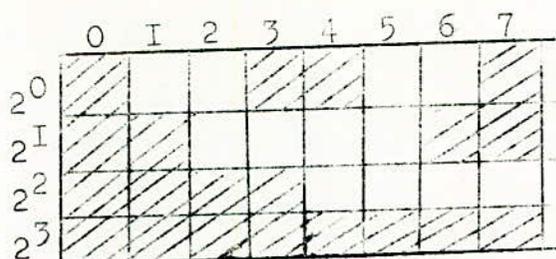


Figure IV-3: Exemple d'une règle graduée en binaire réfléchi

B- Méthode de lever de doute par les balais en V

On dispose 2 balais par piste de lecture sauf pour celle de poids le plus faible où on jmet un seul. Leur disposition relative est telle que, lorsqu'un balai lit un "0", le digit de poids le plus élevé sera lu par le balai qui se trouve vers les niveaux les plus élevés et, lorsqu'un balai lit un "1", le digit de poids immédiatement plus élevé sera lu par le balai qui se trouve vers les niveaux moins élevés.

Ce système présente l'inconvénient de multiplier par 2 le nombre d'organes de lecture d'une part et d'autre part il y a une complication due aux organes de sélection.

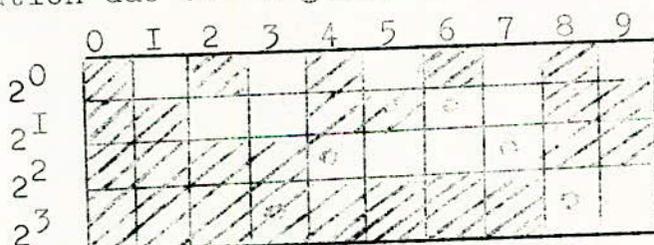


Figure IV-4: Disposition des balais de lecture pour la méthode de double lecture.

IV-I-2-3: Comparateurs pour les méthodes de mesures absolues:

La position du mobile est envoyée au comparateur sous forme d'un nombre codé, le comparateur dispose en outre du nombre binaire indiquant la cote à atteindre. Entre le capteur et le comparateur on intercale, dans le cas où la règle est graduée en binaire réfléchi, un dispositif transcodeur pour passer du binaire réfléchi au binaire naturel; les codes binaires réfléchis se prêtant mal au traitement de l'information.

Les comparateurs utilisés sont du type classique, en général à fonctionnement parallèle. On distingue les comparateurs fournissant deux signaux qui indiquent l'égalité ou la différence des deux nombres binaires comparés, ils sont appelés comparateurs sans discrimination de sens et les comparateurs qui indiquent l'égalité, l'infériorité ou la supériorité en les deux nombres binaires comparés, ils sont dits comparateurs avec discrimination de sens.

A-Comparateurs sans discrimination de sens:

C'est un système combinatoire simple. Soit deux chiffres binaires a et b . Si $a=b$ $E=1$

Si $a \neq b$ $E=0$

E étant le signal de sortie du comparateur.

La figure IV-5 représente le schéma logique d'un comparateur de deux chiffres binaires. Pour les nombres à plusieurs bits, les bits du même ordre sont comparés à l'aide de la cellule de la figure IV-5, on aura donc une structure répétitive.

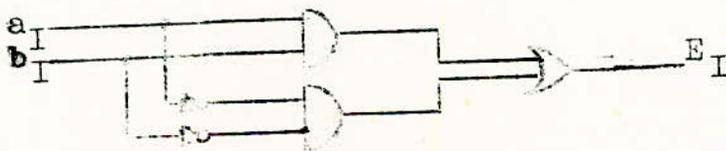


Figure IV-5: Cellule élémentaire d'un comparateur sans discriminateur de sens

B- Comparateur avec discriminateur de sens:

Il a deux sorties INF et SUP :

Soit deux chiffres binaires a_I et b_I

Si $a_I = b_I$ INF = SUP = 0

Si $a_I < b_I$ INF = 1 SUP = 0

Si $a_I > b_I$ INF = 0 SUP = 1

La figure IV-6 donne le schéma d'un tel comparateur pour deux nombres binaires à deux bits chacun.

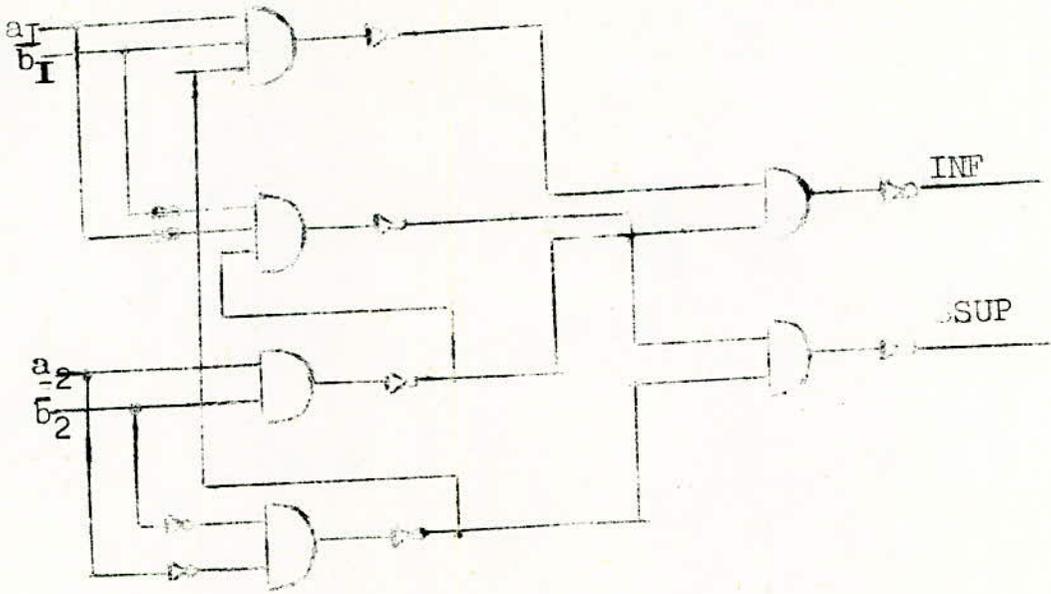


Figure IV-6: Comparateur avec discriminateur de sens:

IV-I-3: Problèmes posés par les méthodes numériques:

IV-I-3-I: Cas des méthodes incrémentales:

Le problème majeur de ces méthodes est dû aux impulsions parasites. L'une des nécessités essentielles sera donc l'élimination de ces impulsions parasites; elles peuvent avoir deux origines:

-Vibrations de la machine-outil,

-Parasites électriques dues aux branchements de force.

On peut les éliminer d'une part en isolant mécaniquement la machine et en éloignant le système de mesure de la machine d'autre part en utilisant un dispositif de logique qui ne laissera passer que les impulsions issues du capteur.

IV-I-3-2: Cas des méthodes absolues:

Les méthodes absolues entraînent toujours une complication de l'appareillage associé que ce soit dans le cas de la méthode des doubles balais ou dans le cas de l'utilisation des codes binaires réfléchis (problèmes de transcodage, dédoublement des organes de lecture et complication due aux organes de sélection.

IV-2: LES METHODES ANALOGIQUES:

On sait que les méthodes analogiques sont généralement caractérisées par une plus grande simplicité que les méthodes numériques; elles ont, par ailleurs, l'avantage de fournir des indications variant de façon continue. Les grandeurs analogiques utilisées le plus souvent sont une tension électrique, un angle de déphasage entre deux tensions alternatives, une fréquence.

Les ordres numériques provenant du ruban perforé sont transformés en signaux analogiques par un convertisseur numérique analogique. Nous décrirons, dans les points suivants quelques méthodes de mesure analogique, les procédés de comparaison associés, enfin nous terminerons par un bref aperçu sur les modes de conversion numérique-analogique.

IV-2-I: Méthodes de mesure:

Les capteurs utilisés peuvent être des transducteurs tournants ou linéaires. Nous allons décrire quelques uns de ces types de capteurs.

IV-2-I-I: Transducteurs tournants

A- Capteurs potentiométriques: Le procédé le plus simple pour mesurer un déplacement angulaire est probablement celui qui consiste à traduire le déplacement en une tension électrique variable par l'intermédiaire d'un capteur potentiométrique alimenté sous une tension constante. Rappelons que l'utilisation de deux capteurs potentiométriques semblables traduisant, le premier la position effective d'un organe tournant, le second la position prescrite permet de réaliser très simplement un comparateur.

B) Transducteur à effet électromagnétique: Ces transducteurs ou synchronismes sont des détecteurs de position angulaire utilisant des effets électromagnétiques. Leur construction rappelle celle des moteurs à courant alternatif: entrefer constant, encoches régulièrement réparties le long du stator et du rotor. Ils ont la propriété, lorsqu'ils sont connectés à un réseau alternatif, de transmettre des tensions polypha-

sées symétriques dont l'amplitude ne dépend que du décalage du rotor par rapport au stator.

C) Résolveurs: Ce sont des petites machines tournantes généralement composées d'un stator à deux enroulements primaires à axes orthogonaux et d'un rotor à deux enroulements secondaires orthogonaux.

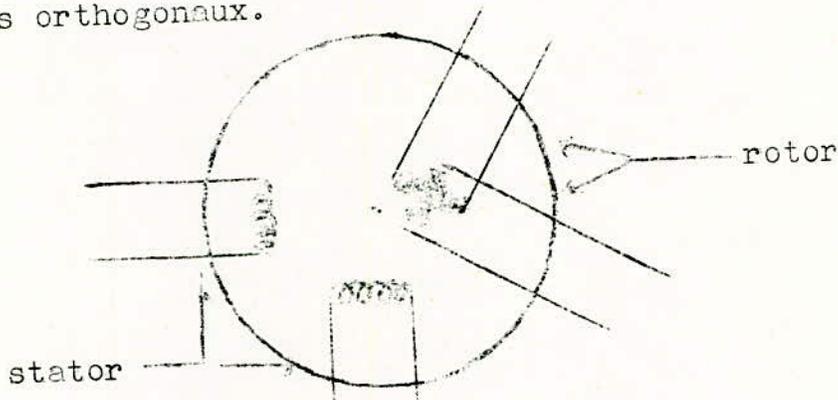


Figure IV-7: Schéma de principe d'un résolveur

Le rotor est entraîné par l'élément mobile de la machine-outil. Il y a correspondance entre l'angle du rotor et la position du mobile à repérer.

IV-2-1-2: Transducteurs linéaires:

A) Inductosyn linéaire: C'est une règle formée dans de nombreux cas par des éléments en verre ou en acier amagnétique sur lesquels sont disposés électrochimiquement ou collés des circuits imprimés constituant un bobinage linéaire. La gravure du circuit imprimé est faite de spires en créneaux au pas de 2 mm.

Les éléments sont montés bout à bout le long du banc de la machine. Le long de cette règle se déplace un curseur lié au chariot de la machine. Ce curseur possède deux enroulements au même pas que celui de la règle mais présentant un décalage l'un par rapport à l'autre d'un quart de pas. Les enroulements du curseur se déplacent devant l'enroulement de la règle. On reconnaît la configuration d'un résolveur qui aurait été développées sur un plan.

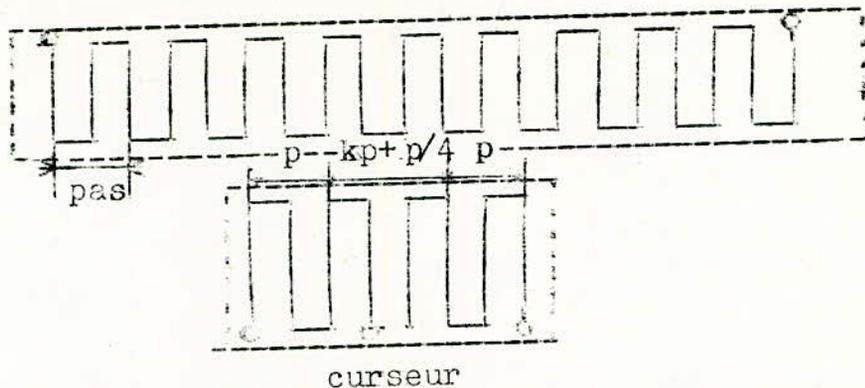


Figure IV-8: Schéma de l'inductosyn linéaire à pas réduit

B) Dispositifs à vis magnétique:

Plusieurs transducteurs utilisent une vis dans le filet de laquelle se trouve un enroulement d'excitation. La détection se fait par deux circuits électriques logés dans un curseur constitué comme un écrou et enserrant la vis.

IV-2-2: Convertisseurs numériques-analogiques:

Le rôle de ces convertisseurs est de traduire une valeur numérique de consigne (par exemple, la position prescrite) à un chariot mobile en une grandeur analogique directement comparable à une grandeur analogique de même nature (exprimant, par exemple, la position effective du même chariot). On supposera que:

- la valeur numérique de consigne est définie par une combinaison de contacts,

- la grandeur analogique de sortie est une tension alternative dont l'amplitude est proportionnelle à la valeur numérique affichée.

IV-2-2-I: Convertisseurs par addition de tensions monophasées.

Principe:

Un transformateur d'alimentation comporte un enroulement primaire relié à une source de tension alternative d'amplitude constante et trois enroulements secondaires affectés chacun à un ordre décimal donné et les prises multiples permettent de définir dans chaque cas les sous-multiples décimaux de la tension secondaire délivrée. Un seul contact à la fois est établi dans chaque ordre décimal. Les valeurs maximales

des tensions secondaires allant en croissant suivant les puissances successives de 10, la mise en série des tensions effectivement recueillies dans chacun des 3 ordres décimaux fournit une résultante dont l'amplitude est proportionnelle au nombre décimal à 3 chiffres défini par les contacts de travail du commutateur d'affichage. Deux conditions doivent donc être satisfaites:

-Faibles valeurs des résistances de contact; cette condition étant nécessaire pour que les chutes de tension dans ces résistances restent négligeables.

-Limitation à 5 du nombre de décades, les gradients de potentiel risquent sinon de prendre des valeurs trop élevées du côté de l'ordre décimal le plus grand; et inversement la commutation des valeurs de tension trop faibles pose des problèmes sérieux de précision.

IV-2-2-2: Convertisseurs par addition de tensions polyphasées:

Il est possible de réaliser des convertisseurs numériques-analogiques à amplitude de sortie variable rappelant le fonctionnement des synchronomachines polyphasées.

Principe:

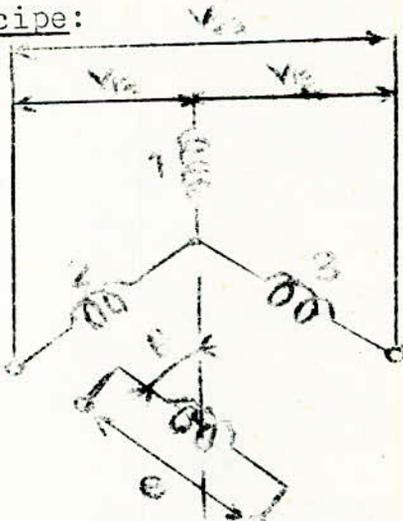


Figure IV-9: Convertisseur par addition de tensions polyphasées

La figure IV-9 représente un convertisseur statique présentant des propriétés comparables à celles d'un transducteur tournant

triphasé. Dans ce schéma on suppose que le rotor d'un tel transducteur alimenté sous une tension alternative d'amplitude E constante. Soit θ sa position angulaire par rapport à l'axe électrique origine. En faisant varier θ entre 0 et 2π , on recueille entre les enroulements du stator 3 tensions alternatives triphasées $V_{1.2}, V_{1.3}, V_{2.3}$ dont la connaissance des valeurs relatives des amplitudes permet de déduire à chaque instant la valeur de θ .

IV-2-3: Comparateurs pour grandeurs analogiques:

D'une façon générale les comparateurs analogiques ont l'avantage d'être plus simples que les comparateurs numériques. La comparaison de phase est plus sensible que la comparaison d'amplitude. Les figures IV-10 a) et IV-10 b) donnent deux montages de comparateurs de phase comportant chacun deux transformateurs d'entrée T_1 et T_2 recevant sur leurs primaires l'une ou l'autre des deux tensions alternatives dont les phases doivent être comparées, un jeu de deux ou quatre diodes semi conductrices et deux résistances ohmiques égales.

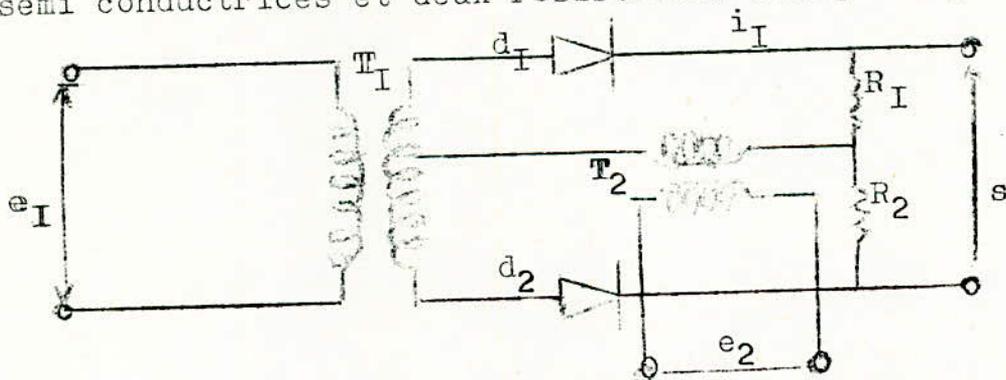


Figure IV-10 a) Montage d'un comparateur de phase à 2 diodes

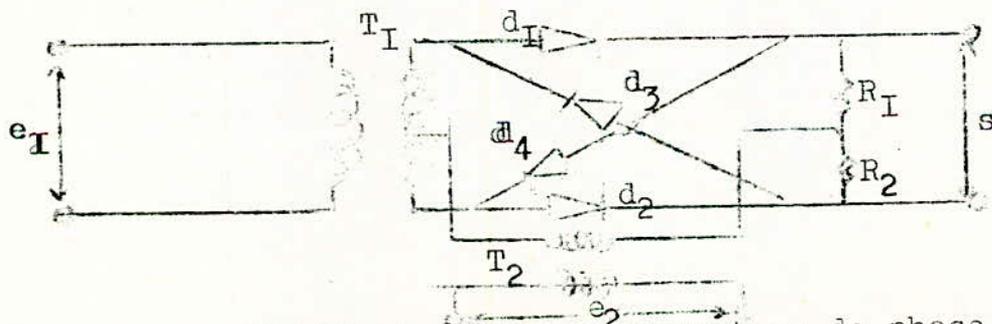


Figure IV-10 b) Montage d'un comparateur de phase à 4 diodes

Si les composants entrant dans la constitution du comparateur sont convenablement choisis, il est possible de détecter des écarts angulaires de l'ordre de 0,8 à 1,5 degré. D'autres montages plus élaborés permettent de descendre jusqu'à 0,1 degré, mais leur prix devient alors comparable à celui d'un comparateur numérique.

IV-3: PROBLEMES PARTICULIERS A LA COMMANDE CONTINUE:

On a vu que dans le cas de la commande continue, il s'agit de faire décrire au mobile une trajectoire bien définie.

La définition de la trajectoire se fait en deux étapes:

-Définition du profil théorique correspondant au tracé du dessin composé de segments de droite, arc de cercle, arc de parabole....

-Définition de la trajectoire pratique du centre de l'outil à partir du profil théorique et tenant compte des possibilités pratiques de la machine-outil et du diamètre de l'outil, c'est le problème de l'interpolation qui consiste à calculer un grand nombre de points intermédiaires le long de segments rectilignes, circulaires, paraboliques, ... constituant les éléments successifs de la trajectoire.

La figure IV-II montre le cas d'une interpolation linéaire. Dans ce cas de figure les mouvements de l'outil ne peuvent s'effectuer qu'en une suite de segments rectilignes, le profil théorique est un cercle et la trajectoire pratique est formée d'un grand nombre de segments (contour polygonal).

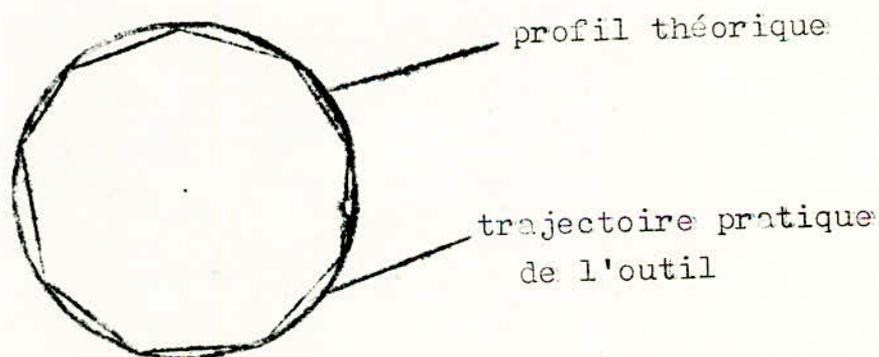


Figure IV-II: Cas d'interpolation linéaire:

IV-4: CRITERES DE CHOIX DES METHODES DE MESURE:

Pour conclure cette étude sur les systèmes de mesure, nous nous proposons de dégager les critères qui entrent dans le choix de tel ou tel système de mesure.

Ce choix repose sur deux critères: le coût de l'équipement et le domaine de l'utilisation.

IV-4-1: Coût de l'équipement:

Les systèmes numériques incrémentaux sont les plus économiques. Les systèmes analogiques sont assez coûteux, ceci est dû aux prix des convertisseurs numériques-analogiques toujours élevés. Les systèmes numériques absolus sont les plus chers des trois systèmes.

IV-4-2: Domaines d'utilisation:

Les systèmes numériques incrémentaux se prêtent très bien à des parcours à course unique ainsi que pour des tables à coordonnées croisées. Ils conviennent aussi lorsque la quantité d'information n'est pas trop importante. Lorsqu'ils sont utilisés dans la commande continue, on leur associe des interpolateurs internes numériques.

Les systèmes numériques absolus sont surtout utilisés lorsque les considérations d'ordre technique (précision, sûreté...) l'emportent sur les considérations économiques. Ils peuvent être utilisés pour la commande de toutes sortes de machines des plus légères aux plus lourdes.

Les systèmes analogiques sont utilisés dans les machines à long parcours de chariot et à un grand nombre de parcours simultanés. Il est préférable de les utiliser dans la commande des machines lourdes.

IV-5: CONCLUSION:

Au stade actuel de la commande, on utilise le plus souvent les méthodes numériques incrémentales vu que l'on a appris à se rendre maîtres de la sensibilité aux parasites, les autres méthodes sont adoptées surtout dans des réalisations spécifiques qui demandent des performances élevées.

DEUXIEME PARTIE:SYNTHESE DE L'UNITE DE COMMANDE.:

INTRODUCTION	P.28
<u>CHAPT.I</u> /RAPPELS SUR LES CIRCUITS LOGIQUES	P.28
I-1:Introduction	P.29
I-2:Logique positive et logique négative	P.29
I-3:Circuits combinatoires	P.30
I-4:Circuits séquentiels	P.31
<u>CHAPT.II</u> /LES DONNEES DE DEPART	P.41
II-1:Fonctionnement de la machine-outil à commander	P.41
II-2:Conditions de préparation du travail	P.45
II-3:Modes de commande et organisation de la C.N étudiée	P.47
<u>CHAPT.III</u> /STRUCTURE GENERALE DE L'UNITE D'USINAGE	P.49
III-1:Fonctions de chaque bloc	P.50
<u>CHAPT.IV</u> /MEMOIRE	P.51
IV-1:Structure de la mémoire	P.51
IV-2:Introduction et aiguillage des données	P.53
<u>CHAPT.V</u> /L'UNITE DE PROGRAMMATION DES INSTRUCTIONS	P.58
V-1:Organigrammes et graphes d'évolution	P.58
V-2:Compteur d'instructions	P.60
V-3:Equations des différents signaux	P.61
V-4:Equation du signal d'incrément "INCP"	P.62
<u>CHAPT.VI</u> /L'UNITE DE SEQUENCEMENT DES PHASES D'INSTRUCTIONS	P.64
VI-1:Remarques préliminaires	P.64
VI-2:Organigramme détaillé de chaque instruction	P.65
VI-3:Bilan des signaux de commande	P.76
VI-4:Distributeur de phases	P.77
VI-5:Chronogrammes des différentes instructions	P.78
VI-6:Equations des signaux de commande	P.78
VI-7:Signal d'ordre d'évolution du distributeur de phases	P.82
VI-8:Signal de compte-rendu	P.82

<u>CHAPT.VII /LA CHAINE DE COMPTAGE</u>	P.83
VII-1:Prédétermination	P.83
VII-2:Interconnexions des compteurs	P.83
VII-3:Code BCD	P.83
<u>CHAPT.VIII/REMARQUES TECHNOLOGIQUES</u>	P.84
VIII-1:Sur les circuits d'interface de sortie	P.84
VIII-2:Sur les lignes de transmission	P.84
VIII-3:Sur l'adaptation des capteurs photoélectriques	P.84
VIII-4:Sur la fréquence des impulsions des horloges HP ^H et H ^H	P.85
VIII-5:Sur la chaine de commande	P.86
<u>CHAPT.IX /PROTECTION CONTRE LES PARASITES</u>	P.87
IX-1:Circuits de comptage	P.87
IX-2:Câblage	P.87
IX-3:Source d'alimentation	P.87
IX-4:Circuits logiques de protection contre les parasites	P.87
REALISATION PRATIQUE	P.89
CONCLUSION GENERALE	P.90

INTRODUCTION

La synthèse méthodique de l'unité de commande exige l'analyse complète des données de départ qui précisent le fonctionnement de la machine-outil à commander.

A partir de ces données il s'agira d'énoncer les relations de cause à effet qui régissent le fonctionnement de la machine. Ensuite on exprimera ces relations à l'aide d'organigrammes de plus en plus détaillés qui permettront de préciser les différentes sous-machines logiques combinatoires ou séquentielles qui composeront l'unité de commande. De ces organigrammes nous déduirons les graphes d'évolution des différentes sous-machines logiques et leurs signaux d'entrée et de sortie. Enfin il s'agira de déterminer complètement ces sous-machines logiques en établissant les équations de leurs différents signaux. Avant d'aborder la synthèse, nous ferons quelques rappels sur les circuits logiques utilisés.

CHAPITRE PREMIER :

RAPPEL SUR LES CIRCUITS LOGIQUES

I-1-INTRODUCTION:

Nous ne rappellerons pas les éléments de base de la logique tels que les systèmes de numération, les résultats de l'algèbre de Boole, les méthodes de synthèse (sauf celle des compteurs) et de minimisation des fonctions logiques aussi bien dans le cas des systèmes combinatoires ou des systèmes séquentiels.

