

III. EXERCICES D'INITIATION

1 - CYCLE EN « L »

1 - 1. Présentation du sujet

L'étude porte sur le cycle qui permet au point P d'effectuer les mouvements ci-dessous lorsqu'un opérateur appuie sur Dcy :

- P se déplace en ligne droite de A en B,
- puis de B en C,
- puis de C en A.

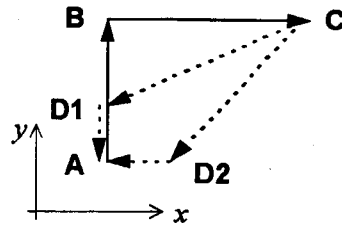


figure A-49

La dernière trajectoire *n'est pas connue a priori*. Selon les vitesses de déplacement d'une part, et les longueurs des courses d'autre part, le point P peut passer aussi bien :

- par D1 (le déplacement suivant x prend fin avant le déplacement suivant y)
 - que par D2 (c'est le déplacement suivant y qui prend fin avant le déplacement suivant x).
- Le grafset doit prendre en compte cette incertitude et permettre un fonctionnement correct quelles que soient les vitesses et les courses suivant les deux axes.

1 - 2. Enoncé du sujet

On propose le grafset au niveau préactionneur ci-dessous.

- La technologie est de type électropneumatique : distributeurs bistables à commande électrique et vérins double-effet.
- Les fins de courses sont notés a0, a1 pour le vérin A et b0, b1 pour le vérin B.