Nous donnerons seulement le principe des fonctions combinatoires et leurs schémas électroniques dans la logique utilisée dans la suite, ensuite le principe de fonctionnement des principaux modules et systèmes séquentiels (bascules, registres, compteurs....)

I-2-LOGIQUE POSITIVE ET LOGIQUE NEGATIVE:

En logique électronique, on associe à deux états 0 et 1, deux niveaux de potentiel (de tension) à savoir E_0 et E_1 .

--Le potentiel de la masse (0 volt)

--Un potentiel positif (ou négatif) par rapport à la masse.

"On dit qu'il s'agit d'une logique positive lorsque le potentiel associé au "1 logique" est supérieur au potentiel associé au "0 logique". Autrement dit $E_1 > E_0$

"Inversement, on dit qu'il s'agit d'une logique négative lorsque le potentiel associé au "1 logique" est inférieur au potentiel associé au "0 logique". Autrement dit $E_1 < E_0$

On utilise une logique positive quand on manipule des potentiels positives et une logique négative dans le cas contraire. En général, au "0 logique" correspond le potentiel de la masse. On passe simplement d'une logique à l'autre en complétant toutes les variables.

Les circuits de traitement de l'information et de commande se subdivisent en deux grandes catégories:

--Les circuits combinatoires

--Les circuits séquentiels

I-3-CIRCUITS COMBINATOIRES

L'étude des circuits combinatoires repose sur l'algèbre de Boole. Ces circuits comportent:

- des circuits élémentaires: NON, OU, ET (NOT, OR, AND)
- des circuits du 1^{er} degré: NON-OU, NON-ET (NOR, NAND)
- des circuits complexes: OU-EXCLUSIF, ET-OU-NON,

I-3-1: Définition

Ce sont des circuits pour lesquels la notion de temps n'intervient pas. A chaque combinaison des entrées, il ne correspond qu'une seule combinaison de sortie et celle-ci est stable.

I-3-2: Tableau récapitulatif des différentes fonctions logiques

désignation de la fonction	notation	tableau de vérité	symbole des opérateurs	schéma électronique														
COMPLEMENTATION NON PAS NEGATION NOT	\bar{X}	<table border="1"> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	X	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0		
X	Y																	
0	0	1																
0	1	1																
1	0	0																
1	1	0																
produit logique ET AND	$X \cdot Y$	<table border="1"> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	X	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1		
X	Y																	
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
Somme logique OU OR	$X + Y$	<table border="1"> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	X	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1		
X	Y																	
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
NON-ET NAND	$\overline{X \cdot Y}$	<table border="1"> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	X	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0		
X	Y																	
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
NON-OU NOR	$\overline{X + Y}$	<table border="1"> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	X	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0		
X	Y																	
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																
OU-Exclusif	$X \oplus Y$	<table border="1"> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	X	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0		
X	Y																	
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																

I-3-3: Théorèmes de MORGAN

$$A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_n = \sum \bar{A}_i$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = \prod \bar{A}_i$$

I-4-CIRCUITS SEQUENTIELS

I-4-1: Définition:

Ce sont des circuits pour lesquels la notion de temps intervient. Dans ce cas, l'état des sorties n'est plus fonction uniquement de l'état des entrées mais dépend aussi de l'évolution antérieure du système. Ainsi à une combinaison donnée des entrées peuvent correspondre plusieurs combinaisons de sortie.

La différence essentielle entre les circuits combinatoires et séquentiels réside donc dans le fait que ces derniers possèdent des éléments mémoires (dites également chaînes de réaction) qui enregistrent les états successifs et différents de l'évolution du système.

Ces éléments de mémoire sont obtenus soit explicitement à l'aide de mémoire binaire à 1 ou 2 positions ou implicitement par réaction directe.

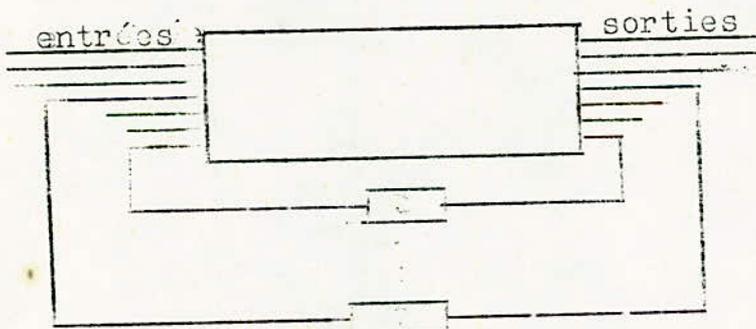


Figure 1: Circuit séquentiel

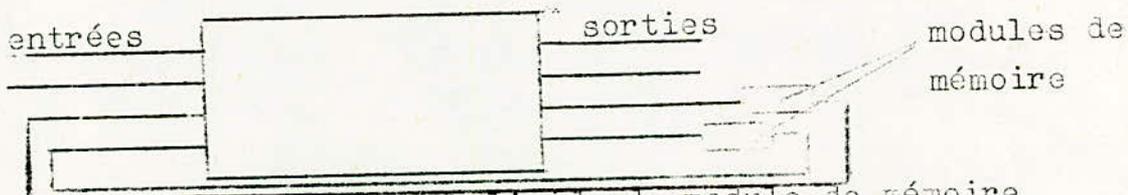


Figure 2: Réaction à l'aide de module de mémoire

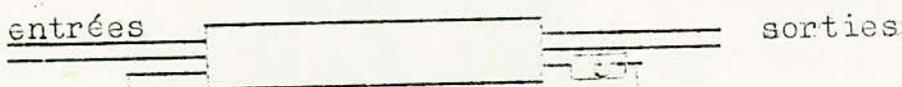


Figure 3: Réaction directe

En général l'analyse de la figure I-1 nous ramène à un système d'équations:

$$(I-1) \begin{cases} Y(t+\Delta) = G_j(x_t, y_t) \\ Z_k(t) = F_k(x_t, y_t) \end{cases}$$

I-4-2: Machine de MOORE; machine de MEALY

L'examen du système d'équations (I-1) montre que, suivant la fonction F_k on peut distinguer trois cas différents:

1^{ier} cas: $y_t = 0$ le système est uniquement combinatoire

$$Z_k(t) = F_k(x_t) \quad y_t = 0$$

2^{ème} cas: $x_t = 0$ Dans ce cas on a affaire à une machine de MOORE.

$$Z_k(t) = F_k(y_t) \quad x_t = 0$$

3^{ème} cas: x_t et y_t interviennent en même temps. Dans ce cas on a affaire à une machine de MEALY.

Remarque: On admettra qu'à toute machine de MOORE on peut faire correspondre une machine de MEALY et inversement.

I-4-3: Fonctionnements asynchrone et synchrone

On classe généralement les systèmes séquentiels en deux catégories:

— Un système séquentiel est dit à fonctionnement asynchrone s'il peut évoluer seul sans ordre extérieur. Ce système comporte à la fois des états transitoires dits également instables et des états stables.

— Un système séquentiel est dit à fonctionnement synchrone s'il peut évoluer que sur ordre extérieur à lui même. En l'absence d'ordre, la machine reste figée dans l'état où elle était. Cet ordre extérieur est en général un signal d'horloge. On peut dire que tous les états d'un tel système sont stables.

I-4-4: Commande des systèmes séquentiels

— On appelle signal de niveau un signal dont la durée est supérieure au temps de réponse du système étudié.

— On appelle signal impulsionnel (ou impulsion) un signal dont la durée est inférieure au temps de réponse du système étudié.

Systèmes asynchrones

Ils sont toujours commandés par les signaux de niveau.

Systemes synchrones

Ils peuvent être commandés de 2 façons différentes

---Soit par des impulsions synchronisées ou non par une horloge. Dans ce cas il s'agit des systemes séquentiels pulsés.

---Soit par des signaux de niveaux associés à une horloge. Les systemes sont, alors des systemes séquentiels asynchrones synchronisés

I-4-5: Exemple de circuits séquentiels: Bascules

I-4-5-I: Bascule R-S

La bascule R-S a 2 entrées R(Réset) et S(Set).

R exprime la remise à zéro.

S exprime la mise à l'état "1" (niveau logique 1)

Table de vérité

On note que l'état R=1 et S=1 de la bascule R-S n'est pas défini. C'est pour cette raison que nous imposons pour le fonctionnement d'une telle bascule la condition R.S=0

R	S	Q_t	Q_{t+1}
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	0
1	1	1	1

N.B: Pour déterminer la valeur de Q au temps $t+1$, il faudra considérer les valeurs de R et S au temps $t+1$ et la valeur de Q au temps t (état antérieur)

Table de vérité de la bascule R-S

Equation de la bascule R-S:

$$Q_{t+1} = S + \bar{R} \cdot Q_t$$

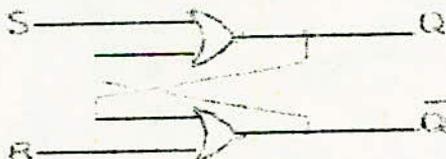


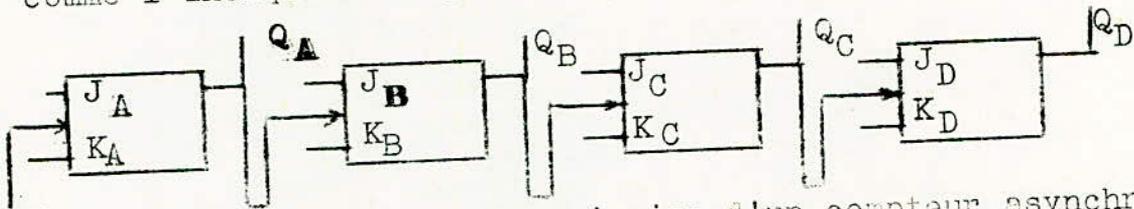
Figure I.4: Représentation logique de la bascule R-S

N.B: On peut trouver des bascules R-S avec des entrées spéciales qui imposent un état à la bascule sans considération des autres entrées S et R, ces entrées sont notées R_D et S_D . (D: Direct)

Les entrées (J_A, K_A) , (J_B, K_B) , (J_C, K_C) , (J_D, K_D) et les sorties (Q_A, \bar{Q}_A) , (Q_B, \bar{Q}_B) , (Q_C, \bar{Q}_C) , (Q_D, \bar{Q}_D) sont reliées suivant le réseau logique de commande déterminé théoriquement selon le fonctionnement du compteur, c'est à dire en fonction de la suite des états désirés.

I-4-7-4: Compteur asynchrone (en anglais: Reepile Through)

Un compteur est dit asynchrone lorsque, au contraire, l'impulsion d'avancement n'est envoyée qu'à la première bascule. Dans ce cas les autres bascules sont commandées à partir des signaux (à fréquence basse) issus des bascules précédentes comme l'indique la figure I-15.



H Figure I-15: Schéma de principe d'un compteur asynchrone.

Nous voyons que les bascules sont connectées en cascade. Nous noterons que, dans le cas d'un compteur binaire asynchrone, il y a des retards cumulatifs. Pour que la bascule $n+1$ change d'état, il faut que la bascule d'ordre n passe tout d'abord de 1 à 0 etc

Lorsque le nombre de bascules est important, ces retards cumulatifs peuvent être gênants; c'est pourquoi le compteur asynchrone est préférable pour l'utilisation.

Notons que, pour compter en sens inverse, il existe des décompteurs dont le principe de fonctionnement est identique à celui du compteur.

I-4-7-5: Compteur binaire modulo n :

Avec n bascules, il est possible de réaliser un compteur ou un décompteur modulo 2^n . Cependant il est souvent nécessaire de réaliser un compteur modulo n , n étant un nombre entier positif quelconque. Dans ce cas, des connections adéquates sont réalisées pour que toutes les bascules prennent l'état 0 à la $n^{\text{ième}}$ impulsion.

I-4-7: Les compteurs binaires. Fonctionnement.

I-4-7-1: Introduction

Le comptage, comme l'affichage numérique, constitue depuis longtemps une importante application des circuits et dispositifs électroniques.

I-4-7-2: Généralités:

Un compteur est, avant tout, un circuit séquentiel répondant à une séquence d'impulsions appelées: impulsions d'avancement ou d'horloge. Celui ci peut afficher certains états sur commande extérieure. En général il comprend:

--- Des bascules qui sont, généralement, du type: S-R, J-K, D...

--- Un réseau logique de commande.

A l'état de chaque bascule d'un compteur, on associe un chiffre binaire 0 ou 1. Par conséquent l'ensemble des bascules représente un nombre binaire à n chiffres (0, 1, 1, ..., 0, 1, 1, 1).

Un compteur reçoit les impulsions d'avancement. A la suite de chaque impulsion, il prend un certain état. La suite de ces états est imposée par le circuit (ou réseau) logique de commande. Les nombres binaires successifs obtenus peuvent croître, décroître ou représenter une suite quelconque que l'on appelle le code du compteur.

Cette suite quelconque est nécessairement finie. Un compteur revient à l'état initial après un nombre d'impulsions d'avancement qui est nécessairement inférieur ou égal à $2^n - 1$.

Nous distinguons 2 types de compteurs binaires.

--- Les compteurs synchrones

--- Les compteurs asynchrones

I-4-7-3: Compteurs synchrones

Un compteur est dit synchrone lorsque les impulsions d'avancement sont envoyées simultanément à toutes les bascules du compteur. Ceci est schématisé par la figure I-14

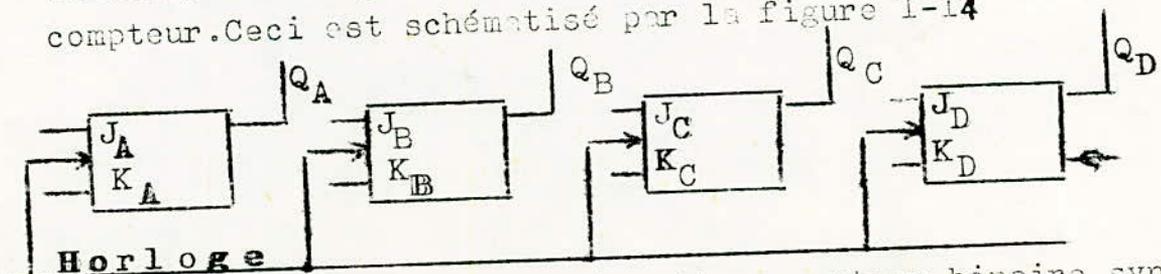


Figure I-14: Schéma de principe d'un compteur binaire synchrone.

I-4-6: Les registres

I-4-6-1: Définition:

Un registre peut être considéré comme un ensemble de ~~élé~~ n mémoires élémentaires (bascules par exemple) servant à enregistrer un nombre de n chiffres ou un mot de n bits.

I-4-6-2: Réalisation d'un registre

--- Registre de bascules non interconnectées:

Si nous juxtaposons, par exemple, 4 bascules élémentaires, nous obtenons un registre.

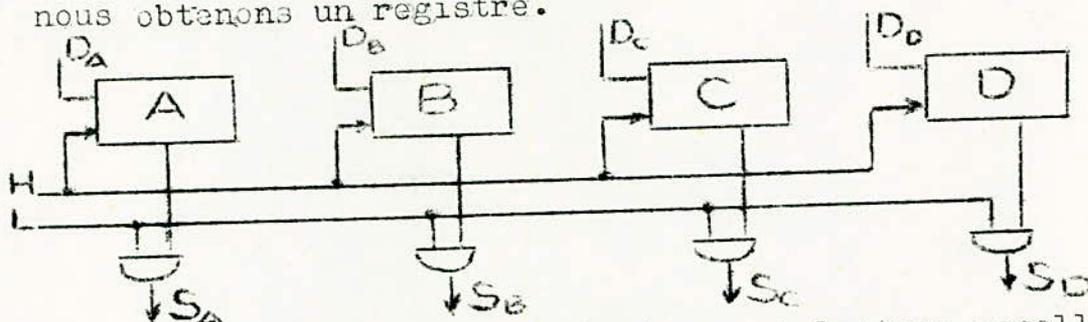


Figure I-I2: Registre à écriture et lecture parallèles

L'application du signal d'horloge (H) fait entrer les signaux d'entrée D_A, D_B, D_C et D_D dans les bascules A, B, C, D. Pour les faire apparaître en S_A, S_B, S_C et S_D , il suffit d'appliquer un signal de lecture en L. Ce type de registre appartient à la famille des registres à écriture et lecture parallèles.

--- Registre à décalage:

Un registre à décalage décale son contenu d'un rang à droite ou à gauche à chaque impulsion d'horloge. Un tel registre peut être constitué de bascules J-K, interconnectées de la manière indiquée à la figure I-I3.

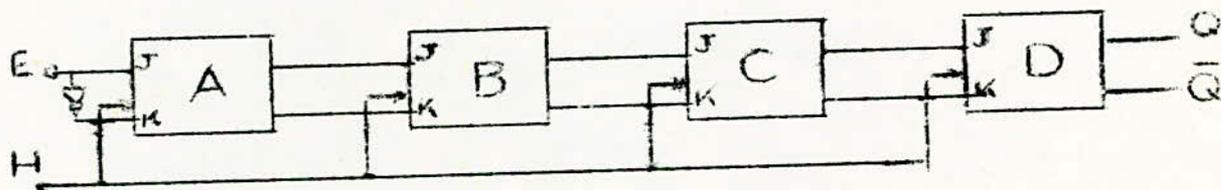


Figure I-I3: Bascule à décalage

Remarque: On peut réaliser ce même registre à l'aide des bascules R-S ou D. Le registre à décalage est dit "à écriture et lecture séries"

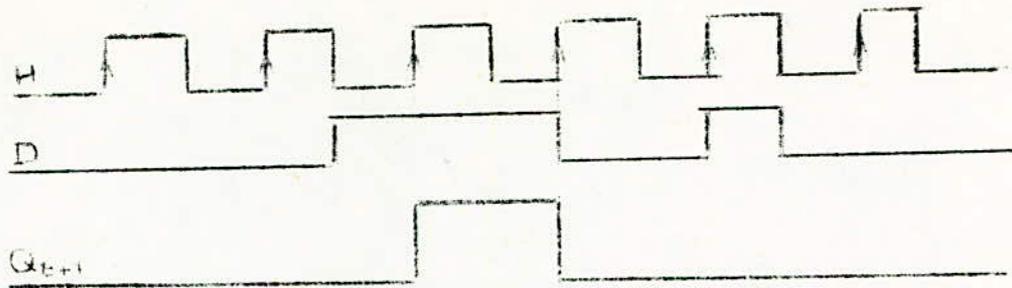


Figure I-10: Chronogramme de la bascule D.

I-4-5-4: Bascule "Maître-Esclave"

La bascule "maître-Esclave" est un assemblage de deux bascules non synchronisables munies chacune d'une logique d'entrée.

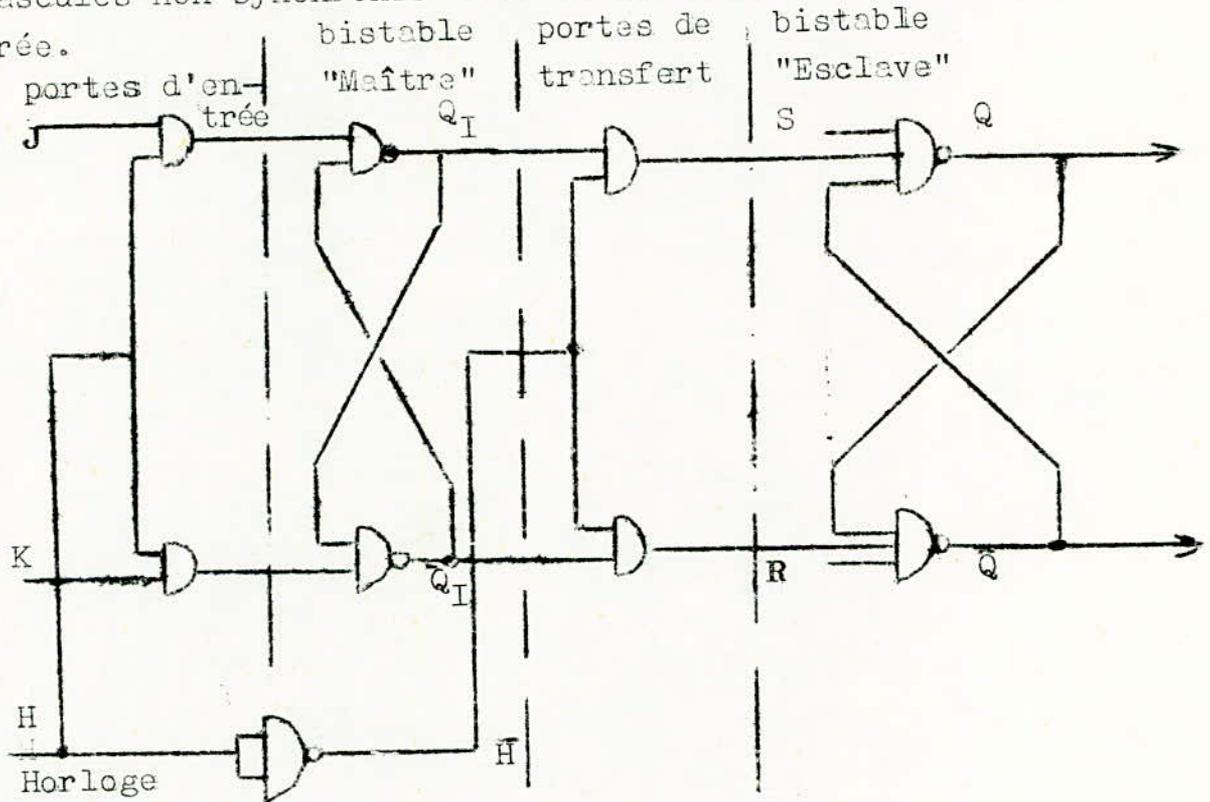


Fig. I-II Bascule Maître-Esclave .

La 1^{ère} bascule (le maître) stocke l'information en fonction de l'état de ses portes d'entrée; la 2^{ème} (l'esclave) sous l'influence du même signal d'horloge, appliqué à travers des portes logiques, obéit aux ordres de basculement et de non basculement qui lui sont intimés par le maître.

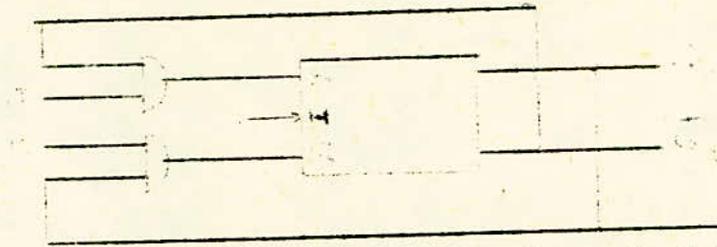


Figure: I-7: Représentation logique de la bascule J-K.

Le chronogramme de la bascule J-K est donnée par la fig I-8

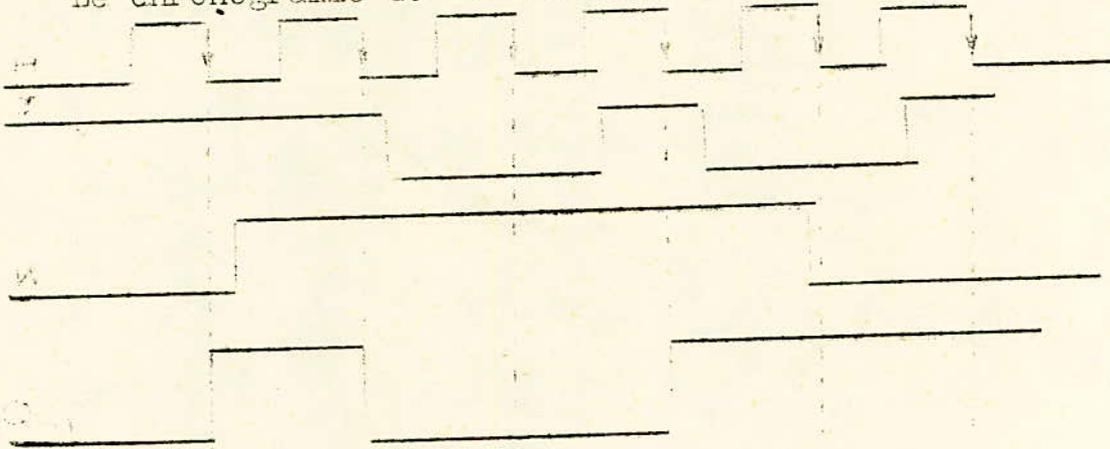


Figure I-8 : Chronogramme de la bascule J-K

I-4-5-3: Bascule D:

C'est un opérateur séquentiel à une entrée D et 2 sorties Q et \bar{Q} . Elle est assimilable à une bascule J-K à laquelle on a ajouté un inverseur entre l'entrée J et K: $K = \bar{J}$ (fig I-9)

Table de vérité

D	Q_{t+1}
0	0
1	1

Equation de la bascule D:

$$Q_{t+1} = D$$

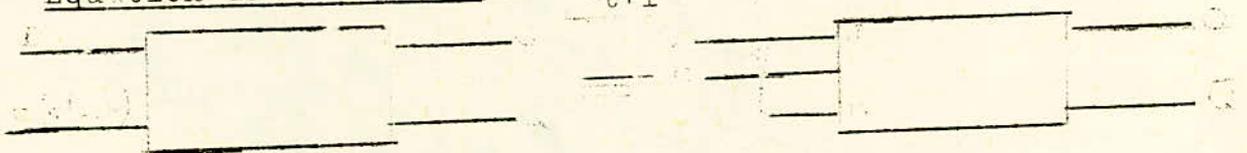


Fig. I-9 : Schéma synoptique de la bascule D .

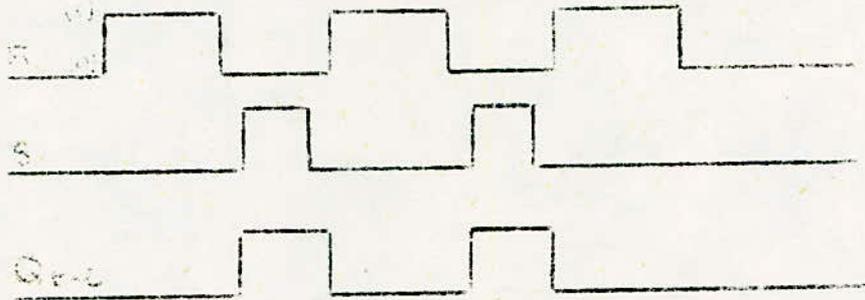


Fig I-5: Chronogramme de la bascule R-S

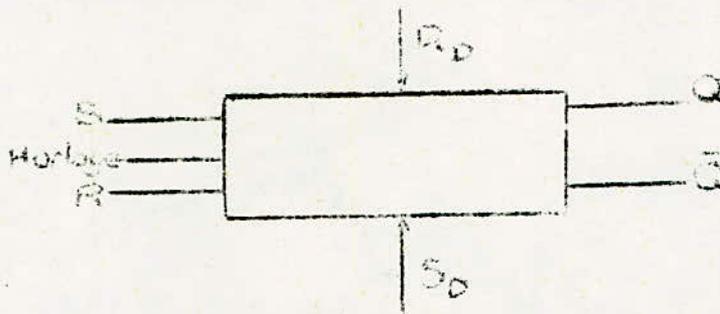


Fig I-6: Bascule R-S avec entrées spéciales R_D et S_D

I-4-5-2: Bascule J-K:

Elle comporte 2 entrées J et K et 2 sorties Q et \bar{Q} .
 En fait il y a une 3^{ème} entrée qui est l'horloge. En effet, une propriété importante de cette bascule est qu'elle ne peut changer d'état que lorsque l'entrée horloge appelée c (clock) passe du niveau 1 au niveau 0 (front descendant de l'horloge).

Table de vérité

J	K	Q _t	Q _{t+1}
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	0	0
1	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	0
1	1	1	0

N.B: Nous remarquons que la configuration J = K = 1 fait changer l'état de la bascule. $Q_{t+1} = \bar{Q}_t$

Table de vérité de la bascule J-K

Equation de la bascule J-K: $Q_{t+1} = J \cdot \bar{Q}_t + \bar{K} \cdot Q_t$

I-4-7-6 Remarque sur la synthèse des compteurs

Nous noterons que, pour trouver les liaisons à faire entre les entrées et les sorties d'un compteur (fonctionnement selon un code précis), il faut procéder de la façon suivante:

- Définir la capacité maximale du compteur c'est à dire le nombre binaire le plus élevé que le compteur est susceptible d'afficher. Ainsi, le nombre de bascules est déterminé. Avec n bascules on peut compter jusqu'à $2^n - 1$.

- Choisir le code (code binaire pur, code +3, code Gray, ...).

- Etablir, à partir des impulsions d'avancement et du code choisi, le tableau de séquences successives A, B, C, D, ... constituant le compteur.

- Compte tenu des tableaux de vérité des bascules utilisées, on détermine les valeurs des entrées de chaque bascule qui définissent l'état du compteur à chaque impulsion d'avancement.

- Porter ensuite les valeurs des entrées de chaque bascule dans un diagramme de Karnaugh et les simplifier.

- Réaliser le circuit.

- Vérifier le fonctionnement.

I-4-7-7 Compteur ou décompteur avec entrées forcées

Parfois on désire afficher sur le compteur (ou décompteur) un certain état de départ à partir duquel il doit compter (ou décompter). On prévoit alors des cellules à entrées dites de forçage (ou de prédétermination) R_D et S_D qui imposent un état de sortie indépendamment des autres entrées.

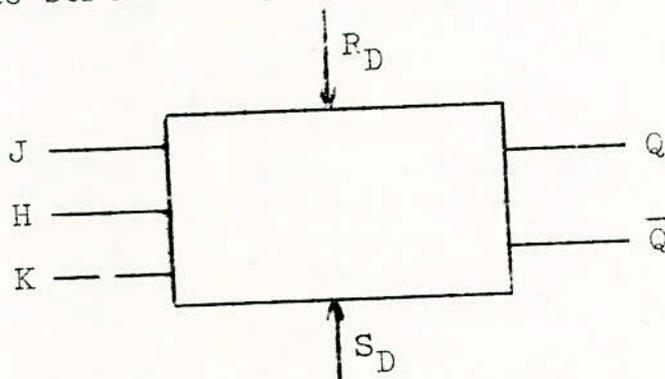


Fig. I-16 : Cellule avec entrées de prédétermination .

CHAPITRE II : LES DONNÉES DE DEPART

Avant d'aborder la synthèse de l'unité de commande, il s'agira donc de définir les données de départ à partir desquelles sera effectuée cette synthèse. Ces données proviennent du fonctionnement de la machine-outil à commander, des informations à fournir à la machine en vue de réaliser une pièce, autrement dit des conditions de préparation du travail et des modes de commande de la machine (manuelle, semi automatique ou automatique). Nous allons donc faire l'analyse de ces différents points.

II-I: FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE-OUTIL A COMMANDER:

La machine-outil à commander est une fraiseuse qui n'effectue que des fraisages paraxiaux aux axes de la table (voir figure II-I), elle peut aussi réaliser des perçages, des alésages et des taraudages suivant l'axe de la broche porte-outil.

II-I-I: Les différents mouvements possibles:

A) Mouvements de la table:

La table peut effectuer des déplacements horizontaux suivant deux axes X et Y (Fig. II-I). Ces déplacements ne peuvent s'effectuer simultanément.

B) Mouvements de la broche porte-outil:

La broche porte-outil a un mouvement de rotation autour de son axe vertical à deux sens trigonométrique et anti-trigonométrique et un mouvement de translation le long de cet axe (cf fig II-I).

II-I-2: Les gammes de vitesses:

A) Pour la table: Il est prévu une vitesse rapide lorsqu'il s'agit de positionnement et une gamme de vitesses lentes de travail correspondant à des métaux différents dans le cas du fraisage.

B) Pour l'avance de la broche: L'avance de la broche s'effectue à une vitesse rapide unique pour positionner l'outil devant la cote "début usinage"; lorsque l'outil travaille l'avance est lente et une gamme de vitesses est disponible correspon-

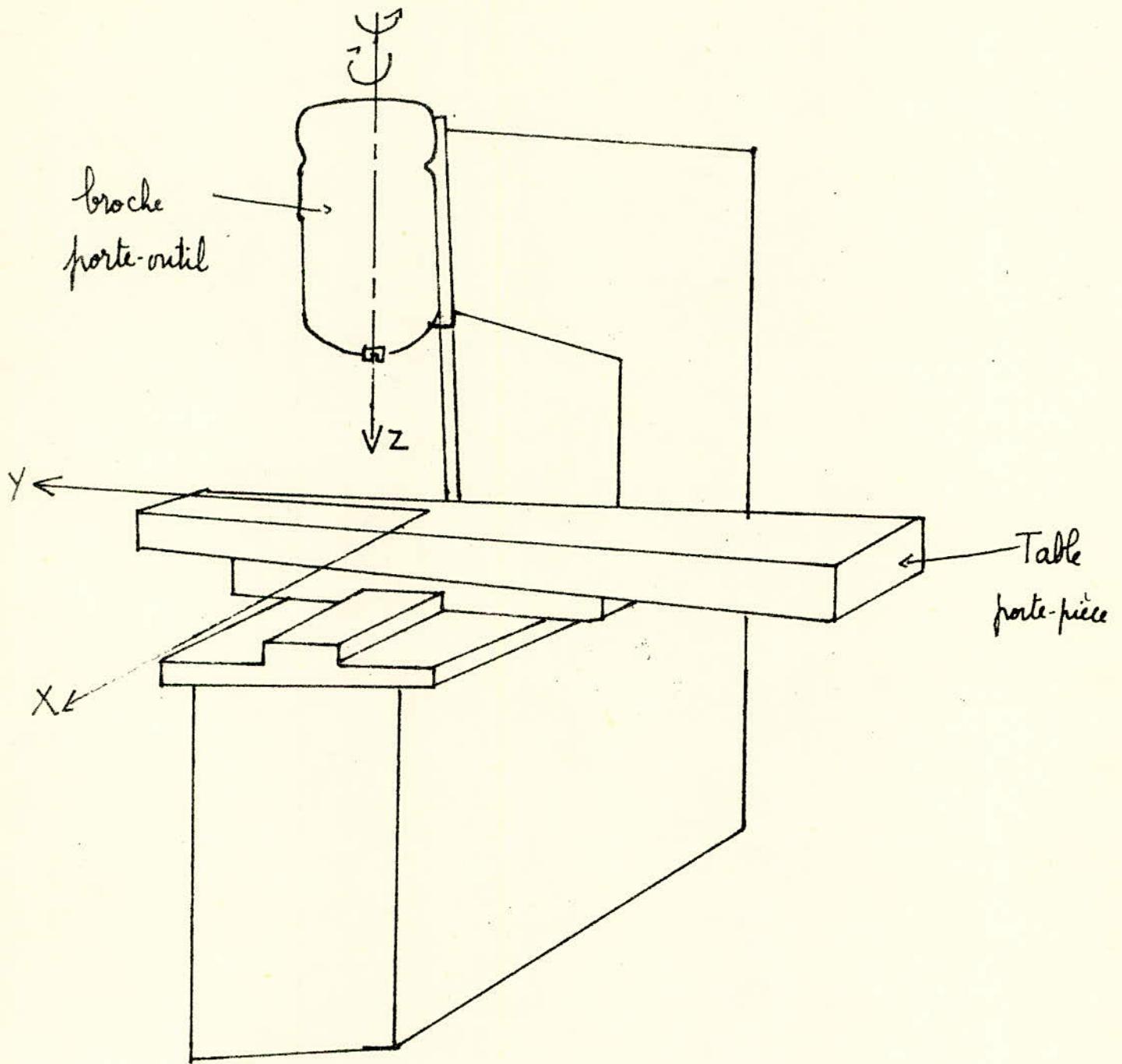


Figure II-I Machine-outil

dant à différents métaux et usinages.

C) Rotation de la broche: Elle peut s'effectuer à différentes vitesses correspondant aux vitesses de coupe des métaux à usiner.

II-I-3: Méthodes d'usinage:

Ayant vu les possibilités de la machine, nous allons décrire les méthodes d'usinage.

II-I-3-I: Perçage:

Le cycle de broche correspondant au perçage sera le suivant:

- Avance rapide de la broche jusqu'à la cote "début perçage"
- Avance lente de la broche jusqu'à la cote "fin perçage"
- Retour rapide de la broche.

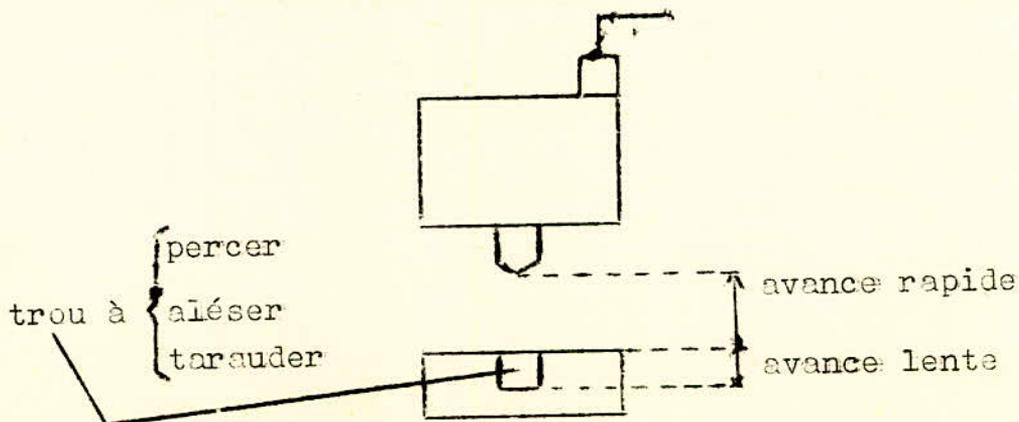
II-I-3-2: Alésage:

Le cycle de broche est le même que dans le cas du perçage.

II-I-3-3: Taraudage:

Le cycle de broche correspondant au taraudage est le suivant:

- Avance rapide de la broche jusqu'à la cote "début taraudage"
- Avance lente de la broche jusqu'à la cote "fin taraudage"
- Arrêt de la broche
- Inversion du sens de rotation de la broche
- Retour rapide de la broche.



II-I-3-4: Fraisage:

On aura une avance rapide de la broche de positionnement d'outil. L'usinage se fera par déplacement lent de la table suivant la direction à usiner, l'outil étant en contact avec la pièce. Dans le cas de fraisage en profondeur avec une fraise spéciale, on aura une avance lente de la broche jusqu'à la profondeur désirée.

Le fraisage se fera en plusieurs allers-retours lorsque l'épaisseur à fraiser est importante pour l'outil.

II-I-4: Capteurs et commandes des moteurs:

- Les capteurs de position sont des capteurs numériques incrémentaux photoélectriques.

- Commandes des vitesses des moteurs: La commande de vitesse est assurée par une servo commande de vitesse analogique. Un tachymètre prélève la vitesse du moteur pour la comparer à la vitesse prescrite. Le tachymètre utilisé est électronique, il fournit une tension proportionnelle à la fréquence des impulsions issues du capteur.

La structure de la servo commande de vitesse des moteurs assurant le déplacement de la table est donnée à la figure II-2, où D est le contact de mise en marche du moteur et les contacts + et - fixent le sens de déplacement avant ou arrière. La figure II-3 donne la structure de servo commande de vitesse des moteurs assurant le mouvement de la broche avance ou rotation où E_1 assure l'avance et E_2 le retour (figure II-3-a) et H_1 la rotation trigonométrique et H_2 la rotation anti-trigonométrique.

La position de repos de la broche est repérée par un contact K.

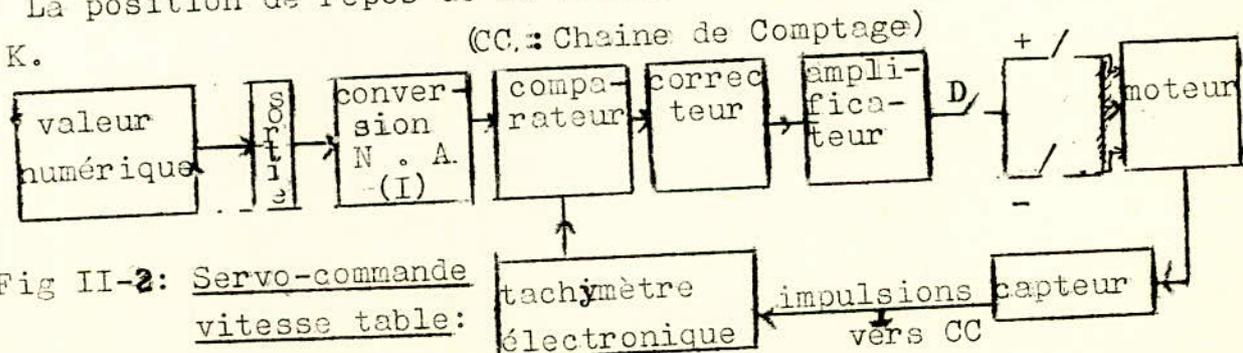


Fig II-2: Servo-commande vitesse table:

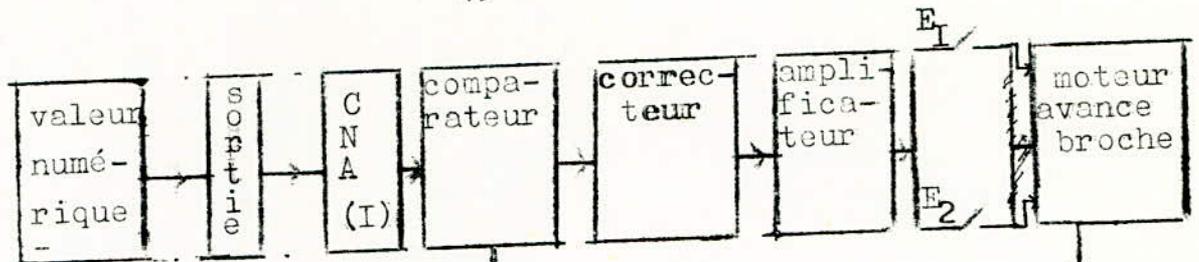
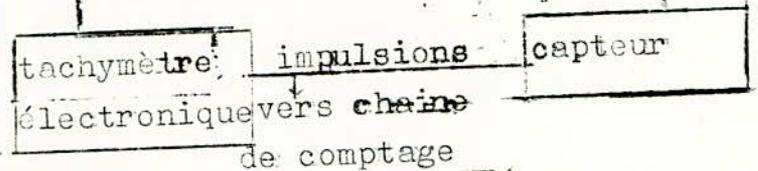
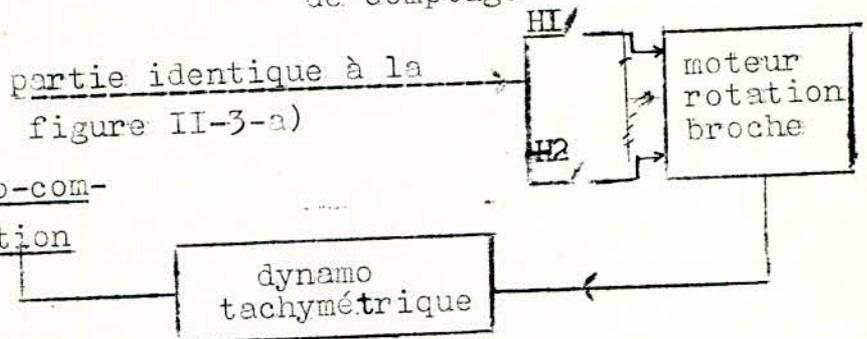


Fig. II-3a) Servo-com-
mande vitesse avan-
ce broche:



partie identique à la
figure II-3-a)

Fig. II-3b) : Servo-com-
mande vitesse rotation
broche:



II-2 : CONDITIONS DE PREPARATION DU TRAVAIL:

Pour la réalisation de la pièce on doit introduire dans l'unité de commande de la machine, un certain nombre de données. Ces données définissent une ou plusieurs instructions que la machine doit réaliser. Ces intructions sont fournies en langage machine. Un mot du langage-machine définira une instruction, il est composé d'une lettre adresse, d'un chiffre et d'un signe, ou d'une lettre adresse et d'un chiffre (cf I^{ière} partie paragraphe III-I)

L'usinage se fera par bloc (I^{ière} partie §III-I-3)

Il est bien évident que deux instructions contradictoires ne doivent pas figurer dans un même bloc: exemple, rotation broche trigo et anti-trigo, déplacement rapide table et fraisage.)

Un seul usinage est prescrit dans un bloc.

Le tableau suivant donne les mots du langage-machine utilisés et leurs significations .

(I): Convertisseur. **Numérique** . Analogique

<u>MOTS EN LANGAGE-MACHINE</u>	<u>SIGNIFICATION</u>
U _I	Fraisage
U ₂	Perçage
U ₃	Alésage
U ₄	Taroudage
Z _I chiffre (mm)	Cote d'avance rapide broche
Z ₂ chiffre (mm)	Cote d'avance lente broche
X ⁺ chiffre (mm)	Cote du point à atteindre selon X
Y ⁺ chiffre (mm)	Cote du point à atteindre selon Y
V et chiffre (0-500mm ³ /mn)	Vitesse lente table
W et chiffre (0-500mm ³ /mn)	Vitesse lente broche
L Chiffre (0-3000 tr/mn)	Vitesse rotation broche
H.1	Rotation broche sens trigo
H.2	Rotation broche sens anti-trigo
B	Arrêt broche

TABLEAU DES DIFFERENTS MOTS EN LANGAGE-MACHINE
UTILISE. ET LEURS SIGNIFICATIONS:

II-3: MODES DE COMMANDE ET ORGANISATION DE LA COMMANDE
NUMERIQUE ETUDIEE:

L'unité de commande devra se prêter à l'usinage semi-automatique par introduction manuelle des données et à l'usinage automatique par lecture de ruban perforé. Dans le cas de l'introduction des données, une unité d'entrée aiguillera les différentes informations provenant du lecteur de ruban perforé vers l'unité d'usinage qui déclenchera les processus dans l'ordre adéquat. L'unité d'entrée n'entre pas dans notre étude, nous ne considérerons que le cas des commandes semi-automatiques. Dans ce cas l'opérateur pourra introduire, dans n'importe quel ordre les informations d'un bloc dans l'unité d'usinage à l'aide de boutons poussoirs disposés sur un pupitre. La machine exécutera les instructions dans l'ordre adéquat après action sur un bouton poussoir "exécution". La structure globale de l'unité de commande est donnée par la figure II-4.

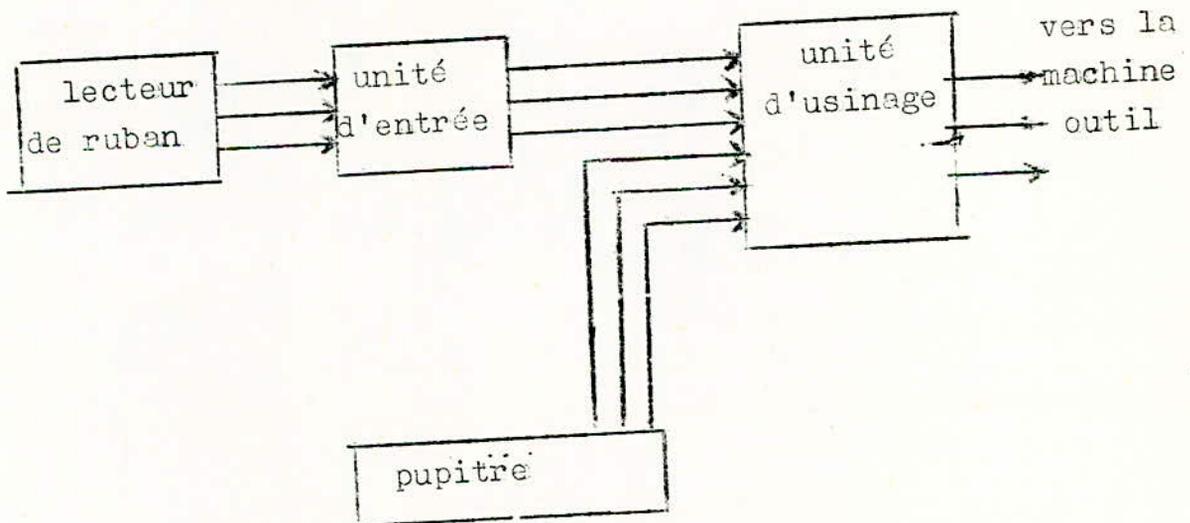


Figure II-4: Structure globale de l'unité de commande

L'organigramme global d'évolution de la machine dans le cas de l'usinage semi-automatique est donné par la figure II-5.

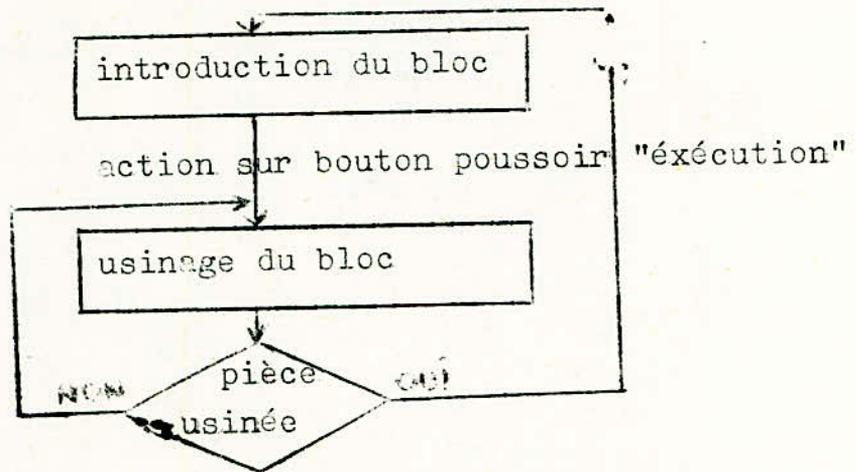


Figure II-5: Organigramme global

L'unité d'usinage de la figure II-4 enregistrera les données et délivrera les signaux relatifs à l'exécution des instructions programmées dans l'ordre chronologique adéquat. Les chapitres qui suivent seront consacrés à l'étude et à la synthèse logique de l'unité d'usinage.

Rappelons que l'unité d'usinage enregistre les informations introduites et délivre les signaux relatifs à l'exécution de chaque instruction et ce dans l'ordre chronologique adéquat. Le schéma synoptique de l'unité d'usinage est donné à la figure III-I

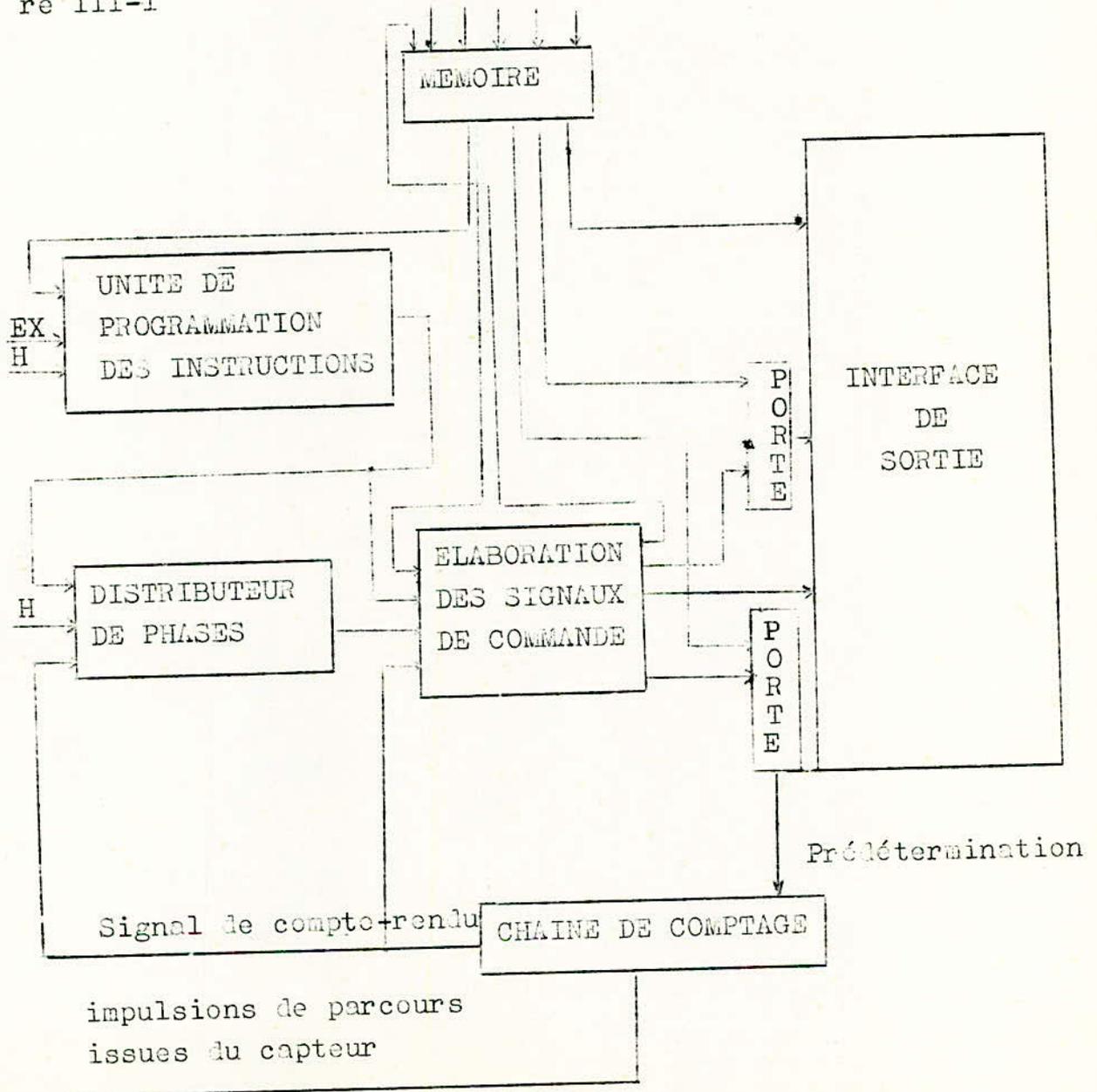


Figure III-I: STRUCTURE DE L'UNITE D'USINAGE.