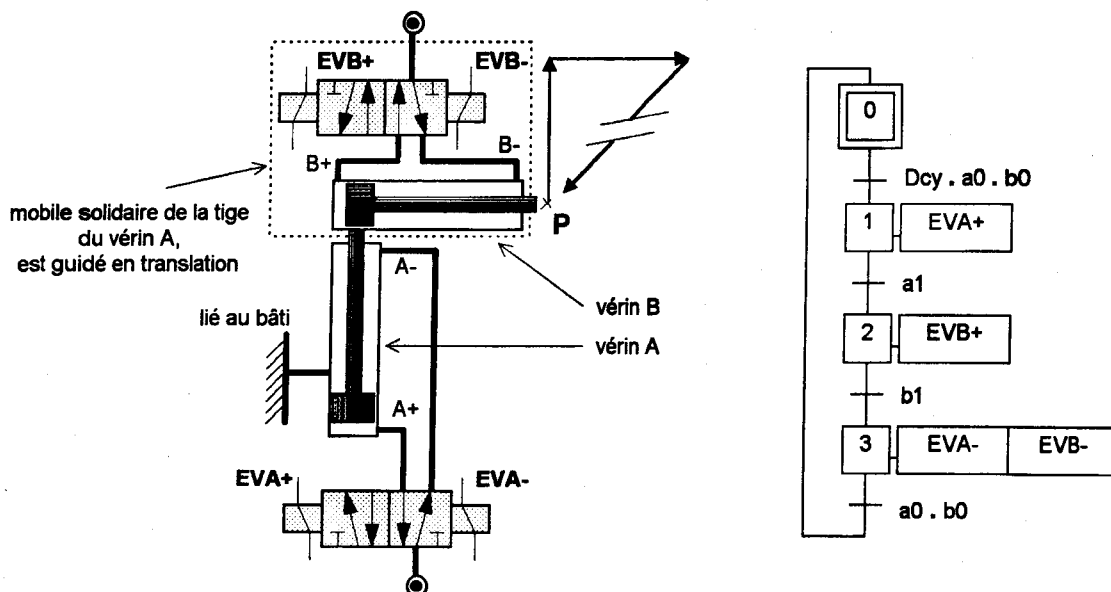


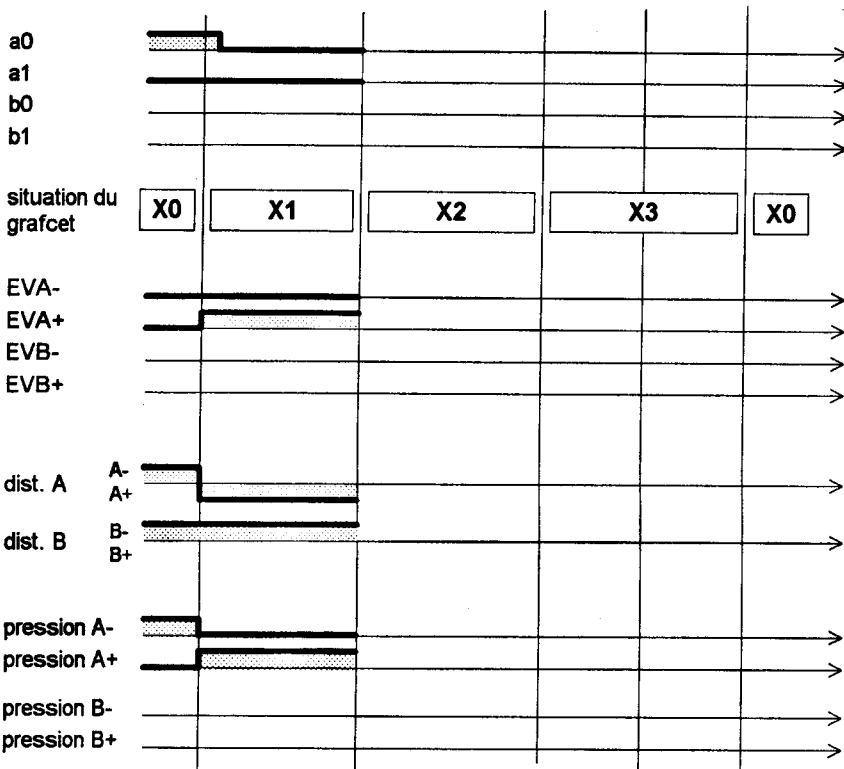
figure A-50

- Question 1.

Analyser d'une manière très précise les enchaînements des événements du point de vue des éléments de la chaîne fonctionnelle.

A cet effet, compléter le tableau et le chronogramme ci-dessous.

récept.	étapes	électrovannes	tiroirs distributeurs	vérins
	X0=1	aucune EV sous tension	positions initiales : A- et B-	A et B : tiges rentrées



figures A-51a-b

- Question 2.

Exprimer une conclusion sur la correspondance :

- a) entre la distribution de la pression dans les vérins, la position des tiroirs des EV et la présence de tension aux EV,
- b) entre la présence de tension aux EV et les mouvements des vérins.

- Question 3.

On envisage de réaliser le même cycle par une technologie électrique (schéma simplifié ci-contre). Déduire de la question 2 pour quelle raison le grafcet proposé pour la technologie électropneumatique ne peut être directement transposé en technologie électrique, en changeant simplement les noms des symboles. Ecrire le grafcet au niveau préactionneur.

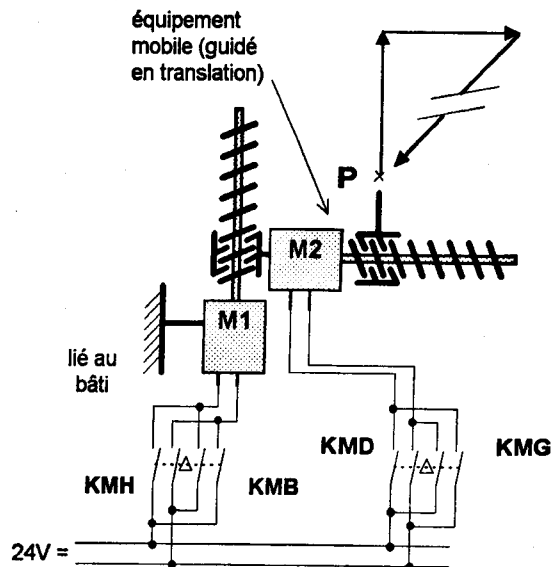
- Question 4.

Tracer un chronogramme et mettre en évidence la correspondance entre :

- la présence de tension aux contacteurs
- et la rotation des moteurs.

- Question 5.

Proposer 2 autres grafkets pour la version en technologie électrique.



Fins de course : h, b (moteur M1) et d, g (moteur M2)

figure A-52

1 - 3. Corrigé et commentaires

a) Analyse du grafcet (Q.1)

- Sous forme de tableau

réc.	étapes		électrovannes	tiroirs distributeurs	vérins
		X0=1	aucune EV sous tension	positions initiales : A- et B-	A et B : tiges rentrées
Dcy	X0=0	X1=1	EVA+ sous tension	A se déplace en A+	pression en A+ : tige de A sort
					A arrive en fin de course
a1	X1=0	X2=1	EVA+ n'est plus sous tension EVB+ sous tension	A reste en position A+ B se déplace en B+	A+ reste sous pression pression en B+ : tige de B sort
					B arrive en fin de course
b1	X2=0	X3=1	EVB+ n'est plus sous tension EVA- sous tension EVB- sous tension	A et B reviennent en position initiale	pression en A- : tige de A rentre pression en B- : tige de B rentre
a0 ou b0			EVA- reste sous tension EVB- reste sous tension		pression maintenue dans les 2 vérins côté -
<i>attente de la fin du mouvement du vérin qui n' a pas fini sa course</i>					
a0 et b0	X3=0	X0=1	plus aucune EV sous tension		pression maintenue dans les 2 vérins côté -