FONCTIONS DE CHAQUE BLOC:

-La mémoire: Elle enregistrera les données introduites manuellement ou automatiquement. Chaque donnée aura une adresse dans la mémoire. Les fonctions de préparations rotation broche, sens déplacement table seront commandées directement à partir de la mémoire.

-L'unité de programmation des instructions: D'après les données contenues dans la mémoire, elle programmera les instructions nécessaires à la réalisation de l'usinage prescrit dans l'ordre adéquat. Elle ne commencera à programmer que si elle reçoit l'ordre d'exécution.

-Le bloc d'élaboration des signaux de commande générera les signaux relatifs au déroulement des instructions:

-Le distributeur de phases déclenchera les signaux de commande dans l'ordre chronologique adéquat.

-La chaîne de comptage décomptera les impulsions de parcours envoyées par les capteurs et enverra des signaux de compte-rendus indiquant que la cote est atteinte.

-L'interface de sortie mettra en forme les signaux issus des unités précédentes afin qu'ils puissent agir correctement sur les organes mobiles de la machine (contacts).

-Le signal d'horloge H synchronisera l'évolution de l'unité.

-Le signal "EX" sera l'ordre de début des opérations. (action sur le bouton-poussoir "EX" disposé sur le pupitre).

Dans les prochains chapitres, nous allons étudier et faire la synthèse logique de ces différentes unités.

Remarque:

On notera que le bloc d'élaboration des signaux de commande et le distributeur de phases constitueront l'unité de séquençage des phases d'instructions.

Ce chapitre sera consacré à l'étude de la structure de la mémoire et à l'introduction des données à partir du pupitre.

IV-I : STRUCTURE DE LA MEMOIRE:

La contenance de la mémoire est déterminée par le nombre total des données, nous avons fait le bilan des données au § II-2: à partir duquel nous allons déterminer la structure de la mémoire.

La mémoire sera constituée par des registres à entrées et sorties parallèles, chaque donnée sera affecté un registre. La distribution des registres est la suivante:

IV-I-1: Registre d'usinage RU:

Il est chargé par la mise à 1 de l'adresse "U". Ce registre est composé par trois cellules C_1, C_2, C_3 . Les sorties de ce registre seront décodées, chaque état correspondra à un usinage selon le tableau suivant:

C_3	C_2	C_1	
0	0	1	F = 1 Fraisage (mot U1)
0	1	0	P = 1 Perçage (mot U2)
0	1	1	A = 1 Alésage (mot U3)
1	0	0	T = 1 Taraudage (mot U4)

IV-I-2: Registre de vitesse lente table: RV:

Il sera chargé par l'adresse "V". Il contiendra la valeur de la vitesse lente de la table en millimètre par minute. Il est constitué par trois décades, une décade pour les centaines, l'autre pour les dizaines et la dernière pour les unités.

IV-I-3: Registre avance lente de la broche RW:

Il sera constitué de trois décades et sera chargé par l'adresse "W".

IV-I-4: Registre vitesse rotation de la broche RL:

Il contiendra la valeur de la vitesse de rotation de la broche en tours par minute. Il sera constitué par quatre décades (Millier, Centaine, Dizaine, Unité). Il sera chargé par l'adresse "L".

IV-I-5: Registre sens de la rotation de la broche RH:

Il comprendra deux cellules. L'état OI (mot H1) correspondra au sens trigonométrique et l'état IO (mot H2) correspondra au sens anti-trigonométrique.

IV-I-6: Registres des cotes d'avance de la table:

- Registre "RX" contiendra trois décades,
- Registre "RY" contiendra également trois décades.

IV-I-7: Registres des cotes d'avance de la broche:

- Registre "RZ₁" contiendra la cote d'avance rapide de la broche,
- Registre "RZ₂" contiendra la cote d'avance lente de la broche.

IV-I-8: Registres des signes:

- Registre "RSX" constitué de deux cellules SX₁ et SX₂,

Par convention on notera :

SX₁ = 0 et SX₂ = 1 pour le signe positif (+)

SX₁ = 1 et SX₂ = 0 pour le signe négatif (-)

- Registre "RSY" constitué également par deux cellules notées SY₁ et SY₂.

On adoptera la même convention pour ces deux cellules que précédemment.

IV-I-9: Registre des ordres de déplacement:

On aura:

- Une cellule X pour l'ordre de déplacement suivant l'axe X,
- Une cellule Y pour l'ordre de déplacement suivant l'axe Y,
- Une cellule Z₁ pour l'ordre d'avance rapide de la broche,
- Une cellule Z₂ pour l'ordre d'avance lente de la broche.

IV-I-10: Registre d'arrêt de la broche B:

Il est constitué par une seule cellule notée "B".

IV

- Registre "MPV1" contiendra en permanence la valeur de la vitesse rapide de la table,

- Registre "MPV2" contiendra en permanence la valeur de la vitesse d'avance rapide de la broche.

IV-1-I2: Registre de mémoire intermédiaire des chiffres MIC:

C'est un registre à entrées-sorties parallèles. Il mémorisera le chiffre introduit avant qu'il ne soit aiguillé vers son registre adresse.

IV-2: INTRODUCTION ET AIGUILLAGE DES DONNEES:

IV-2-I: L'introduction des données, dans le cas semi-automatique, se fait par action sur les boutons poussoirs disposés sur un pupitre qui se présente comme suit:

ADRESSES		CHIFFRE		SIGNE + -
X	Y		x I	EXECUTION
Z1	Z2		x IO	ARRET
V	W		x IOO	RAZ G
U	L		x IOOO	
H	B			

Figure IV-1: PUPIRE

Le chiffre, après codage, sera introduit dans le registre "MIC". L'action sur un bouton poussoir d'adresse permettra l'aiguillage de ce chiffre vers le registre correspondant à l'adresse considérée.

Exemple: "X +I25".

-Introduction du chiffre I25 par action sur les rotacteurs. Cè

chiffre sera codé et enregistré dans "MIC".

-L'action sur X permettra d'aiguiller ce chiffre vers le registre "RX".

-L'action sur le signe + mettra le registre "RSX" dans l'état OI ($SX_1 = 0$ et $SX_2 = 1$)

Notons que l'introduction de ce mot aurait pu se faire dans n'importe quel ordre.

L'action sur "RAZ G" mettra à zéro tous les registres de la mémoire sauf "MPVI" et "MPV2".

L'action sur "EXECUTION" déclenchera les opérations.

L'action sur "B" mettra directement à 1 le registre B.

L'action sur arrêt mettra à 0 le signal "EX" (Exécution)

IV-2-2: Aiguillage des données:

L'aiguillage des données se fera grâce aux cellules d'adresses commandées par des boutons poussoirs adresses. Ces cellules ouvriront les portes des registres d'adresses pour y enregistrer le chiffre contenu dans "MIC". Une seule cellule d'adresse doit être à 1, ce qui correspond à l'ouverture de la porte d'un seul registre d'adresse.

Nous aurons besoin de cellules de mémoires intermédiaires pour les adresses notées "MIA" et de cellules de mémoires définitives d'adresses notées "MDA". Les cellules "MDA" commanderont les portes des registres.

Les cellules de mémoires intermédiaires d'adresses seront repérées par l'indice "i". "MIA" sera donc constituée des cellules suivantes: $U_i, X_i, Y_i, V_i, W_i, L_i, H_i, Z_{1i}, Z_{2i}$,

"MDA" sera, quant à elle, constituée par les cellules suivantes $U, X, Y, V, W, L, H, Z_1, Z_2$.

Les cellules de mémoires intermédiaires seront directement reliées aux boutons poussoirs du pupitre correspondants.

Le processus de mise à 1 d'une cellule de "MDA" se fera en trois phases:

-Remise à zéro de toutes les cellules de "MDA"

-Mise à 1 de la cellule de "MDA" correspondant à celle de

"MIA", cette dernière étant déjà mise à I directement par le bouton poussoir relatif,

-Remise à zéro de toutes les cellules de "MIA" et de "MIC".

Un circuit de commande déclenchera ce processus dès l'introduction d'une adresse. Ce circuit de commande sera composé d'un compteur et de portes logiques qui commanderont les cellules de "MDA". Le compteur considéré aura 4 états dont 3 correspondront aux 3 phases du processus. Ce compteur sera donc constitué de 2 bascules J-K-h notées D_2 et D_1 . Son fonctionnement sera synchronisé par une horloge H'. Il sera codé en binaire pur. Le tableau suivant donne la correspondance entre les états du compteur et les phases du processus:

D_2	D_1	phase du processus
0	0	
0	I	Mise à zéro de toutes les cellules d'adresses définitives
I	0	Mise à I de la cellule de "MDA" correspondant à celle de "MIA" déjà mise à I.
I	I	RAZ de toutes les cellules de "MIA" et "MIC"

Les signaux d'horloge ne seront validés et comptés par le compteur que si une cellule de "MIA" est à I. Le signal d'horloge validé sera noté "VAL H'". Son équation, compte tenu de la remarque précédente, s'écrira:

$$VAL H' = H' \cdot (U_i + X_i + Y_i + V_i + W_i + L_i + H_i + Z_{1i} + Z_{2i})$$

A) Equations des signaux de mise à I des cellules de "MDA"

Le chronogramme du processus précédent est donné par la figure IV-2.

On notera que, dans ce chronogramme,

- Une cellule de "MIA" sera notée par "CMIA"

- Une cellule de "MDA" sera notée par "CMDA". La mise à I de cette cellule est réalisée par le signal "MuCMDA"

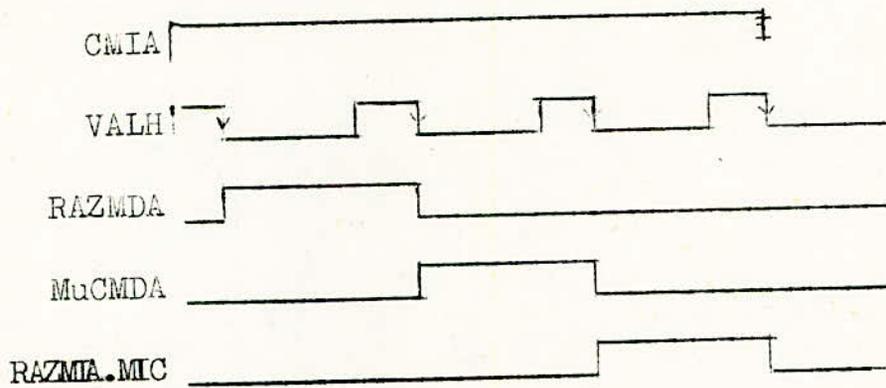


Figure IV-2: Chronogramme du processus de mise à I d'une cellule d'adrs. définitive.

Les équations de mise à I des cellules d'adresses définitives seront déduites de ce chronogramme et du tableau de correspondance précédent:

Mise à I de la cellule U	$MuU = D_2 \cdot \bar{D}_I \cdot U_i$
Mise à I de la cellule X	$MuX = D_2 \cdot \bar{D}_I \cdot X_i$
Mise à I de la cellule Y	$MuY = D_2 \cdot \bar{D}_I \cdot Y_i$
Mise à I de la cellule V	$MuV = D_2 \cdot \bar{D}_I \cdot V_i$
Mise à I de la cellule W	$MuW = D_2 \cdot \bar{D}_I \cdot W_i$
Mise à I de la cellule L	$MuL = D_2 \cdot \bar{D}_I \cdot L_i$
Mise à I de la cellule H	$MuH = D_2 \cdot \bar{D}_I \cdot H_i$
Mise à I de la cellule Z_I	$MuZ_I = D_2 \cdot \bar{D}_I \cdot Z_{Ii}$
Mise à I de la cellule Z_2	$MuZ_2 = D_2 \cdot \bar{D}_I \cdot Z_{2i}$

B) Equation de remise à zéro de "MDA":

La remise à zéro de "MDA" correspond à l'état I du compteur. Son équation sera:

$$RAZ\ MDA = \bar{D}_2 \cdot D_I \cdot (U_i + X_i + Y_i + V_i + W_i + Z_{Ii} + Z_{2i})$$

C) Equation de remise à zéro de "MIA" et "MIC":

Pour plus de sécurité, on imposera que la remise à zéro de "MIA" et "MIC" ne se fera que si la cellule de "MDA" a été

effectivement mise à I. Comme cette phase du processus de mise à I d'une cellule d'adresse définitive correspond à l'état 3 du compteur, l'équation de "RAZ MIA.MIC" sera :

$$\text{RAZ MIA.MIC} = D_2 \cdot D_1 \cdot (U + X + Y + V + W + Z_1 + Z_2 + L + H)$$

Le schéma général de la mémoire avec le circuit de commande de la mise à I d'une cellule d'adresse définitive est donné par les planches "I" et "Ibis".

Le faible nombre des registres mémoires nous a amenés à choisir un transfert parallèle entre "MIC" et les registres mémoires. Si le nombre de ces registres était plus grand, nous serions amenés à choisir un transfert série, ce qui donnerait un registre "MIC" à entrées parallèles et sorties séries et des registres mémoires à entrées séries et sorties parallèles. Dans ce cas on aurait un circuit de commande de décalage à gauche (12 décalages) pour le transfert du contenu de "MIC" dans les registres mémoires.

Notons que le choix du transfert série aurait très largement simplifié les connexions.

PLANNING I

Circuit de commande de la mise à 1 d'une cellule d'adresse définitive

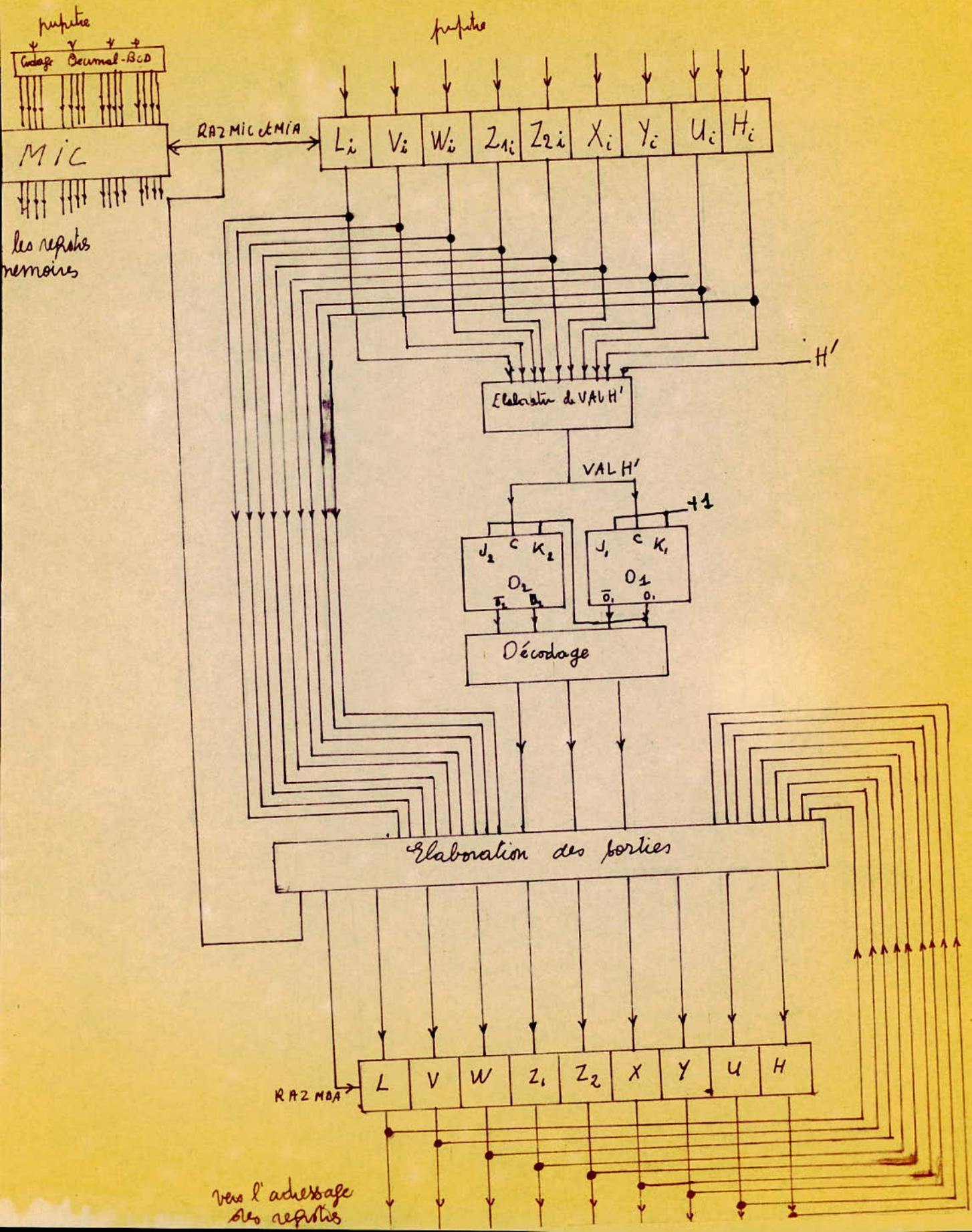
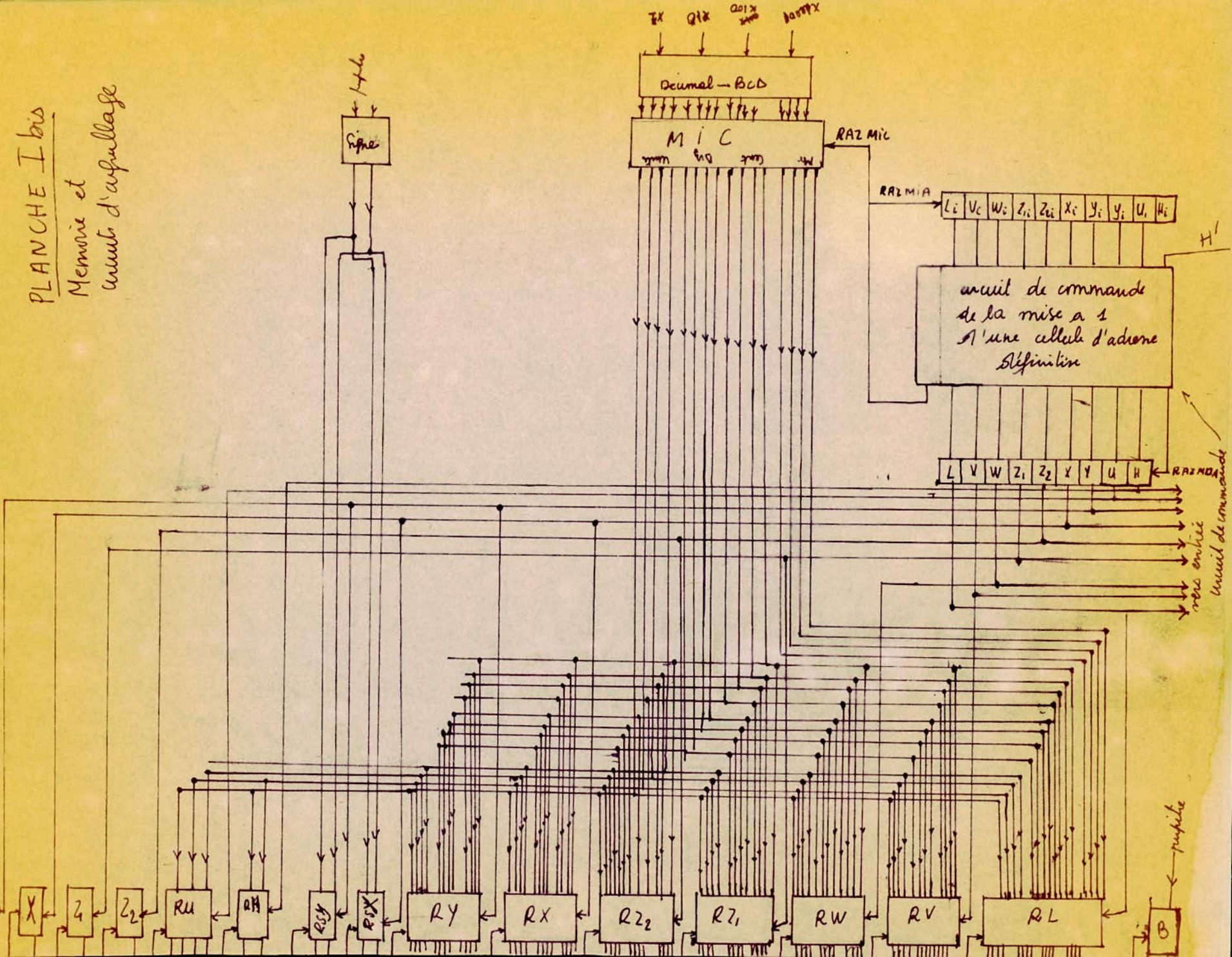


PLANCHE I bis

Mémoire et
circuit d'assemblage



H'

circuit de commande
vers entrée
circuit de commande

pipette

RAZMG

V-I: ORGANIGRAMMES ET GRAPHE D'EVOLUTION.

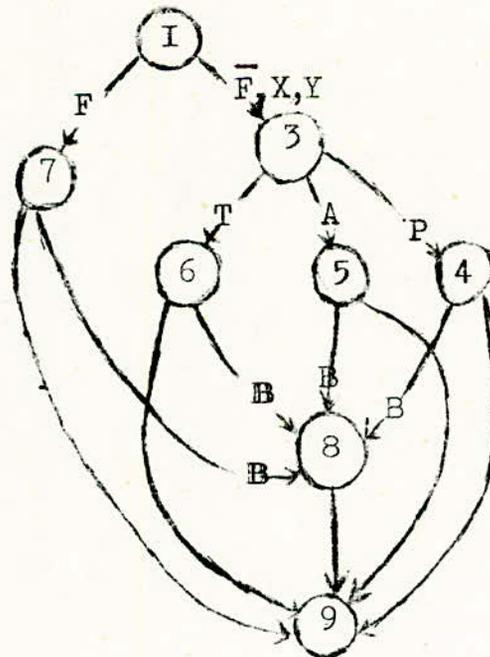
Comme les fonctions préparatoires sont directement commandées par la mémoire, cette unité programmera donc, en vu de l'usinage d'une pièce, les instructions suivantes:

- Déplacement rapide de la table (positionnement de la pièce devant l'outil),
- Le cycle broche de l'usinage prescrit,
- L'ordre d'arrêt de la broche si on l'a effectivement programmé,

Dans le cas du fraisage, (UI), elle ne programmera pas le déplacement rapide table.

L'organigramme d'évolution de cette unité est donné par la figure V-I.

Cet organigramme nous permet de tracer le graphe des phases d'évolution suivant:



Les numéros des phases correspondent aux numéros indiqués sur l'organigramme.

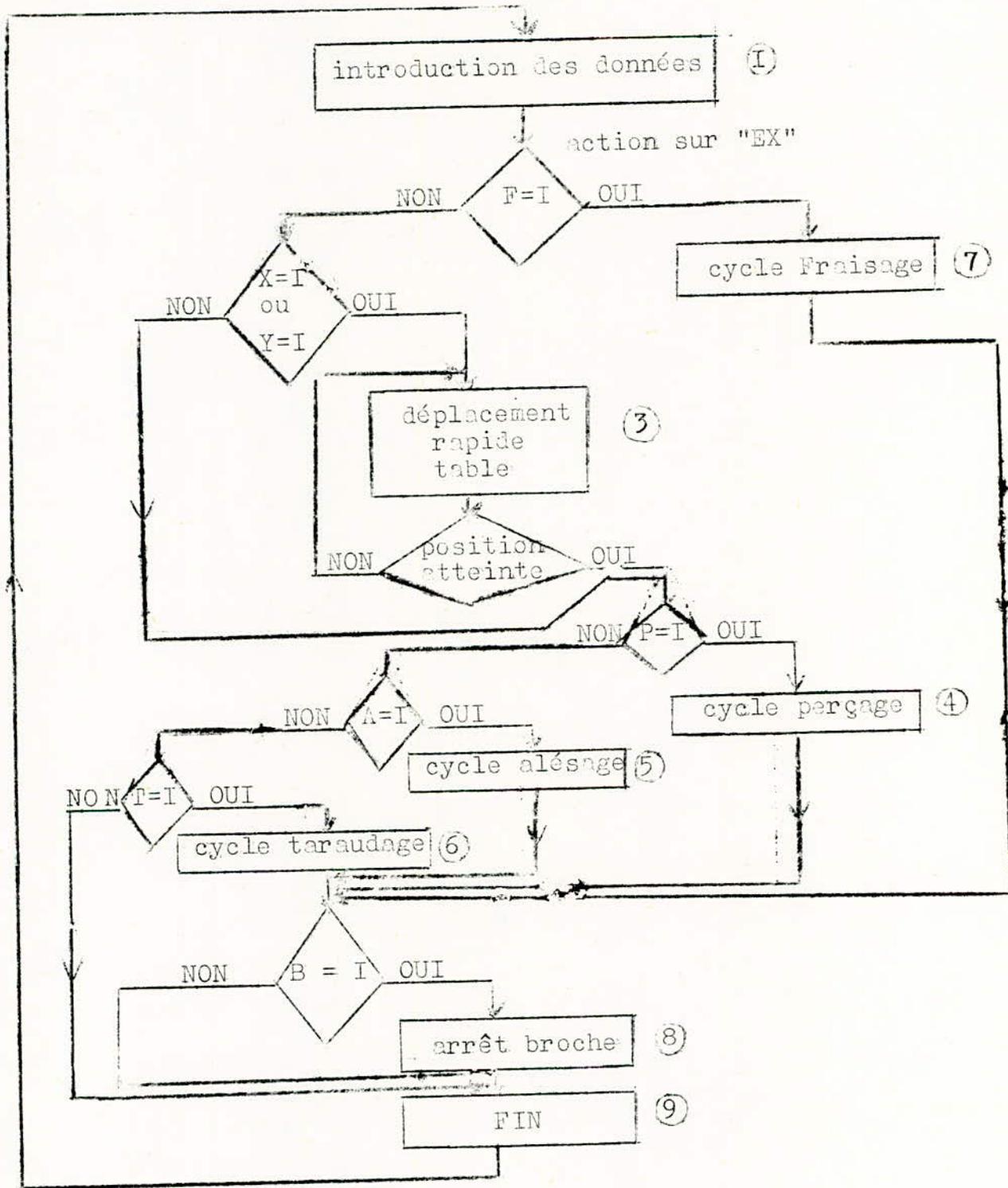
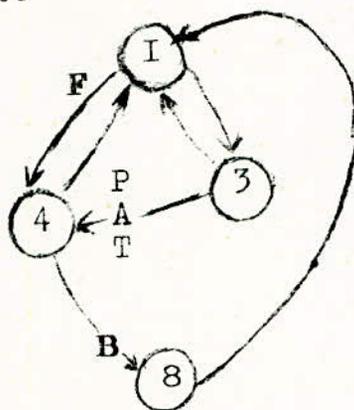


FIGURE V-I : ORGANIGRAMME D'EVOLUTION DE L'UNITE DE PROGRAMMATION

Nous voyons que nous pouvons regrouper les phases d'évolution suivantes: (4) (5) (6) et (7) correspondant aux cycles d'usinage (perçage, alésage, taraudage, fraisage) en une seule phase notée (4) car on ne prescrit qu'un seul usinage dans un bloc. D'autre part nous regrouperons les phases (1) et (9) en une seule phase notée (I) dite phase d'attente. Ceci nous donne le nouveau graphe d'évolution suivant.



L'instruction déplacement rapide de la table correspondant à la phase d'évolution (3) sera déclenchée par un signal noté "DET", l'instruction usinage, phase d'évolution (4) sera déclenchée par les signaux "FRA"(cas du fraisage), "PER"(cas du perçage), "ALE"(cas de l'alésage), et "TAR"(cas du taraudage) selon que l'un ou l'autre de ces usinages est prescrit, enfin l'instruction arrêt broche, phase d'évolution (8) sera déclenchée par

v. Compteur d'instructions

Pour générer ces signaux nous utiliserons un circuit séquentiel qui aura autant de sorties que de signaux. Chaque sortie correspondra à une phase d'évolution. Comme une instruction ne peut avoir lieu que si certaines conditions (contenues dans la mémoire) sont réalisées et que si la précédente a été effectivement exécutée, le schéma du circuit sera:

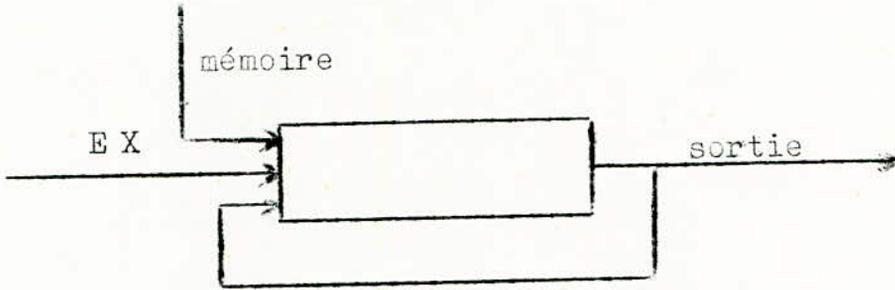


Figure V-2: Schéma de principe de l'unité de programmation

L'organe principal de cette unité sera un compteur synchrone codé en binaire naturel à quatre états, chaque état correspondra à une instruction.

Ce compteur ne sera incrémenté (passage d'un état au suivant) que si l'instruction en cours (état présent) est terminée, il ne commencera à compter que si l'ordre d'exécution est donné.

Le tableau suivant donne les états du compteur et les phases correspondantes.

H	Q ₂	Q ₁
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1
4	0	0

phase "attente" 1
 phase "déplacement rapide table" 3
 phase "usinage" 4
 phase "arrêt broche" 8

V-3: EQUATIONS DES DIFFERENTS SIGNAUX:

Nous allons établir les équations des signaux "DET", "FRA", "PER", "ALE", "TAR" et "ARBG" en fonction des états du compteur et du contenu de la mémoire. Nous déduirons ces équations à partir du tableau de vérité suivant

Q ₂	Q ₁	B	X	Y	F	P	A	T	DET	FRA	PER	ALE	TAR	ARBG
0	0													
0	1		I		O				I					
0	1		I	I	O				I					
0	1		I	I	O				I	I				
1	0				I						I			
1	0											I		
1	0							I					I	
1	1							I						I

Les équations des différents signaux seront donc :

$$DET = \bar{Q}_2 \cdot Q_1 \cdot \bar{F} \cdot (X + Y)$$

$$PER = Q_2 \cdot \bar{Q}_1 \cdot P$$

$$FRA = Q_2 \cdot \bar{Q}_1 \cdot F$$

$$ALE = Q_2 \cdot \bar{Q}_1 \cdot A$$

$$TAR = Q_2 \cdot \bar{Q}_1 \cdot T$$

$$ARBG = Q_2 \cdot Q_1 \cdot B$$

Les états du compteur seront décodés et donneront :

$$\bar{Q}_2 \cdot \bar{Q}_1 = E_0$$

$$Q_2 \cdot \bar{Q}_1 = E_1$$

$$Q_2 \cdot Q_1 = E_2$$

$$Q_2 \cdot \bar{Q}_1 = E_3$$

V-4: EQUATION DU SIGNAL D'INCREMENTATION "INCP":

On a vu que le compteur ne pourra compter que si le signal d'exécution est donné et ne pourra évoluer que si une instruction est terminée, et que si la mémoire contient effectivement une instruction non réalisée.

La table de vérité de ce signal est la suivante:

H	EX	X	Y	F	P	A	T	B	CU	DET	INCP
I	I	I							0	0	I
I	I		I						0	0	I
I	I			I					0	0	I
I	I				I				0	0	I
I	I					I			0	0	I
I	I						I		0	0	I
I	I							I	0	0	I

De ce tableau on déduit l'équation suivante :

$$INCP = H \cdot EX \cdot \overline{CU} \cdot \overline{DET} \cdot (X + Y + F + A + P + T + B)$$

D'autre part il faut prévoir une remise à zéro automatique du compteur dans le cas où on n'a pas programmé l'arrêt broche.

venant de la mémoire d'usage

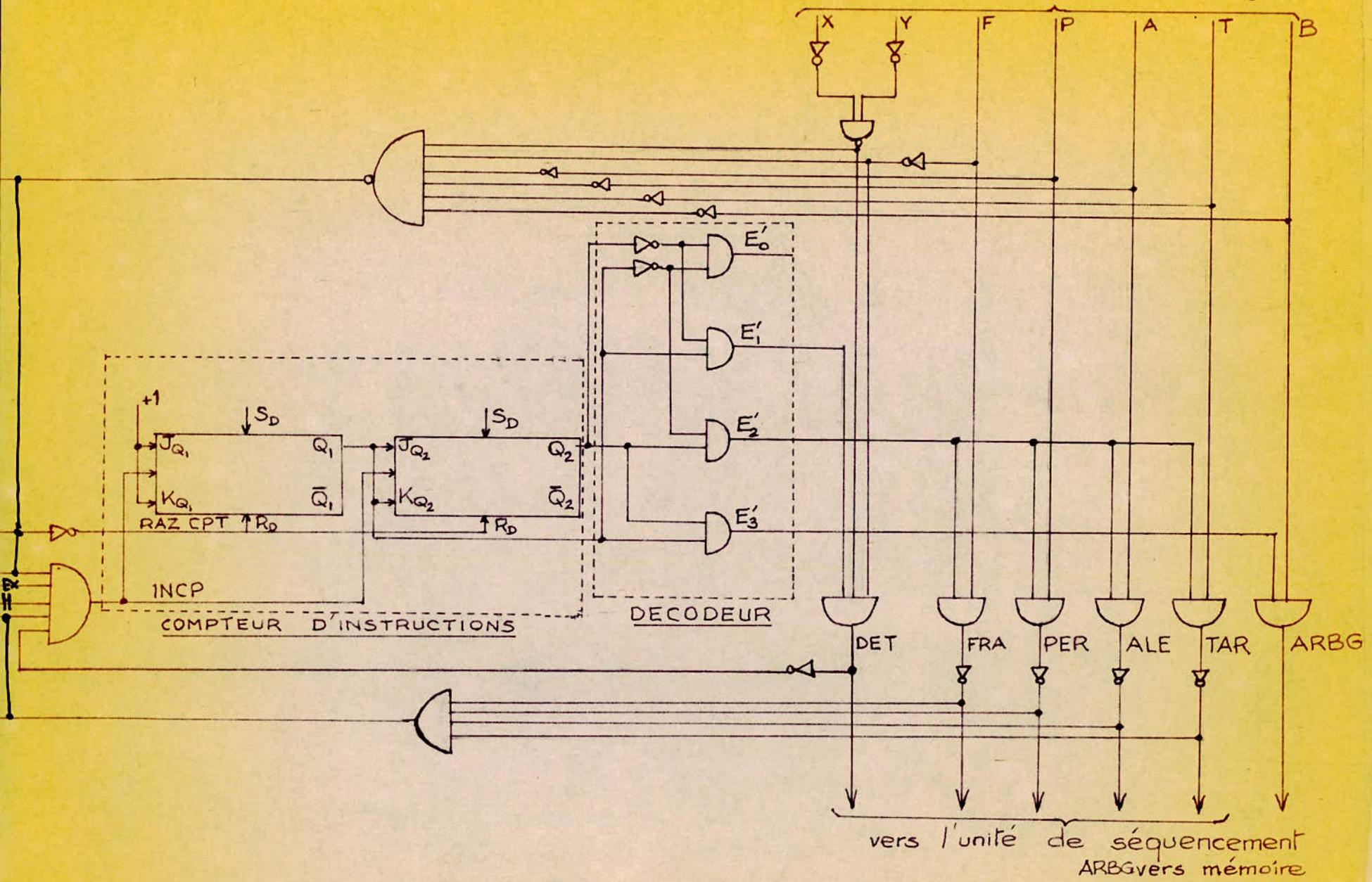


PLANCHE II SCHEMA GENERAL DE L'UNITE
DE PROGRAMMATION DES INSTRUCTIONS

En effet le compteur risque de rester dans l'état E_2 car les signaux F,P,A,T,X,Y,B sont tous nuls et il n'y aura pas incrémentation du compteur.

Le signal "RAZ CPT" remettra à zéro le compteur. Son équation sera donc:

$$\text{RAZ CPT} = \overline{F + P + A + T + X + Y + B}$$

Ce compteur sera constitué de deux bascules "Maitre-Esclave"

Remarque:

L'équation de "INCP" implique obligatoirement "EX"=0 lors de l'introduction des données .

$$\text{RAZ EX} = \overline{F + P + A + T + X + Y + B}$$

CHAPITRE VI

L'UNITE DE SEQUENCEMENT
DES PHASES D'INSTRUCTIONS

L'unité de séquencement se compose du distributeur de phases et du bloc d'élaboration des signaux de commande. Pour pouvoir effectuer la synthèse de cette unité, nous allons faire le bilan des signaux à générer pour chaque instruction. Pour cela nous allons établir les organigrammes détaillés de chaque instruction. A partir de ces organigrammes, nous déduirons les graphes des phases d'évolution de chaque instruction qui nous permettront de déterminer le distributeur de phase; nous établirons enfin les équations des différents signaux de commande. Quelques remarques préliminaires sont nécessaires.

VI-I: REMARQUES PRELIMINAIRES :

- Les organigrammes seront établis d'après les différentes méthodes d'usinage définies au §II-I-3. et compte tenu du fait que l'instruction "déplacement rapide de la table" et l'instruction "fraisage" ne sont pas contenues dans un même bloc,
- Avant qu'un ordre de déplacement ne soit donné, il faut que les décompteurs soient en position de décomptage après avoir été prédéterminés que ce soit pour le mouvement de la table ou l'avance de la broche.
- Le réglage de la vitesse sera fait par un transfert de la valeur numérique de celle ci à l'entrée des différentes chaînes d'asservissement de la vitesse.
L'entrée de l'asservissement de la vitesse de la broche sera noté "MDV2".
L'entrée de l'asservissement de la vitesse du mouvement de la table suivant X sera notée "MDVIX".
L'entrée de l'asservissement de la vitesse du mouvement de la table suivant Y sera notée "MDVIY".
- La prédétermination des décompteurs se fera par un transfert parallèle des registres des cotes de la mémoire. (RX, RY, RZ₁, RZ₂).

-Les ordres de transfert parallèle seront notés par une flèche horizontale,
-Les noms des registres sont ceux adoptés au chapitre III.

VI-2: ORGANIGRAMMES DÉTAILLÉES DES INSTRUCTIONS:

VI-2-1: Organigramme détaillé de l'instruction "déplacement rapide de la table":

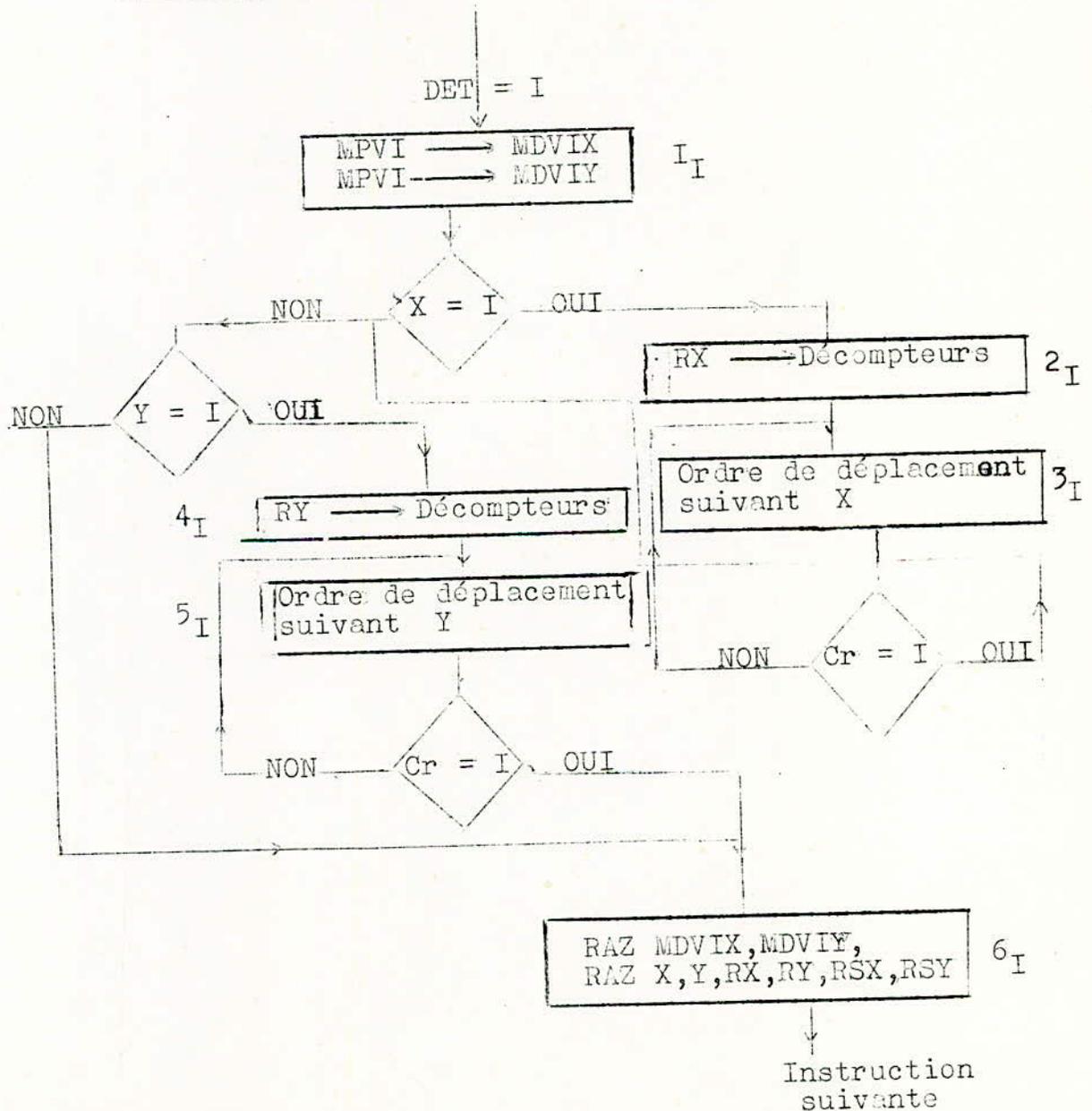


Figure VI-1: Organigramme détaillé de l'instruction déplacement rapide de la table.

Dans cet organigramme on dénombre 6 phases.
Les signaux correspondants à ces phases sont indiqués sur le tableau donné par la figure VI-2.
Le signal "Cr" est envoyé par la chaîne de comptage lorsque la cote est atteinte.

PHASE DE L'ORGANIGRAMME "ORG 1"	SIGNAL CORRESPONDANT
1_I	PUMDVI
2_I	OPX
3_I	DX
4_I	OPY
5_I	DY
6_I	RAZ MDVIX, MDVIY RAZ RX, RY, X, Y, RSX, RSY.

Figure VI-2: Tableau de correspondance entre signaux et phases de "ORG 1".

VI-2-2: Organigramme détaillé de l'instruction perçage:

Cet organigramme noté "ORG 2" est donné par la figure VI-3. L'instruction perçage correspond à un cycle fixe de la broche .

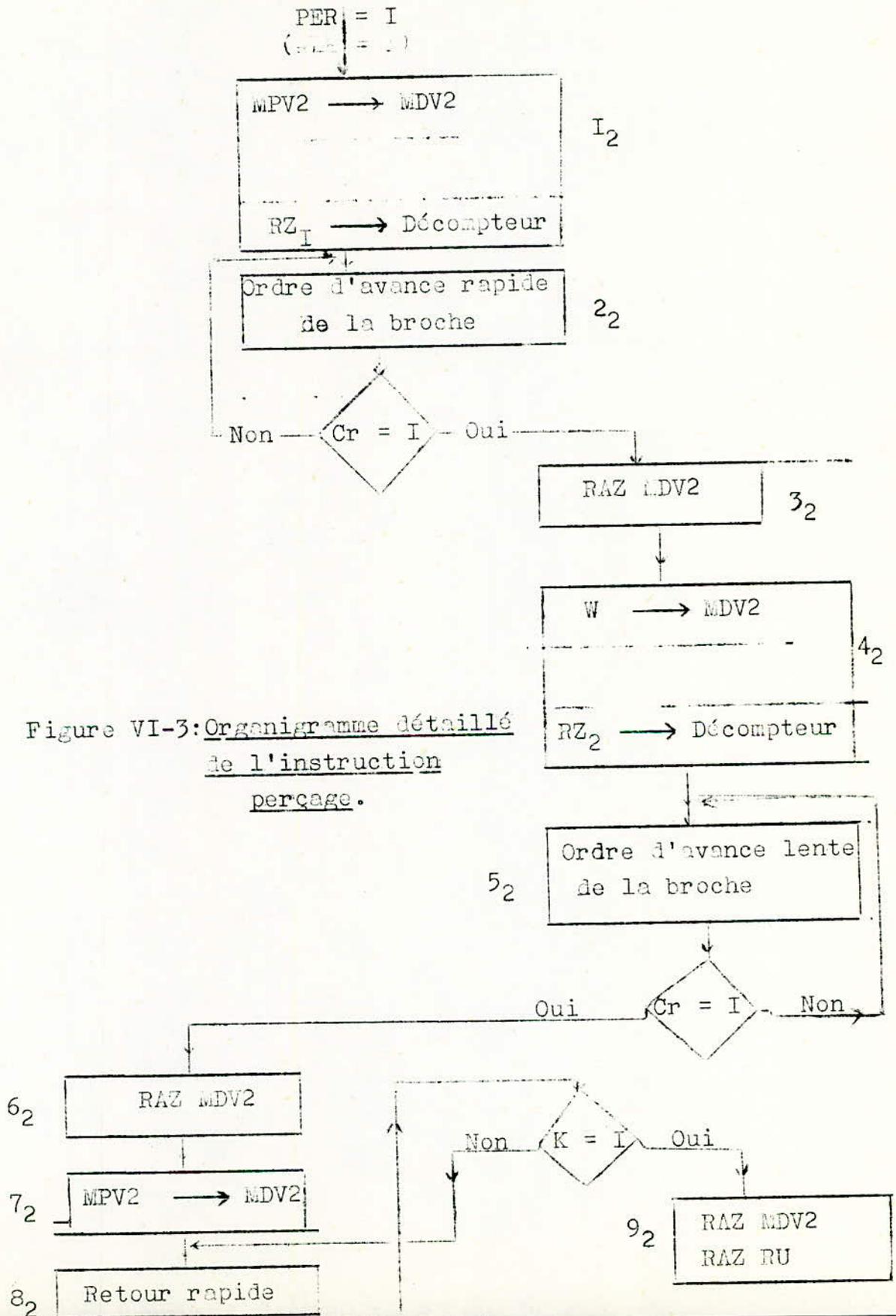


Figure VI-3: Organigramme détaillé
de l'instruction
perçage.

Cet organigramme comprend 9 phases. Les signaux correspondants à ces phases sont indiqués sur le tableau donné par la figure VI-4.

PHASES DE L'ORGANIGRAMME "ORG 2"	SIGNAL CORRESPONDANT
1_2	PUMDV2 et OPZ _I
2_2	DZ _I
3_2	RAZ MDV2
4_2	WUMDV2 et OPZ ₂
5_2	DZ ₂
6_2	RAZ MDV2
7_2	PUMDV2
8_2	RET
9_2	RAZ MDV2 et RAZ MRU

Figure VI-4: Tableau de correspondance entre signaux et phases de "ORG 2":

VI-2-3: Organigramme détaillé de l'alésage:

Cet organigramme noté "ORG 3" est donné par la figure VI-5. On remarque que "ORG 3" est le même que "ORG 2" car le cycle broche correspondant à l'alésage est identique à celui du perçage.

Cet organigramme comprend donc 9 phases. Les signaux correspondants à ces phases sont indiqués sur le tableau donné par la figure VI-6.

On remarquera que le tableau de la figure VI-6 est exactement le même que celui de la figure VI-4 à la seule différence que les phases du premier tableau sont repérées par l'indice 3.

ALE = I

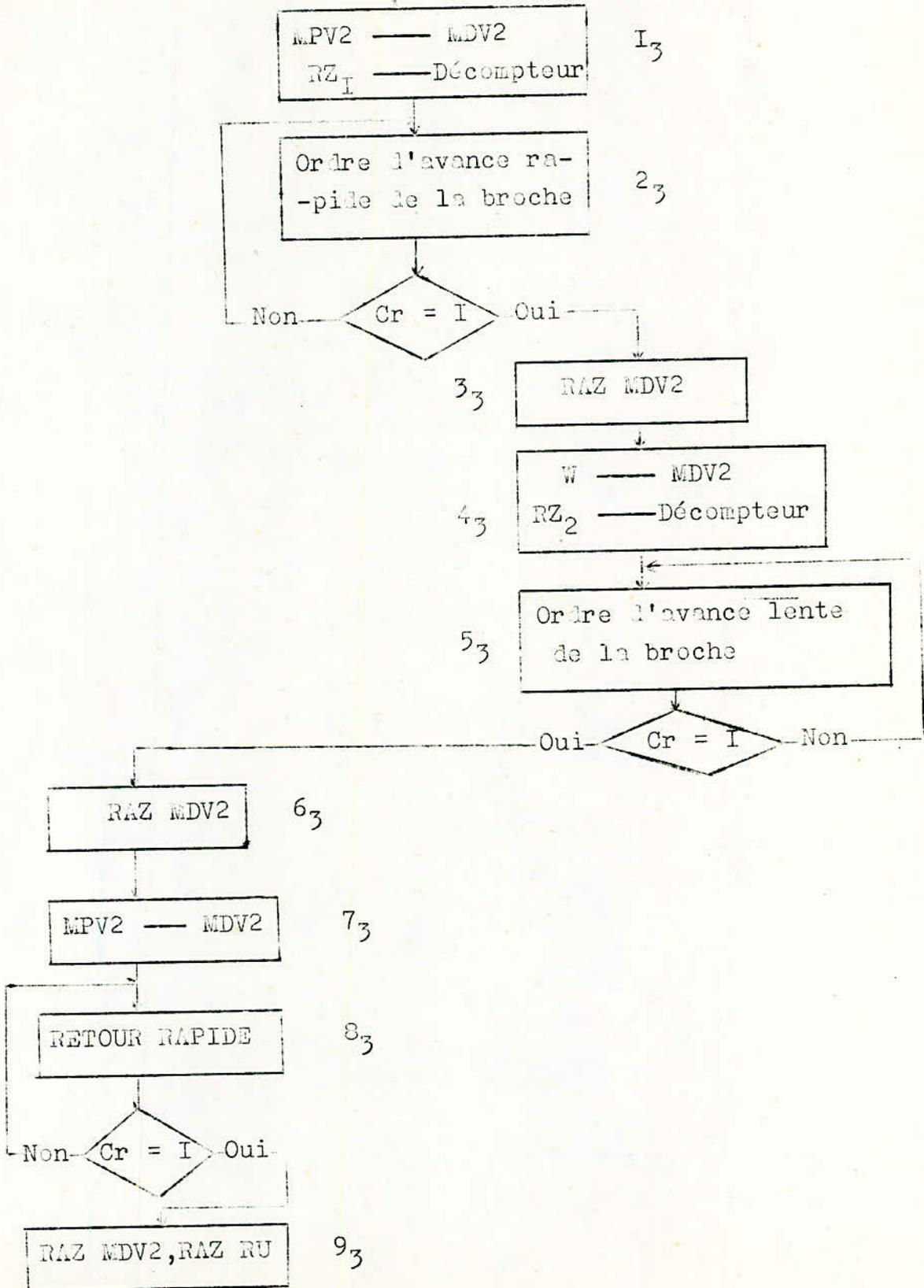


Figure VI-5: Organigramme détaillé de l'instruction alésage.

PHASES DE L'ORGANIGRAMME "ORG 3"	SIGNAL CORRESPONDANT
1_3	PUMDV2 et OPZ _I
2_3	DZ _I
3_3	RAZ MDV2
4_3	WUMDV2 et OPZ ₂
5_3	DZ ₂
6_3	RAZ MDV2
7_3	PUMDV2
8_3	RET
9_3	RAZ MDV2 et RAZ RU

Figure VI-6: Tableau de correspondance entre les signaux et Les phases de "ORG 3":

VI-2-4: Organigramme détaillé de l'instruction taraudage:

Cet organigramme noté "ORG 4" est donné par la figure VI-7. Le cycle de la broche correspondant au taraudage, comme les cycles précédents sera un cycle fixe.

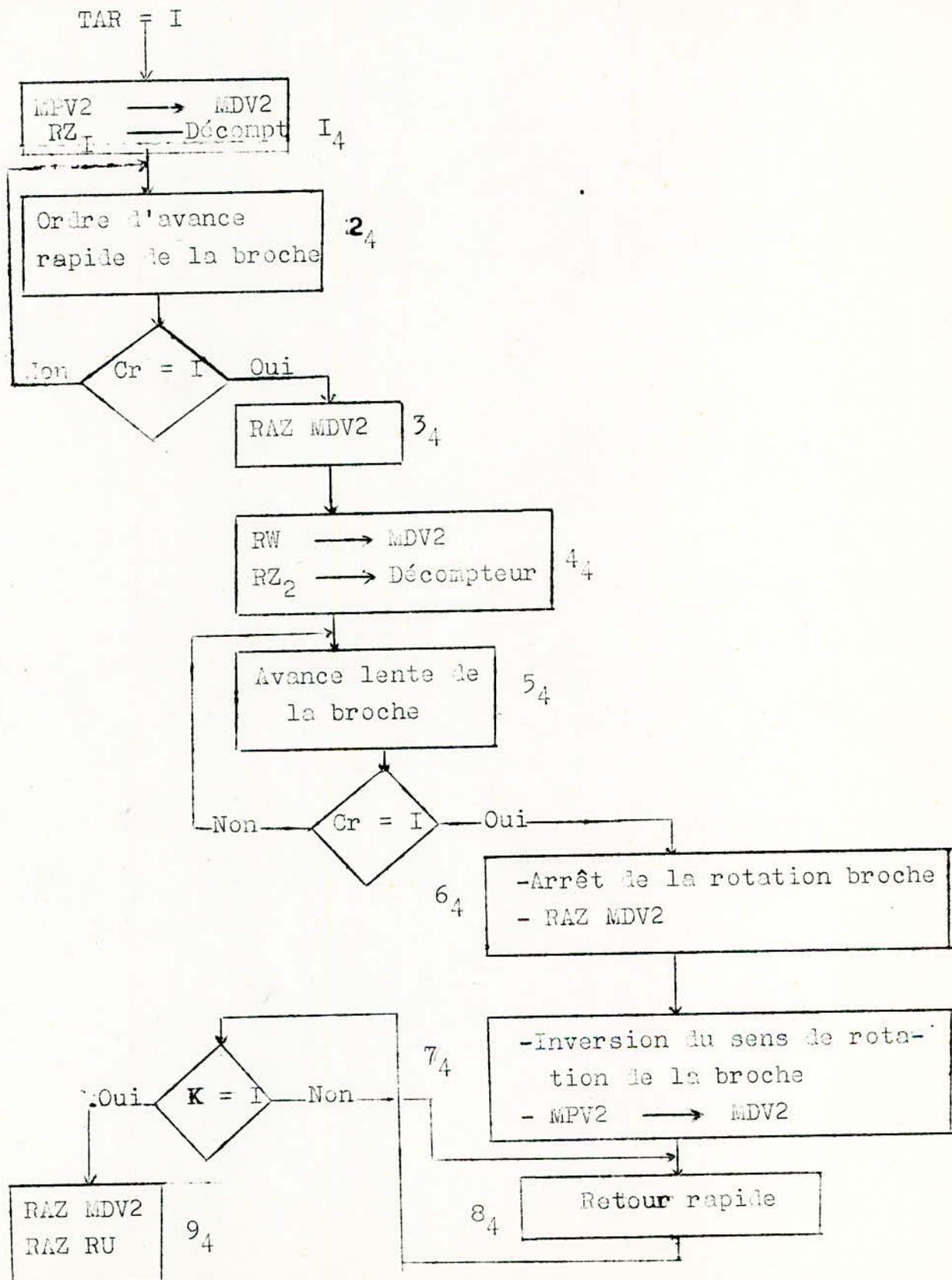


Figure VI-7: Organigramme détaillé de l'instruction taraudage.

Cet organigramme comprend 9 phases. Les signaux correspondants à ces phases sont indiqués sur le tableau donné par la figure VI-8.

PHASES DE L'ORGANIGRAMME "ORG 4"	SIGNAL CORRESPONDANT
I_4	PUMDV2 et OPZ_I
2_4	DZ_I
3_4	RAZ MDV2
4_4	WUMDV2 et OPZ_2
5_4	DZ_2
6_4	RAZ MDV2 et ARBT
7_4	INVB et PUMDV2
8_4	RET
9_4	RAZ MDV2 et RAZ RU

Figure VI-8: Tableau de correspondance entre signaux et phases de "ORG 4".

VI-2-5: Organigramme détaillé de l'instruction fraisage:

Cet organigramme noté "ORG 5" est donné par la figure VI-9.

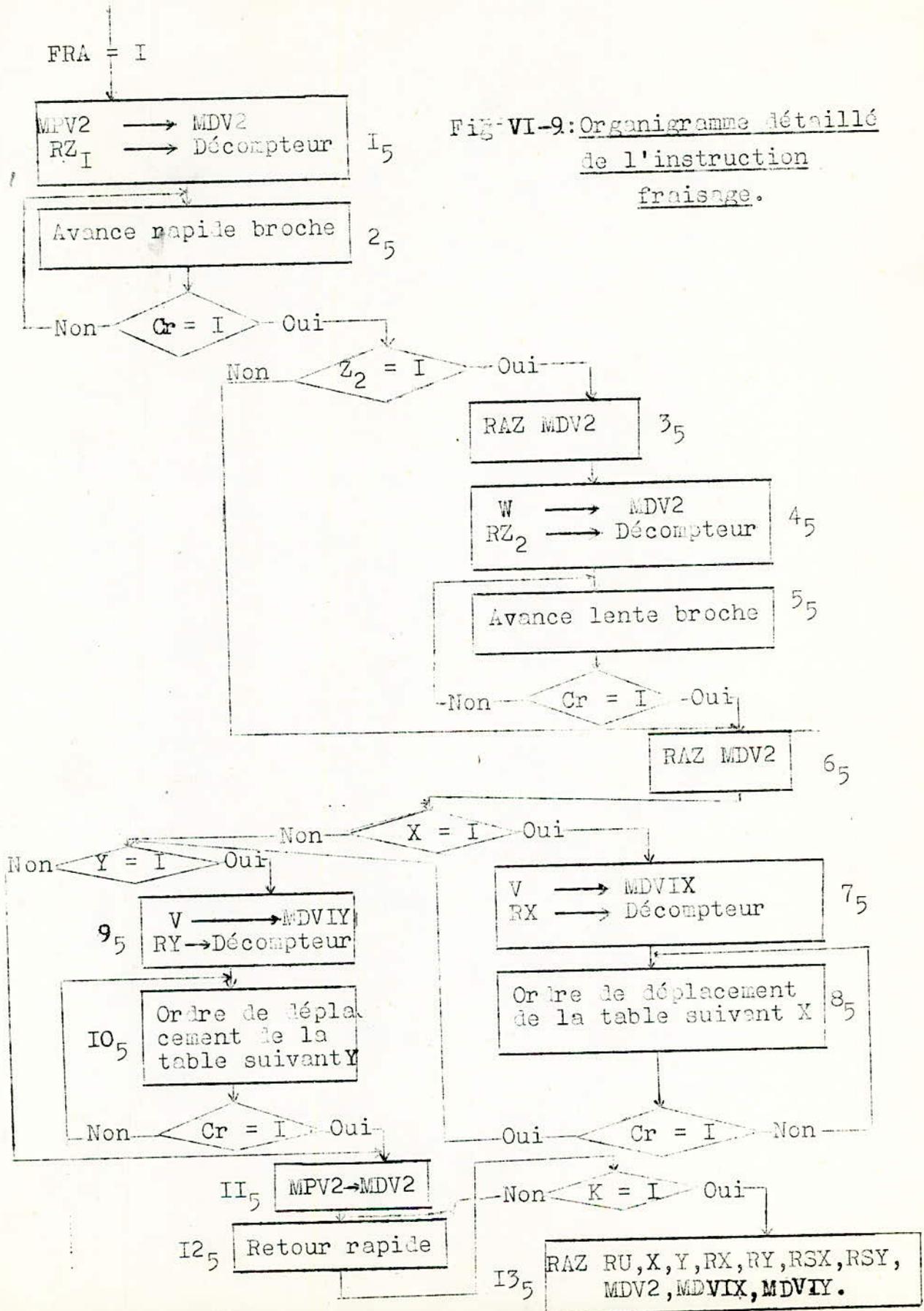


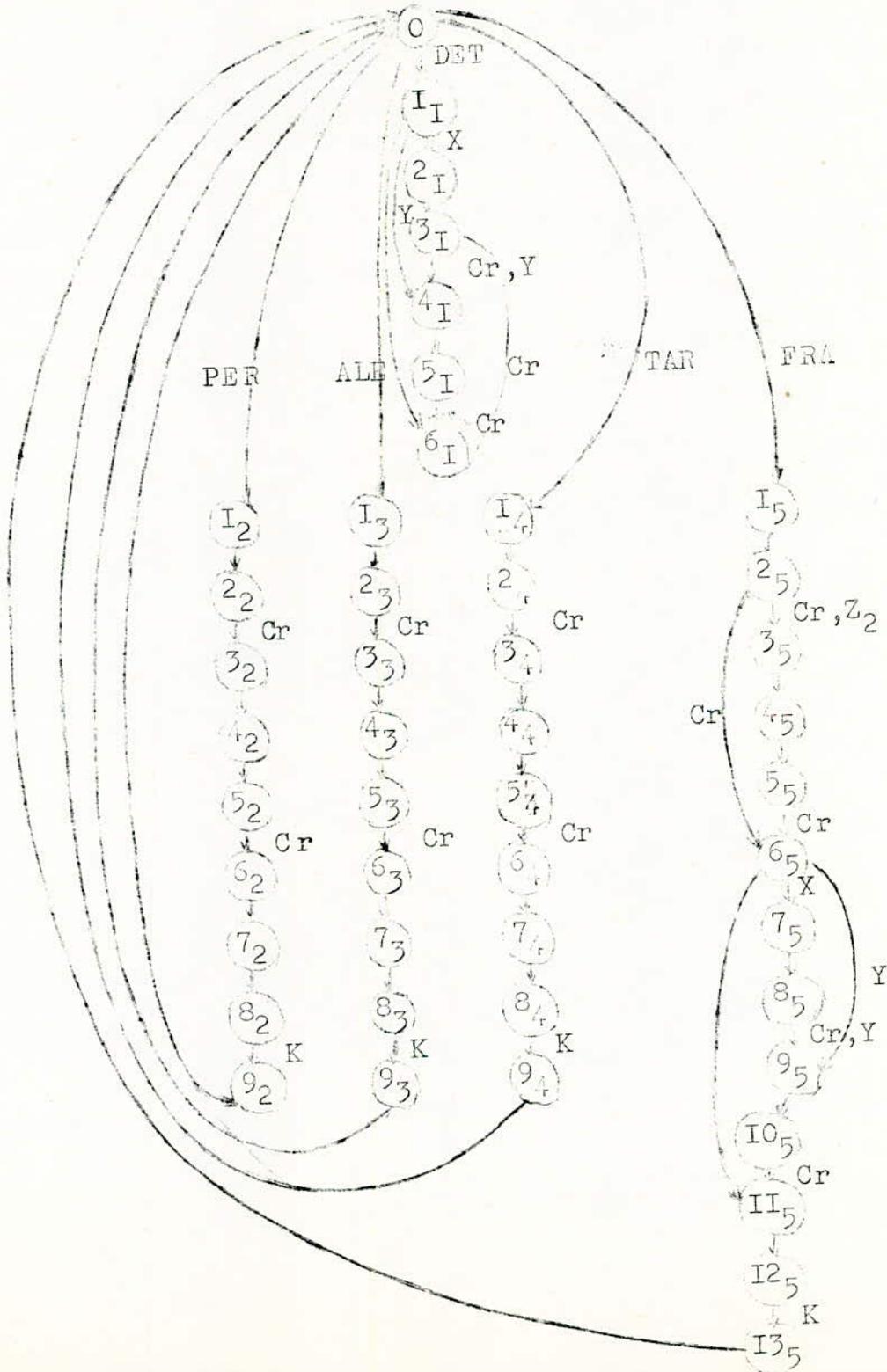
Fig-VI-9: Organigramme détaillé de l'instruction fraisage.

Cet organigramme comprend 13 phases. Les signaux correspondants à ces phases sont indiqués sur le tableau donné par la figure VI-10.

PHASES DE L'ORGANIGRAMME "ORG 5"	SIGNAL CORRESPONDANT
I ₅	PUMDV2 et OPZ _I
2 ₅	DZ _I
3 ₅	RAZ MDV2
4 ₅	UMDV2 et OPZ ₂
5 ₅	DZ ₂
6 ₅	RAZ MDV2
7 ₅	VUMDVIX et OPX
8 ₅	DX
9 ₅	VUMDVIIY et OPY
10 ₅	MDY
11 ₅	PUMDV2
12 ₅	RET
13 ₅	RAZ MDV2, RU et RAZ RX, RY, RSX, RSY, X, Y, MDVIX, MDVIY.

Fig VI-10: Tableau de correspondance entre signaux et phases de "ORG 5":

De ces organigrammes on réduit le graphe d'évolution de la machine.



VI-3: BILAN DES SIGNAUX DE COMMANDE:

Le tableau de la figure VI-II donne le bilan des signaux de commande avec, pour chaque signal, l'action qu'il réalise.

SIGNAL	ACTION CORRESPONDANTE
PUMDVI	Ordre de transfert du contenu de MPV1 dans MDVIX et MDVIY
PUMDV2	Ordre de transfert du contenu de MPV2 dans MDV2
WUMDV2	Ordre de transfert du contenu de RW dans MDV2
VUMDVIX	Ordre de transfert du contenu de RW dans MDVIX
VUMDVIY	Ordre de transfert du contenu de RW dans MDVIY
OPZ _I	Ordre de transfert du contenu de RZ _I dans décompteur
OPZ ₂	Ordre de transfert du contenu de RZ ₂ dans décompteur
OPX	Ordre de transfert du contenu de RX dans décompteur
OPY	Ordre de transfert du contenu de RY dans décompteur
DZ _I	Ordre d'avance rapide de la broche
DZ ₂	Ordre d'avance lente de la broche
DX	Ordre de déplacement de la table suivant l'axe X
DY	Ordre de déplacement de la table suivant l'axe Y
RET	Ordre de retour rapide de la broche.
RAZ RU, RX,RY, RSX,RSY, MDVIX, MDVIY, MDV2	Remise à zéro des registres indiqués
ARBT	Remise à zéro de RH
INVB	Mise à I de H2

VI-4; DISTRIBUTEUR DE PHASES:

Le rôle du distributeur de phases est de déclencher les signaux précédents dans l'ordre chronologique correspondant au graphe d'évolution de chaque instruction. Ce distributeur de phases sera un compteur synchrone modulo 14 comptant en binaire naturel. Il sera donc constitué de 4 bascules J-K-h notées B_4, B_3, B_2 et B_1 . Le tableau de la figure VI-12 donne la correspondance entre les états du compteur et les phases des graphes d'évolution.

ETATS DU COMPTEUR				PHASES D'EVOLUTION	
B_4	B_3	B_2	B_1		
0	0	0	0	Phase:	Attente
0	0	0	I	Phases	I_1, I_2, I_3, I_4, I_5
0	0	I	0	Phases	$2_2, 2_3, 2_4, 2_5$
0	0	I	I	Phases	$3_2, 3_3, 3_4, 3_5$
0	I	0	0	Phases	$4_2, 4_3, 4_4, 4_5$
0	I	0	I	Phases	$5_2, 5_3, 5_4, 5_5$
0	I	I	0	Phases	$6_2, 6_3, 6_4, 6_7$
0	I	I	I	Phases	$2_1, 7_5$
I	0	0	0	Phases	$3_1, 8_5$
I	0	0	I	Phases	$4_1, 9_5$
I	0	I	0	Phases	$5_1, 10_5$
I	0	I	I	Phases	$7_2, 7_3, 7_4, 11_5$
I	I	0	0	Phases	$8_2, 8_3, 8_4, 12_5$
I	I	0	I	Phases	$6_1, 9_2, 9_3, 9_4, 13_5$

Figure VI-12: Tableau de correspondance entre les états du compteur et les phases d'évolution:

Cette distribution a été faite dans un souci de minimisation des équations des différents signaux .
 Nous allons établir les chronogrammes des différentes instructions compte tenu de cette distribution .

VI- 5: CHRONOGRAMMES DES DIFFERENTES INSTRUCTIONS:

Ces chronogrammes sont idéaux, les retards dus aux composants électroniques ne sont pas figurés.

Les ~~planches~~ III, IV, V, VI donnent les différents chronogrammes.

VI-6: EQUATIONS DES SIGNAUX DE COMMANDE:

Nous avons fait le bilan des signaux de commande, il s'agit maintenant d'établir les équations de ces signaux en fonction des états du compteur, des signaux d'autorisation (DET, PER, ALE, TAR, FRA, X, Y, Z₁ et Z₂) et des signaux de compte rendu (Cr et K). Pour cela nous allons établir les tables de vérité de ces signaux et en déduire simplement leurs équations.

DET	FRA	PER	ALE	TAR	B ₄	B ₃	B ₂	B ₁	X	Y	Z ₁	Z ₂	Cr	K	
	I				0	0	0	I			I				OPZ ₁
		I			0	0	0	I			I				I
			I		0	0	0	I			I				I
				I	0	0	0	I			I				I
	I				0	I	0	0					I		OPZ ₂
		I			0	I	0	0					I		I
			I		0	I	0	0					I		I
				I	0	I	0	0					I		I
	I				0	I	0	0					I		WUMDV2
		I			0	I	0	0					I		I
			I		0	I	0	0					I		I
				I	0	I	0	0					I		I

DET	FRA	PER	ALE	TAR	B ₄	B ₃	B ₂	B ₁	X	Y	Z ₁	Z ₂	Cr	K		
	I				O	O	O	I			I					PUMDV2
		I			O	O	O	I			I					I
			I		O	O	O	I			I					I
				I	O	O	O	I			I					I
	I				I	O	I	I								I
		I			I	O	I	I								I
			I		I	O	I	I								I
				I	I	O	I	I								I
	I				O	O	I	O			I		O			DZ ₁
		I			O	O	I	O			I		O			I
			I		O	O	I	O			I		O			I
				I	O	O	I	O			I		O			I
	I				O	I	O	I				I	O			DZ ₂
		I			O	I	O	I				I	O			I
			I		O	I	O	I				I	O			I
				I	O	I	O	I				I	O			I
I					O	I	I	I	I							OPX
	I				O	I	I	I	I							I
					O	I	I	I	I							I
I					I	O	O	I		I						OPY
	I				I	O	O	I		I						I
					I	O	O	I		I						I
I					I	O	O	O	I				O			DX
	I				I	O	O	O	I				O			I
					I	O	O	O	I				O			I
I					I	I	O	I					I			RAZ ₁ MDV LXMDVY ₁
	I				I	I	O	I					I			I

DET	FRA	PER	ALE	TAR	B ₄	B ₃	B ₂	B ₁	X	Y	Z ₁	Z ₂	Cr	K		
	I				I	I	0	I								RAZ U
		I			I	I	0	I								I
			I		I	I	0	I								I
				I	I	I	0	I								I
I					I	I	0	I								RAZ X,Y,RX, RY,RSX,RSY
	I				I	I	0	I								I
					I	I	0	I								I

TABLES DE VERITE DES DIVERS SIGNAUX.

De ces tables de vérité, on déduit les équations des différents signaux. On obtient par conséquent:

$$OPZ_1 = Z_1 \cdot \bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot B_1 \cdot (PER + ALE + TAR + FRA)$$

$$OPZ_2 = Z_2 \cdot \bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot \bar{B}_1 \cdot (PER + ALE + TAR + FRA)$$

$$OPX = X \cdot \bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot B_1 \cdot (DET + FRA) + \bar{X} \cdot B_4 \cdot B_3 \cdot B_2 \cdot B_1 \cdot (PER + ALE + TAR + FRA)$$

$$OPY = Y \cdot \bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot B_1 \cdot (DET + FRA) + \bar{Y} \cdot B_4 \cdot B_3 \cdot B_2 \cdot B_1 \cdot (PER + ALE + TAR + FRA)$$

$$DX = X \cdot \bar{Cr} \cdot \bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot \bar{B}_1 \cdot (DET + FRA)$$

$$DY = Y \cdot \bar{Cr} \cdot \bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot \bar{B}_1 \cdot (DET + FRA)$$

$$RET = \bar{K} \cdot \bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot \bar{B}_1 \cdot (PER + ALE + TAR + FRA)$$

$$ARBT = T \cdot \bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot \bar{B}_1 \cdot Cr$$

$$INVB = T \cdot \bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot B_1$$

$$RAZ U = B_4 \cdot B_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot B_1 \cdot (PER + ALE + TAR + FRA)$$

$$RAZ MDV2 = Cr \cdot (\bar{B}_4 \cdot \bar{B}_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot B_1 + \bar{B}_4 \cdot B_3 \cdot \bar{B}_2 \cdot \bar{B}_1) \cdot (PER + ALE + TAR + FRA)$$

$$\text{RAZ MDVIX} = \text{Cr} \cdot B_4 \cdot B_3 \cdot \overline{B_2} \cdot B_1 \cdot (\text{DET} + \text{FRA})$$

$$\text{MDVIY} = \overline{B_4} \cdot \overline{B_3} \cdot \overline{B_2} \cdot B_1 \cdot \text{DET}$$

$$\text{PUMDV2} = \text{OPZ}_1 + B_4 \cdot \overline{B_3} \cdot B_2 \cdot B_1 \cdot (\text{PER} + \text{ALE} + \text{TAR} + \text{FRA})$$

$$\text{VUMDVIX} = \text{FRA} \cdot (X \cdot \overline{B_4} \cdot B_3 \cdot B_2 \cdot B_1 + Y \cdot B_4 \cdot \overline{B_3} \cdot \overline{B_2} \cdot \overline{B_1})$$

$$\text{WUMDV2} = \text{OPZ}_2$$

$$\text{RAZ X,Y,RX, RY,RSX,RSY} = B_4 \cdot B_3 \cdot \overline{B_2} \cdot B_1 \cdot (\text{DET} + \text{FRA})$$

$$\text{DZ} = \text{DZ}_1 + \text{DZ}_2$$

$$\text{DZ}_1 = Z_1 \cdot \overline{\text{Cr}} \cdot \overline{B_4} \cdot \overline{B_3} \cdot B_2 \cdot \overline{B_1} \cdot (\text{PER} + \text{ALE} + \text{TAR} + \text{FRA})$$

$$\text{DZ}_2 = Z_2 \cdot \overline{\text{Cr}} \cdot \overline{B_4} \cdot B_3 \cdot \overline{B_2} \cdot B_1 \cdot (\text{PER} + \text{ALE} + \text{TAR} + \text{FRA})$$

VI-7: SIGNAL D'ORDRE D'EVOLUTION DU DISTRIBUTEUR DE PHASES

NOTE "INC D" :

Lors d'une phase de déplacement (table ou broche), le distributeur de phases doit rester dans cette phase tant qu'elle n'est pas terminée. D'autre part le distributeur de phases doit rester dans son état de repos (0000) tant qu'une instruction n'est pas programmée.

D'après ces deux considérations, l'équation du compteur distributeur de phases sera :

$$\text{INCD} = (\text{DET} + \text{PER} + \text{ALE} + \text{TAR} + \text{FRA}) \cdot \overline{\text{DZ}} \cdot \overline{\text{DX}} \cdot \overline{\text{DY}} \cdot \overline{\text{RET}}$$

VI-8: SIGNAL DE COMPTE-RENDU:

Ce signal correspond à l'état 0 de toutes les cellules des décompteurs de la chaîne de comptage.

PLANCHE III

Chronogrammes des instructions perçage et alésage

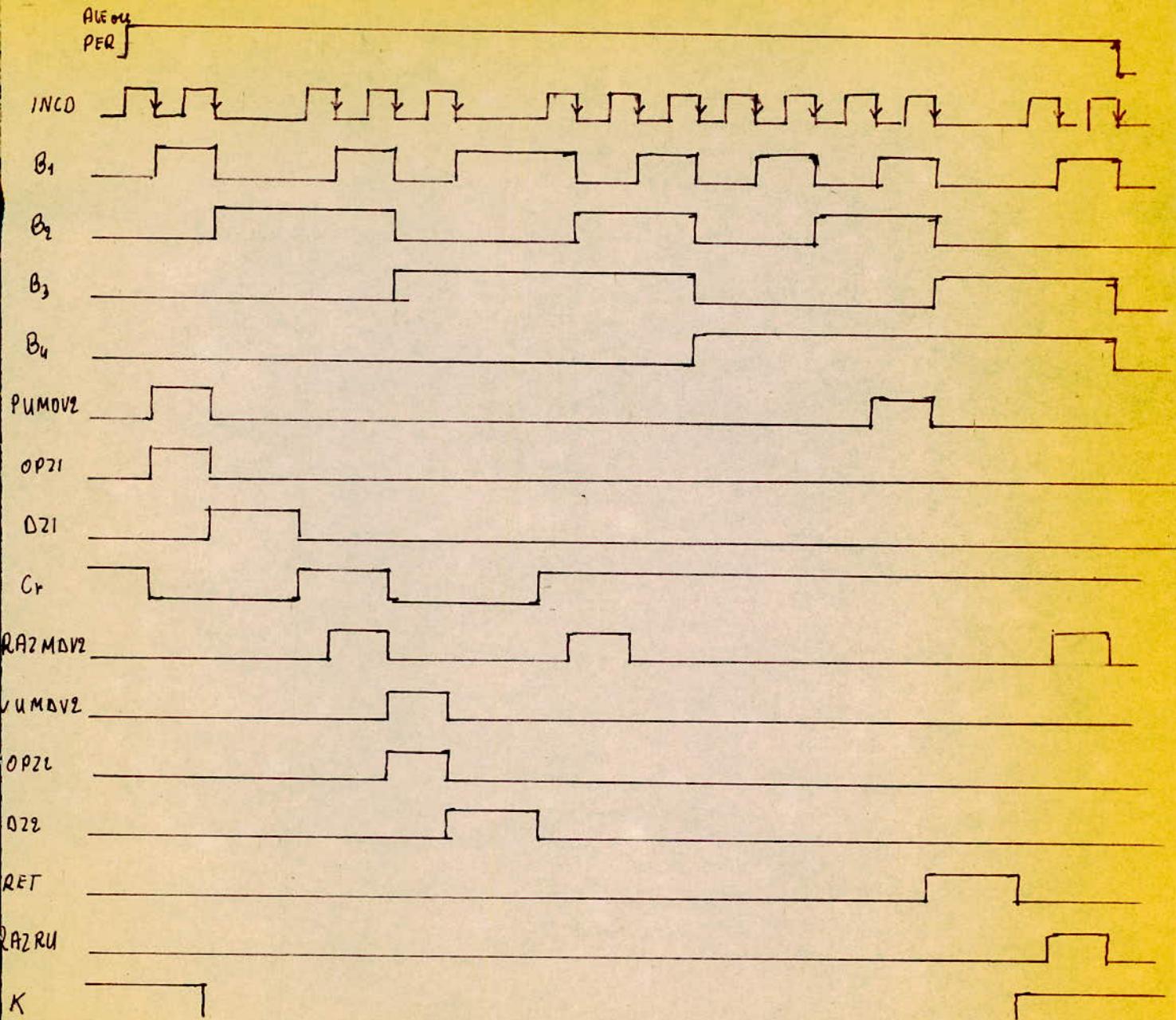


PLANCHE IV

chronogrammes de l'instruction Taraudage

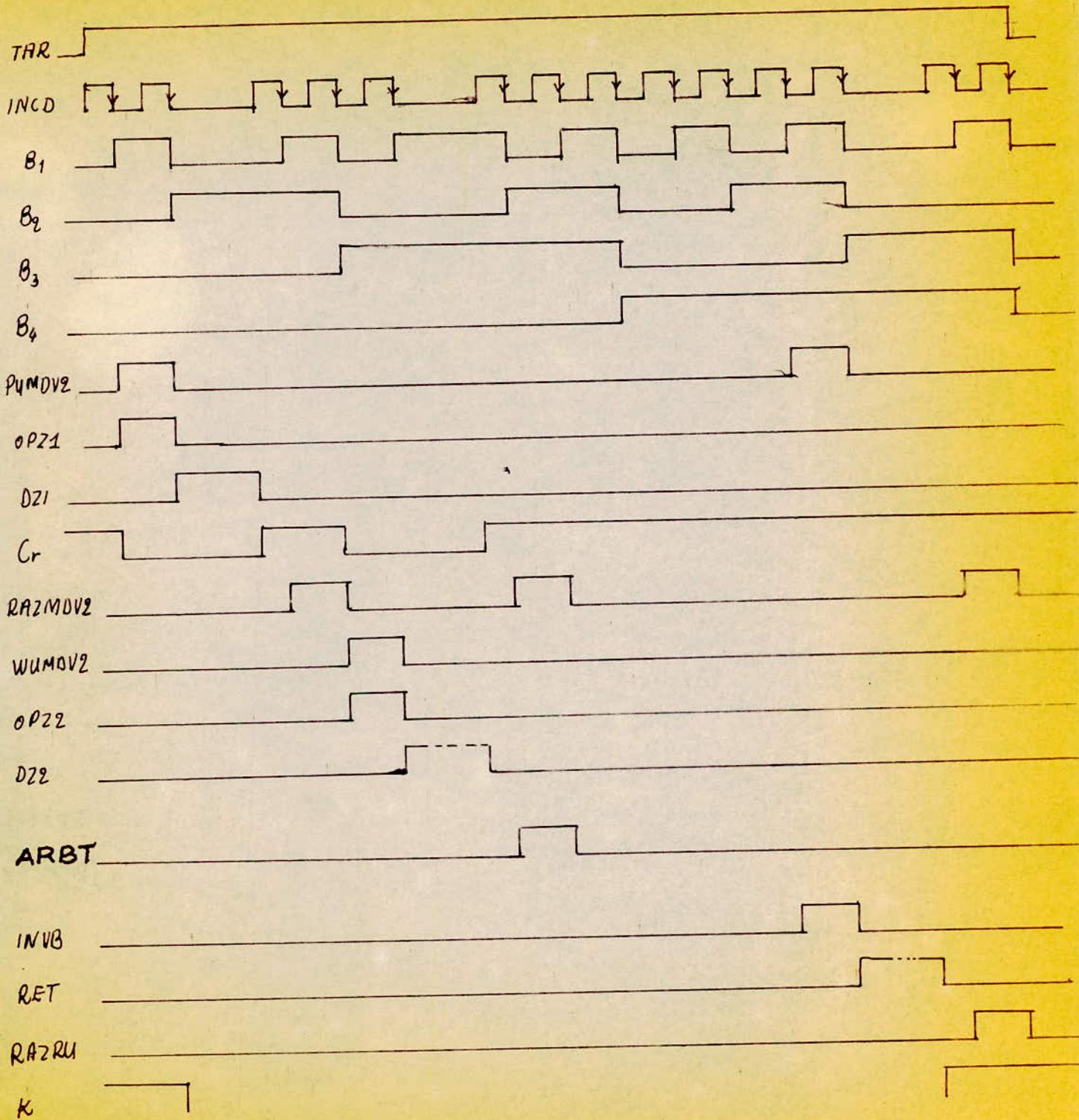
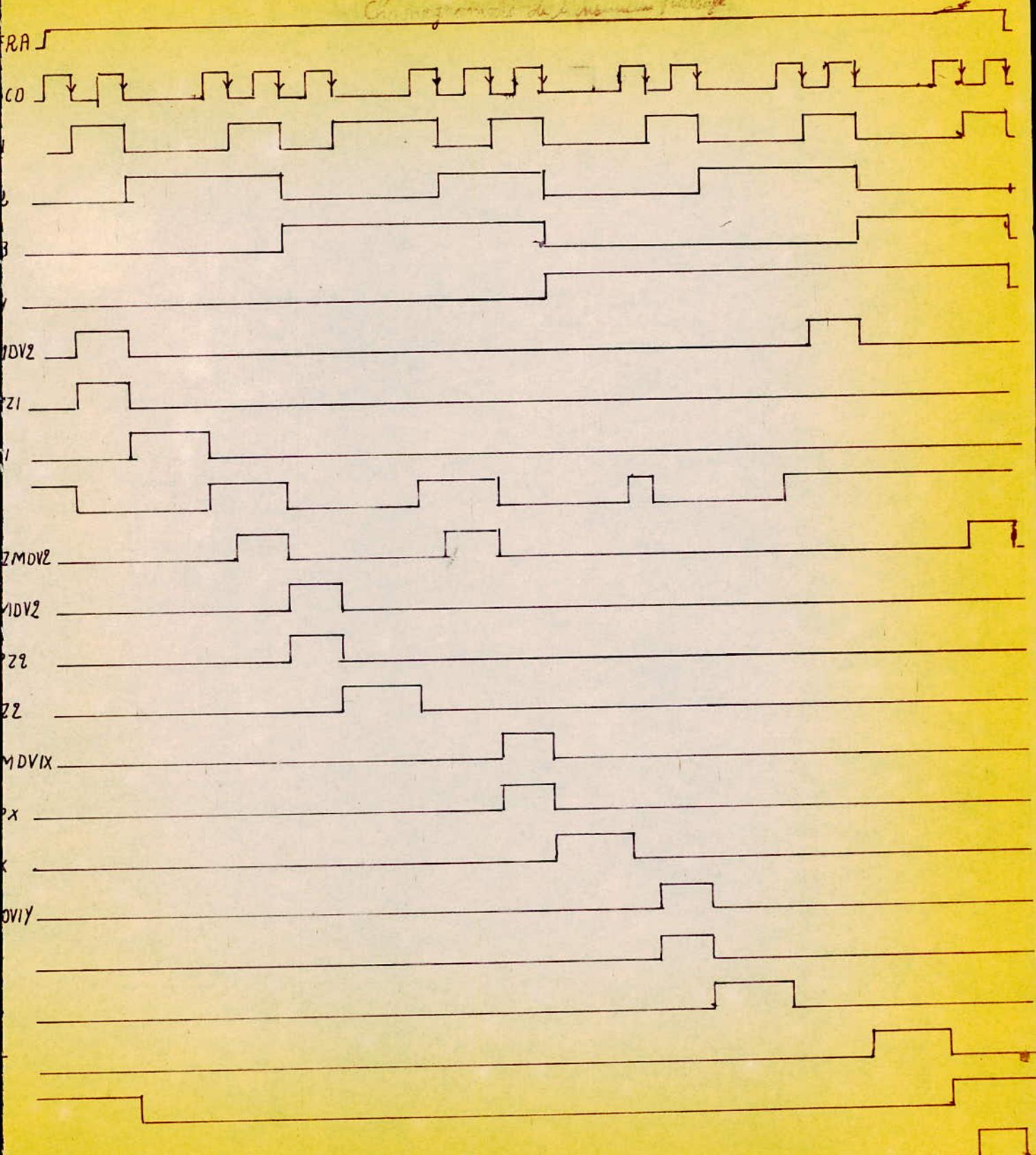


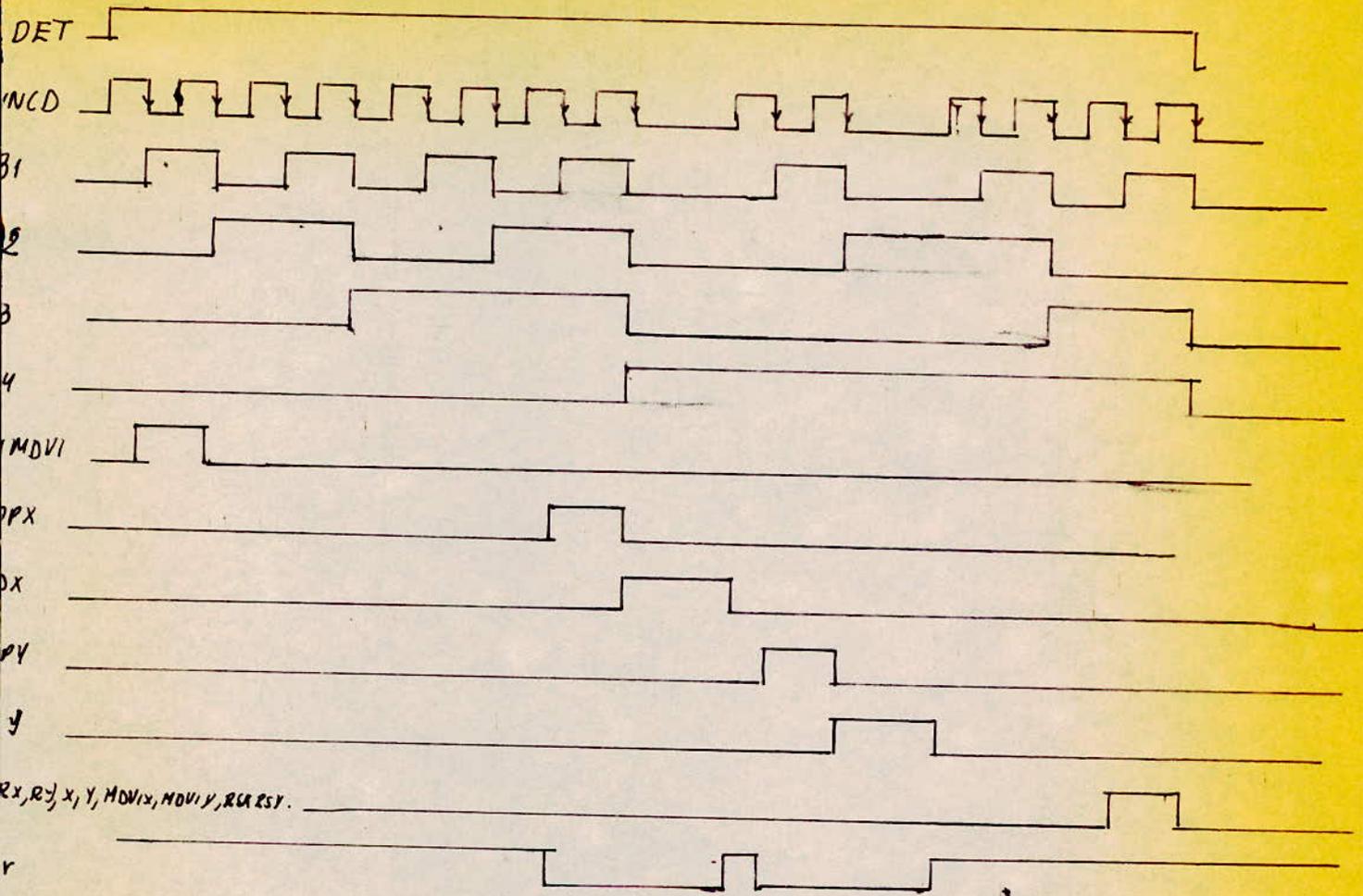
PLANCHE V
 Chronogramme de l'instruction fraisage
 Chronogramme de l'instruction fraisage



QU, MDVIX, MDVIY
 MOVZ Rx Ry, xy, RSX RSY

PLANCHE VI

Chronogramme de l'instruction déplacement, répète table



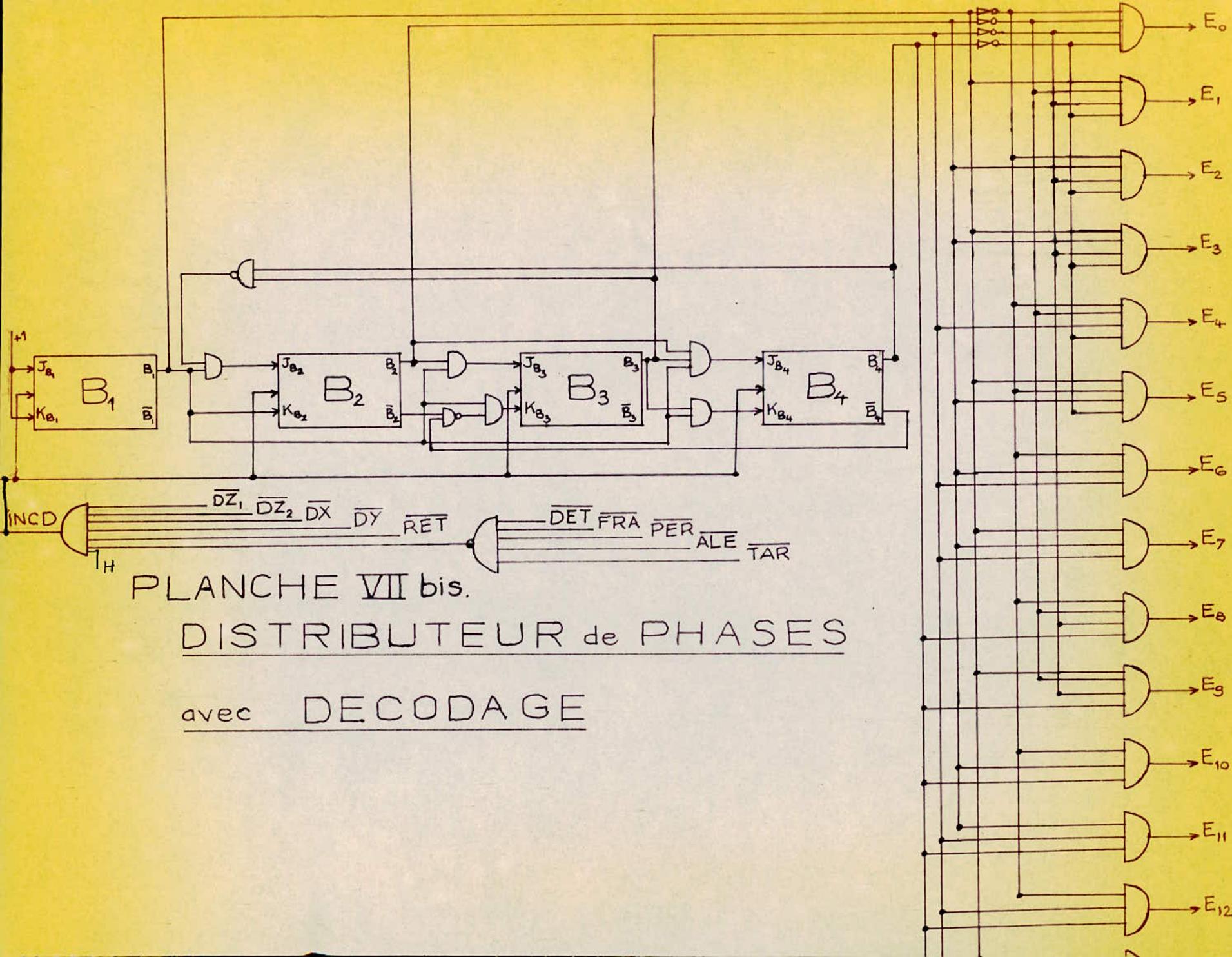
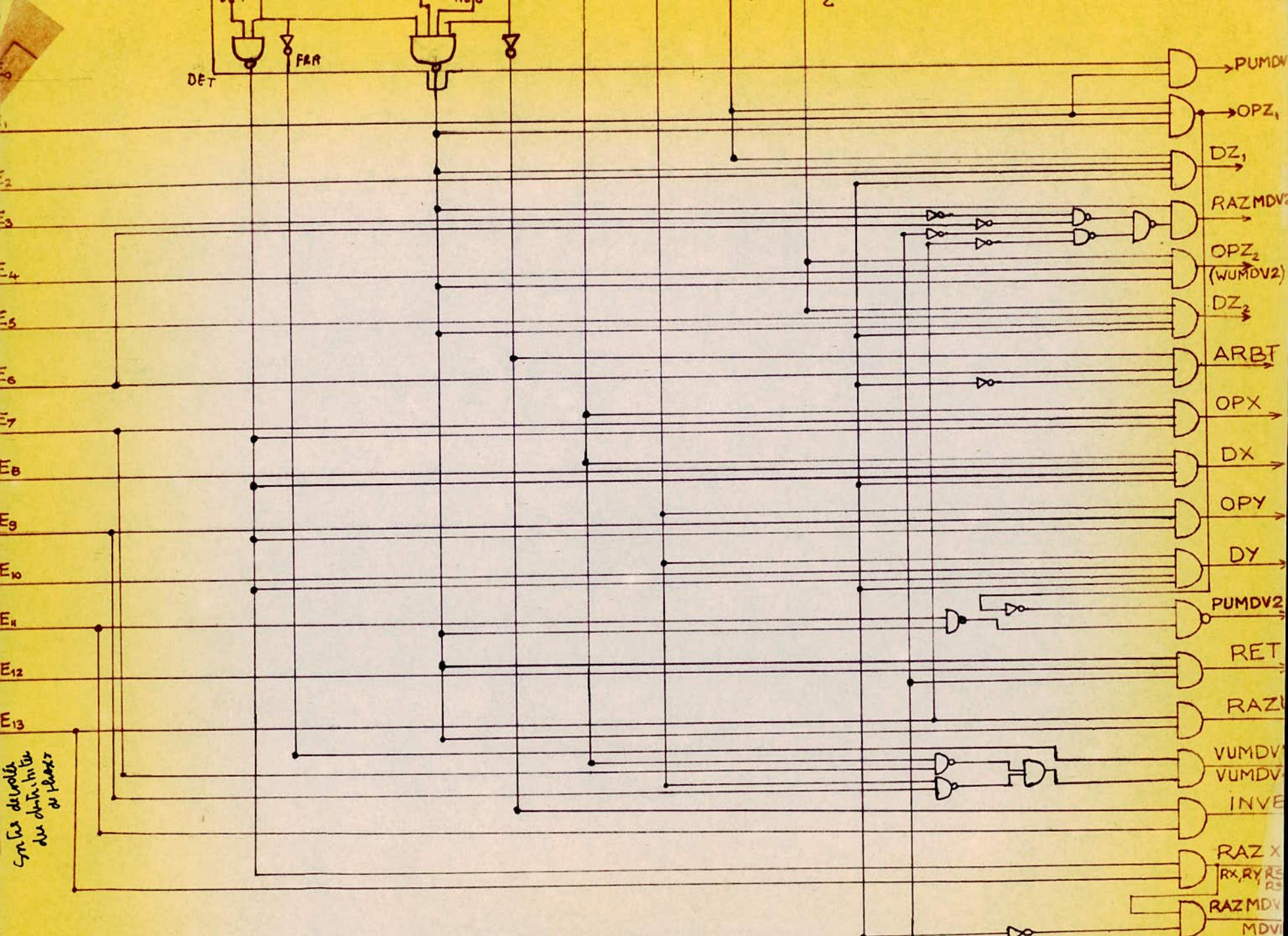


PLANCHE VII bis.

DISTRIBUTEUR de PHASES

avec DECODAGE



PIANCHE VII Elaboration des signaux de commande.

CHAPITRE VII

LA CHAÎNE DE COMPTAGE.

La chaîne de comptage est composée de trois décompteurs (un pour les centaines, un pour les dizaines, un pour les unités) à fonctionnement synchrone comptant en code BCD (Binary Coded Decimal).

Chaque décompteur est constitué de quatre bascules avec entrées de prédétermination (J-K Maître-Esclave).

VII-1:PREDETERMINATION:

Les décompteurs sont reliés aux registres mémoires des cotes (RX,RY,RZ₁ et RZ₂) à travers des portes qui ne s'ouvrent que lorsque les ordres de prédétermination (OPX,OPY,OPZ₁,OPZ₂) se présentent.

VII-2:INTERCONNEXION DES DECOMPTEURS.

L'interconnexion des décompteurs est réalisée de façon à ce que :

- L'état 0 des quatre bascules du décompteur des unités ouvre la porte du décompteur des dizaines aux impulsions de comptage
- L'état 0 toutes les cellules des décompteurs des dizaines et des unités ouvre la porte du décompteur des centaines aux impulsions de parcours.

VII-3:CODE BCD:

CHIFFRE	BINAIRE			EQUIVALENT	DECIMAL
0	0	0	0		0
0	0	0	1		1
0	0	1	0		2
0	0	1	1		3
0	1	0	0		4
0	1	0	1		5
0	1	1	0		6
0	1	1	1		7
1	0	0	0		8
1	0	0	1		9

VIII-1: SUR LES CIRCUITS D'INTERFACE DE SORTIE:

La commande des lampes de visualisation s'effectue à travers des buffers qui sont des circuits intégrés capables de fournir des courants suffisants. Il faut prévoir une lampe de préchauffage entre le buffer et la masse.

Pour le cas des contacteurs électromagnétiques on utilise aussi des buffers.

La commande des charges de puissance continue pose le problème de l'adaptation de l'entrée de l'amplificateur à transistors à la sortie du circuit intégré.

VIII-2: SUR LES LIGNES DE TRANSMISSION:

Les lignes de transmission posent des problèmes d'adaptation. Notons que, dans le cas de la logique TTL (Logique utilisée), l'impédance d'entrée d'une porte logique est d'environ 1000 Ohms pour le niveau inférieur et pratiquement infinie pour le niveau supérieur et l'impédance de sortie est d'environ 10 Ohms pour le niveau inférieur et de 100 Ohms pour le niveau supérieur.

Lorsque la ligne de transmission dépasse 60 cm dans le cas de l'utilisation de la logique TTL, il est nécessaire d'adapter le mieux possible l'extrémité réceptrice sur l'impédance caractéristique de la ligne.

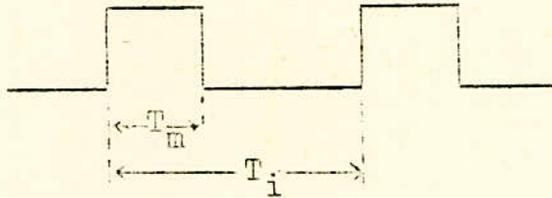
VIII-3: SUR L'ADAPTATION DES CAPTEURS PHOTOELECTRIQUES:

Les signaux issus des capteurs photoélectriques doivent être mis en forme avant leur introduction dans la chaîne de comptage. On utilise pour cela des montages du type "trigger de Schmitt".

VIII-4: SUR LA FREQUENCE DES IMPULSIONS DES HORLOGES H et H':

Pour que le fonctionnement de l'unité de commande soit sûr et sans aléas, il est nécessaire d'imposer certaines conditions sur les paramètres des impulsions d'horloge et ceux des bascules. Nous allons tout d'abord définir ces paramètres:

a) Paramètres d'impulsion d'horloge:



T_m : durée de l'impulsion d'horloge

T_i : fréquence d'impulsion

b) Paramètres des bascules:

Les bascules sont caractérisées par les paramètres suivants:

t_e : temps d'excitation durant lequel il faut appliquer le signal d'entrée pour obtenir une modification de l'état interne de la bascule.

t_r : temps de réponse au bout duquel le signal change à la sortie de la bascule.

t_s : temps de montée et de descente.

Nous considérerons que les bascules des différents compteurs sont identiques.

Ces différents paramètres doivent répondre aux conditions suivantes:

- $T_m \geq t_e$ impose la durée d'horloge,

- $T_m \leq t_e + t_r$ pour éviter les aléas dus à la largeur d'impulsion,

- $T_i \geq t_s + t_r$ pour que l'action de toutes les impulsions d'horloge soit effective.

Les impulsions de H' doivent satisfaire à toutes ces conditions. D'autre part la fréquence des impulsions doit, de plus, être calculée compte des temps de réponse des organes de commande.

VIII-5: SUR LA CHAÎNE DE COMMANDE:

Les composants de cette chaîne doivent être utilisables dans une gamme de fréquence de 30 KHz, ce qui correspond à la plage de vitesse.

Nous avons vu, dans la première partie au § IV-I-3-I, que les procédés de mesures incrémentaux posait le problème de la protection des impulsions contre les parasites.

Pour éliminer l'action de ces parasites plusieurs précautions sont à prendre. Ces précautions se situent au niveau des circuits de la chaîne de comptage, du câblage et des sources d'alimentation.

IX-1: CIRCUITS DE COMPTAGE:

Ce circuit doit fonctionner uniquement dans le domaine de fréquence utile (0 à 30 KHz). Pour cela il est utile de prévoir des filtres passe-bas à l'entrée de la chaîne de comptage.

IX-2: CABLAGE:

Le câblage doit être le plus court possible pour éviter l'effet antenne. D'autre part il faut éloigner les câbles à courant fort des câbles des circuits de commande. Enfin il faut que les circuits de masse doivent ^{être} particulièrement soignés.

IX-3: SOURCE D'ALIMENTATION:

Les sources d'alimentation des circuits intégrés numériques doivent être très stables et très bien filtrées. Il y a intérêt à ne pas éloigner ces sources des circuits numériques

IX-4: CIRCUITS LOGIQUES DE PROTECTION CONTRE LES PARASITES:

S'il n'est pas possible de prendre toutes les précautions précédentes, on peut utiliser un circuit logique de protection. Le schéma de principe d'un tel circuit est donné par la figure IX-I.

PHI et PH2 sont deux photodiodes disposées de façon à ce que les impulsions envoyées par PHI soient positives (niveau logique "1") et celles envoyées par PH2 soient négatives (niveau logique "0").

Donc, lorsque ces deux impulsions se présentent à l'entrée du

circuit logique "OU-Exclusif", on a une impulsion en sortie or on sait que les impulsions parasites se présenteront sur les deux lignes avec le même signe donc elles ne passeront pas. Nous avons là un circuit simple et élégant de protection contre les parasites.

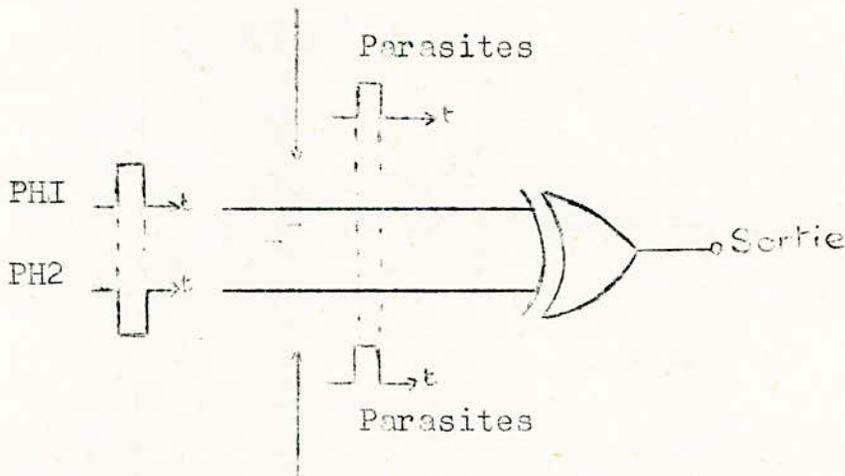


Figure IX-I: Circuit logique de protection contre les parasites.

REALISATION PRATIQUE

Nous présenterons, dans ce qui suit, un mode de réalisation pratique avec les circuits intégrés T.T.L (Transistors Transistors Logics) série SN 74...N de Texas Instruments.

Nous avons fait, pour chaque bloc, un choix du circuit intégré le plus adapté aux fonctions de ce bloc.

1°) Mémoires: MIC

MDA

MIA

MDVIX SN 7474 (voir planche X)

MDVIY

MDV2

X, Y, Z₁, Z₂

2°) Registres mémoires:

SN 7496N (voir planche XII)

Compteurs SN 7473 (voir planche XI)

3°) Chaîne de comptage:

3 SN 74190N (voir planches VIII et VIII bis
schéma général planche XI)

L'utilisation d'une seule chaîne de comptage donne lieu à un câblage assez complexe, mais dans ce cas le prix est de 50% à peu près inférieur au prix de quatre chaînes de comptage (d'après la revue TISCO Texas Instruments).

4°) Les transferts se font à travers des portes (SN 7400N)

5°) Horloge: Trigger de Schmitt SN 7413 (voir planche XIII)

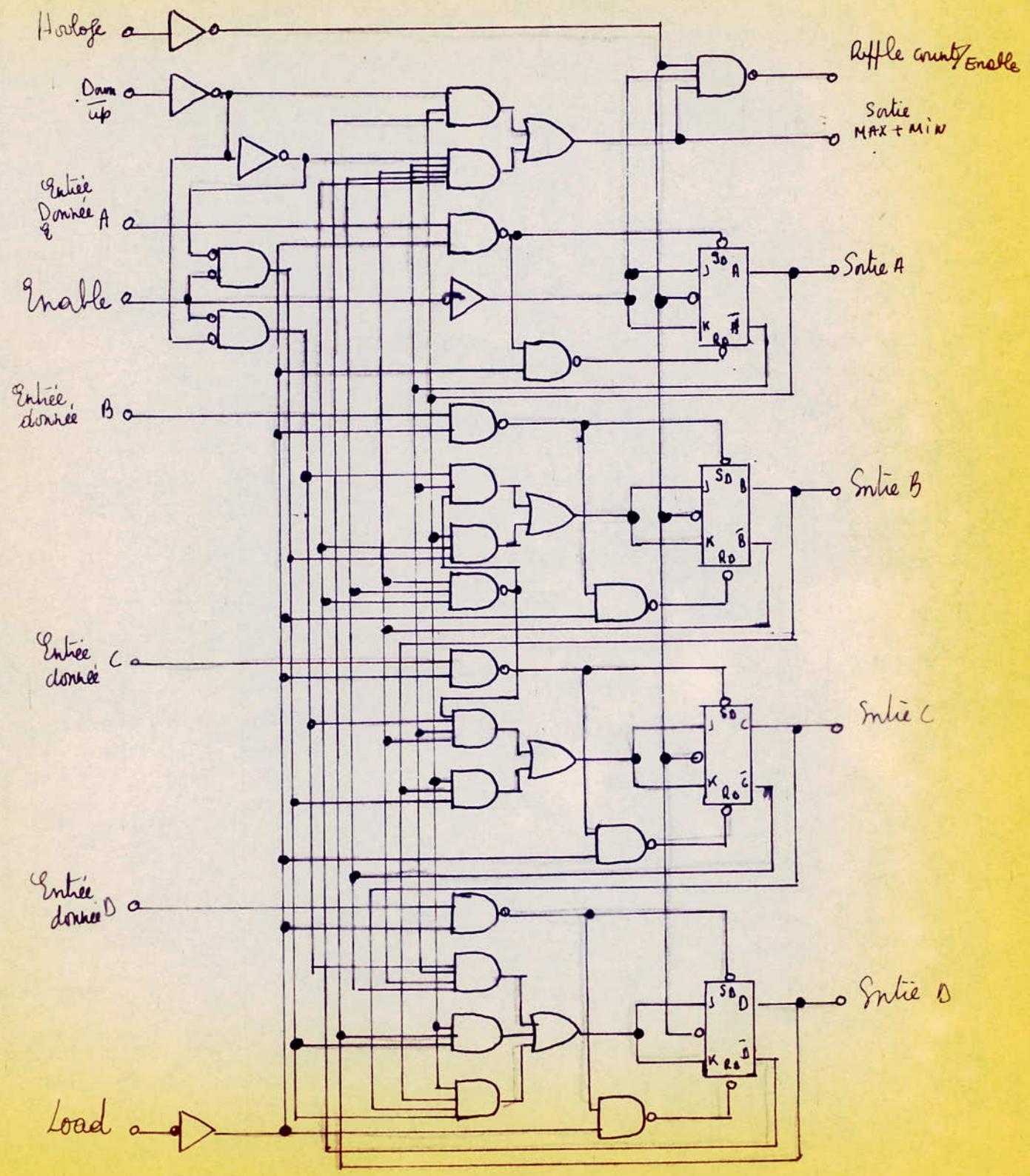
6°) Sorties: On utilise des buffers SN 7407

7°) Capacités de découplage: Elles sont disposées régulièrement tous les 8 à 10 circuits intégrés et ont des valeurs comprises entre 0,01 μ F à 0,1 μ F.

8°) Réglage de la vitesse: voir planche XIV.

PLANCHE VIII

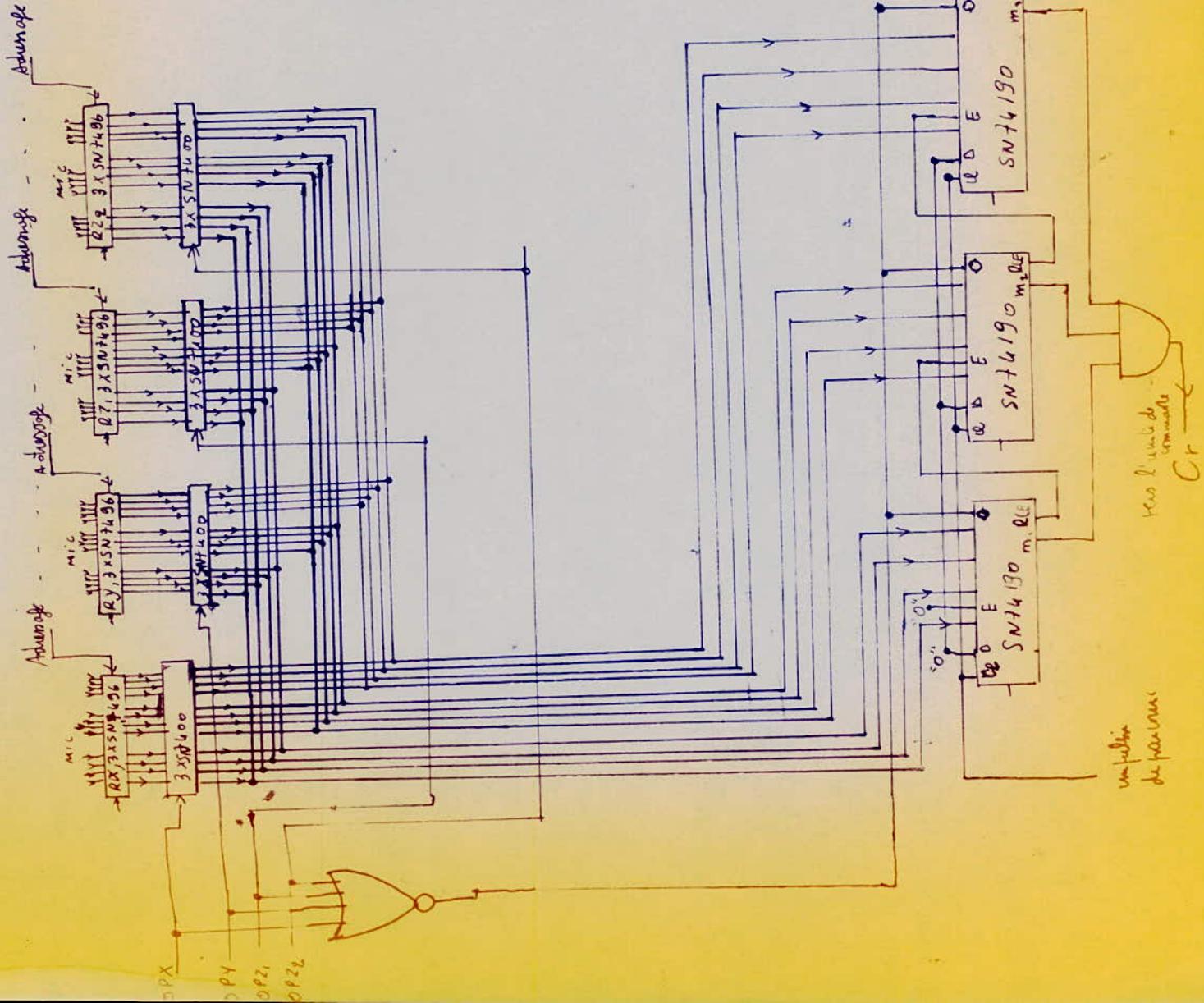
SN 74190 Compteur réversible BCD
avec entrée de pré-détermination



(Extrait ANA1 Texas Instruments)

PLANCHE IX

Predetermination de la chaine de comptage



Remarques:

$$\text{Load} = (OPX + OPY + OPZ_1 + OPZ_2)$$

SN7400: 4 portes ET

Note: 0 Load

0: entrée impulsion pour

D: Déclenchage "0"

E: Enable

RCE: Buffer maintenance

m₁, m₂, m₃: MAX + MIN

m₄, m₁, m₂, m₃: Cr

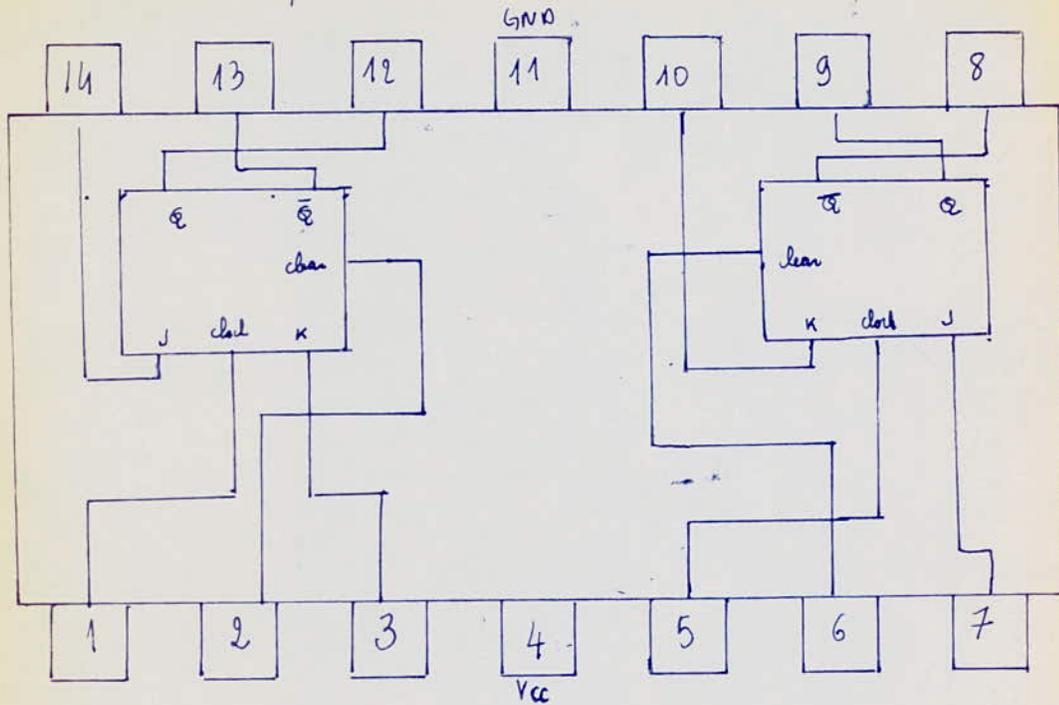
impulsion de passage

pas d'unité de commande Cr

PLANCHE XI

Circuit intégré SN 7473

a) Schéma de principe :



b) Utilisation

Pour le comptage

Compteur d'instruction: RA2: Bonne 2 et 6; Relier: 7 et 10 à 12 et 3 et 14 au +Vcc.

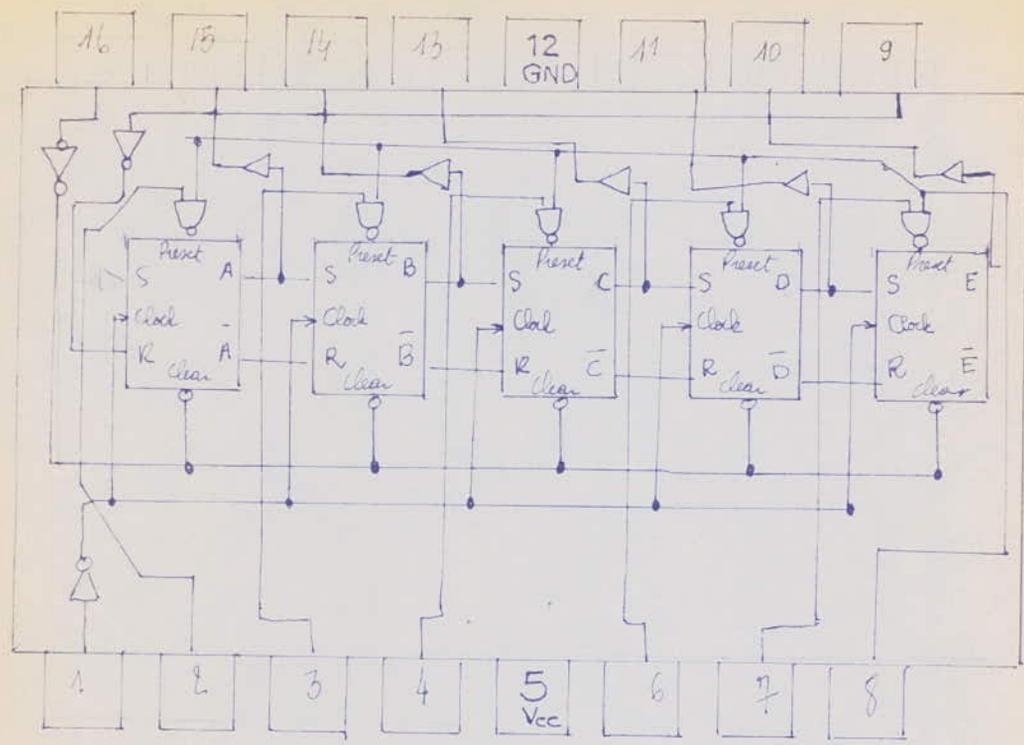
Compteur du circuit de mémoire 7 et 10 à 12 et 3 et 14 au +Vcc

Distributeur de phase 2 x SN 7473 + portes.

PLANCHE XII

Circuit intégré SN 7496

a) Schéma de principe



- 16) Entrées à 0V
- 15) } Sentes
- 14) } parcellés
- 13) } parcellés
- 11) } parcellés
- 10) }
- GND none
- 2, 3, 4, 6, 7. Entrées parcellés de données
- 8 Entrée prise
- 1 Horloge
- 8 ouverture de portes de sortie

b) Utilisation

Ce circuit intégré constituera les registres mémoires: RL, RU, RZ, RZi, RX, RY, RU, RH, RSt, RSt.

Les entrées 2, 3, 4, 6, 7 seront reliées à la sortie de MIC

La sortie de l'entrée 8 sera inversée et reliée aux différentes adresses.

Exemple RL:

Pour RL nous aurons besoin de 4 SN 7496 (16 broches utilisées) les entrées

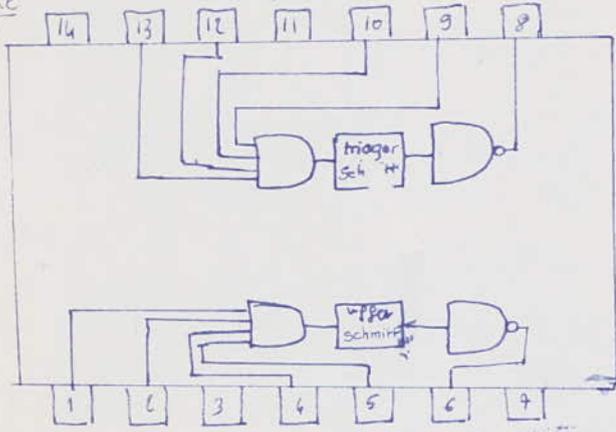
8 des 4 circuits intégrés seront reliés à la sortie L (de MVA) inversée;

lorsque L est au niveau haut, les portes des 4 registres s'ouvriront et la valeur contenue dans MIC est transférée dans RL.

PLANCHE XIII

HORLOGE. à l'aide de trigger SN7413 et

a) Schéma de principe



b) Montage

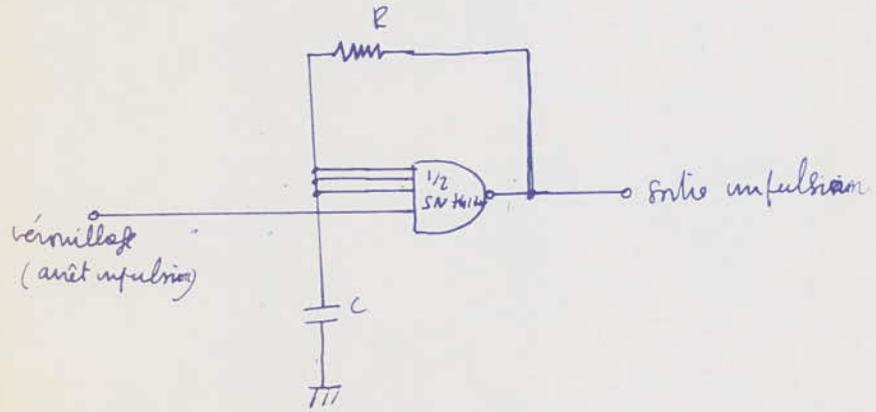


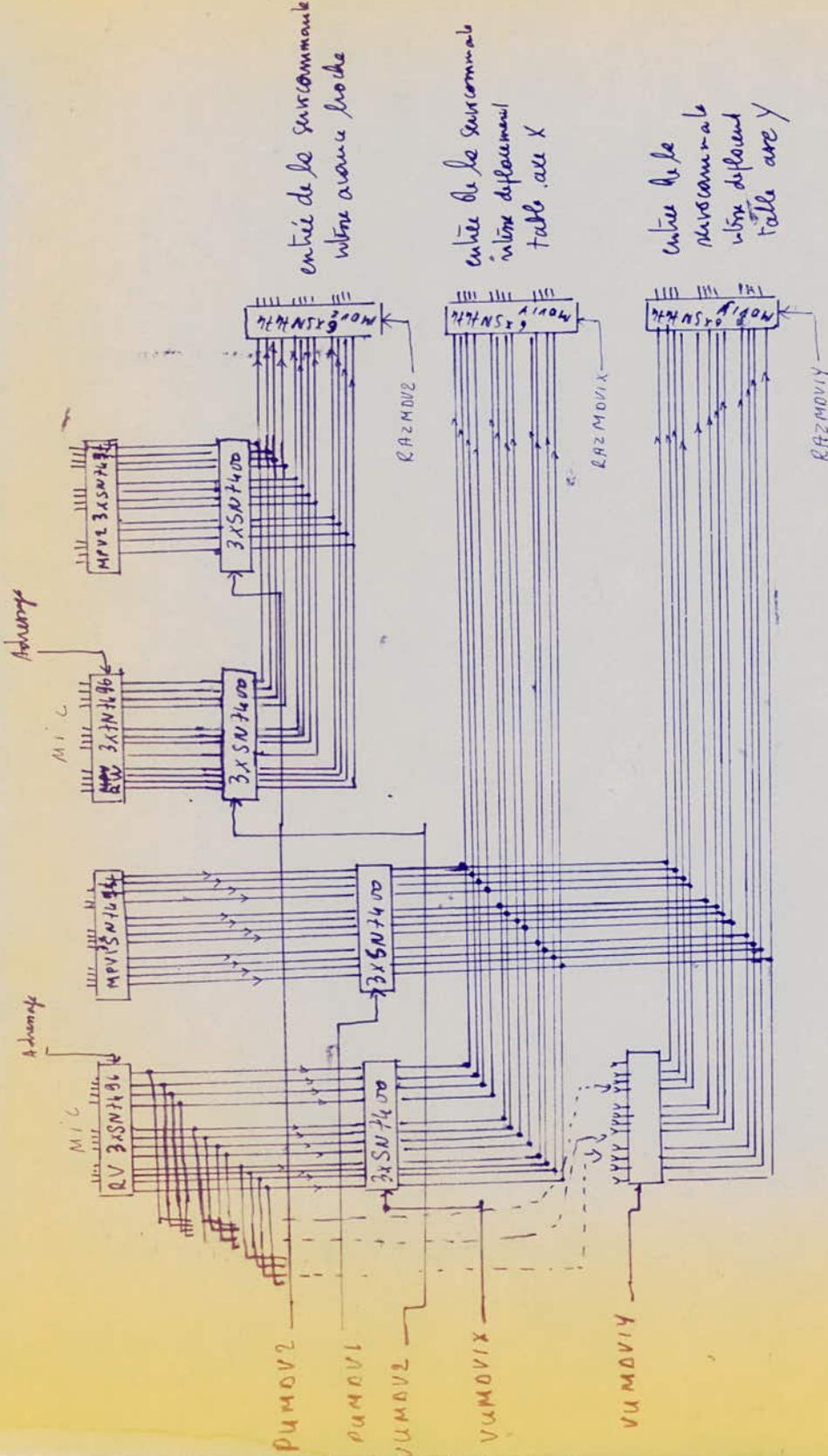
PLANCHE XIV

Réplase Wbox avec broche et mouvement table

entrée de la servocommande
vitres avec broche

entrée de la servocommande
vitres déplacement
table axe X

entrée de la
servocommande
vitres déplacement
table axe Y



CONCLUSION GENERALE

Notre étude a été faite surtout dans un but pédagogique; il s'agissait pour nous, d'apprendre à effectuer la synthèse des machines logiques complexes et de nous familiariser avec les problèmes posés par une telle synthèse.

Nous avons vu comment, grâce à une telle méthode, à partir d'organigrammes, arriver à définir les différentes sous-machines logiques dont la synthèse s'effectuera grâce aux méthodes traditionnelles. De plus, bien que la structure globale d'une unité de commande numérique rappelle celle d'une calculatrice, leurs conditions de travail ne sont pas les mêmes et des précautions supplémentaires doivent être prises lors de la synthèse de l'unité de commande qui opérera en milieu industriel.

D'autre part, si pour le cas du fonctionnement point à point, il est possible d'opérer en usinage semi-automatique; dans le cas continu le très grand nombre des informations de parcours ne permet pas d'opérer qu'en usinage automatique et aurait nécessité un interpolateur de trajectoire.

Notons qu'il ne nous a pas été possible, faute de moyens, de matérialiser notre étude par une réalisation pratique.

La réalisation complète d'une machine-outil à commande numérique aurait nécessité la collaboration de plusieurs groupes; chacun aurait pu étudier une partie de l'ensemble (logique, servo-commande, électrotechnique, mécanique, ...)

En conséquence, nous espérons que la consultation de ce recueil sera bénéfique aux intéressés.

- BIBLIOGRAPHIE -

PREMIERE PARTIE:

W.SIMON "COMMANDE NUMERIQUE DES MACHINES-OUTILS" EYROLLES 1967.

J.THILLEZ "LA COMMANDE NUMERIQUE DES MACHINES" DUNOD 1967.

H.SOUBIES-CAMY "THEORIE ET PRATIQUE DES SYSTEMES ET LANGAGES
DE LA COMMANDE NUMERIQUE DES MACHINES-OUTILS"
RADIO 1971

P.MAY "TECHNIQUES DE COMMANDE NUMERIQUE DES MACHINES-OUTILS"
MASSON 1970.

DEUXIEME PARTIE:

GAVREAU "ELEMENTS CONSTITUTIFS DES AUTOMATISMES" EYROLLES 1967.

R.PRUDHOMME "AUTOMATISME T II" MASSON 1974.

T.C.BARTEE I.L.LEBOW I.S.REED "THEORIE ET SYNTHESE DES MACHI-
-NES NUMERALES" DUNOD 1968.

J.PERRIN M.DENOUEFFE E.DACLIN "SYSTEMES LOGIQUES T I"
DUNOD 1967

H.SOUBIES-CAMY "TECHNIQUES BINAIRES DE TRAITEMENT DE L'INFOR-
MATION" DUNOD 1967

J.FLORINE "AUTOMATISMES E SEQUENCES ET COMMANDES NUMERIQUES"
DUNOD 1969.

R.DAMAYE "LOGIQUE ELECTRONIQUE ET CIRCUITS INTEGRES"
NUMERIQUES RADIO 1970

REVUE "AUTOMATISME I

PROSODY
THE ARTS

THE
ARTS