figure A-53

- Sous forme de chronogramme

Remarque : on suppose que la trajectoire de retour passe par D1

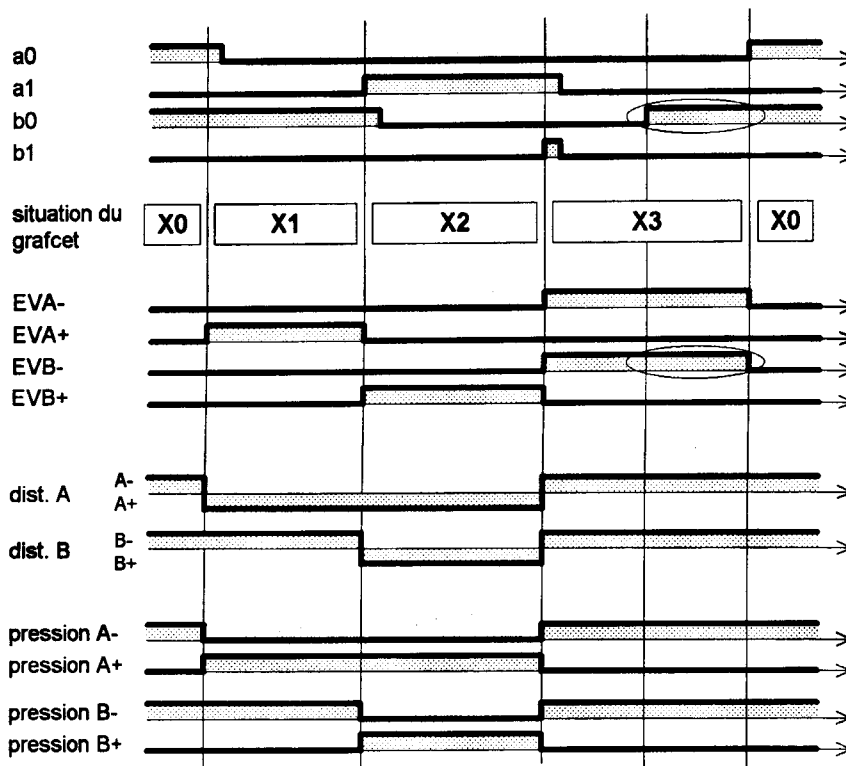


figure A-54

b) Conclusion sur l'analyse (Q.2)

a) La position du tiroir du distributeur détermine de quel côté du vérin est établie la pression (énergie de puissance).

Par ailleurs, le distributeur étant bistable, son tiroir conserve sa position malgré l'absence de tension sur l'électrovanne correspondante.

En principe, la présence de cette tension n'est donc pas nécessaire à tout instant pour maintenir le vérin dans sa position.

b) A l'inverse, on constate dans l'exemple du chronogramme, que l'électrovanne B- reste sous tension alors que le vérin qu'elle pilote est déjà arrivé en fin de course (zones entourées).

Ceci n'empêche en rien le bon fonctionnement du système, mais on s'aperçoit qu'une impulsion sur les électrovannes suffit pour agir correctement sur les vérins. La consommation en courant électrique peut être optimisée en utilisant des ordres limités dans le temps. De plus, des électrovannes à faible consommation sont disponibles sur le marché.

c) Grafcet pour la technologie électrique et commentaire (Q.3)

Alors qu'en technologie électropneumatique, il est envisageable de maintenir un ordre sur le pré-actionneur d'un actionneur qui a déjà atteint sa fin de course, il est exclu de procéder de la même façon en technologie électrique. En effet, le moteur qui agit sur un mobile doit être coupé lorsque celui-ci atteint sa fin de course. Une écriture appropriée du grafcet permet de résoudre cette question sans frais supplémentaires. La solution de la figure A-55 met deux séquences simultanées en oeuvre. Les étapes X5 et X7 sont des étapes d'attente qui permettent la resynchronisation du cycle lorsque les deux séquences X4 → X5 et X6 → X7 sont terminées. La seule activation des étapes X5 et X7 suffit à faire évoluer le grafcet : la réceptivité en aval de ces étapes ne nécessite donc aucune condition supplémentaire (elle est toujours vraie). Remarquons que certaines situations exigent un traitement particulier : limiteur de couple pour assurer la pression du mobile contre la butée de fin de course, etc.

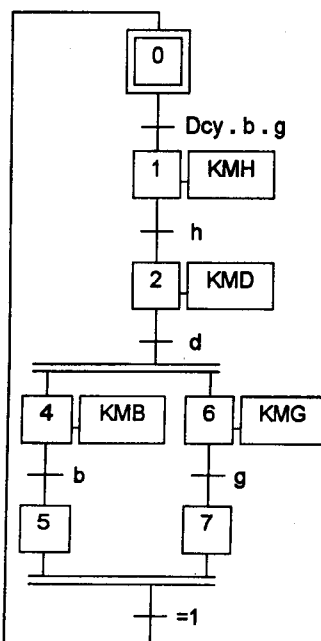


figure A-55

d) Chronogramme (Q.4)

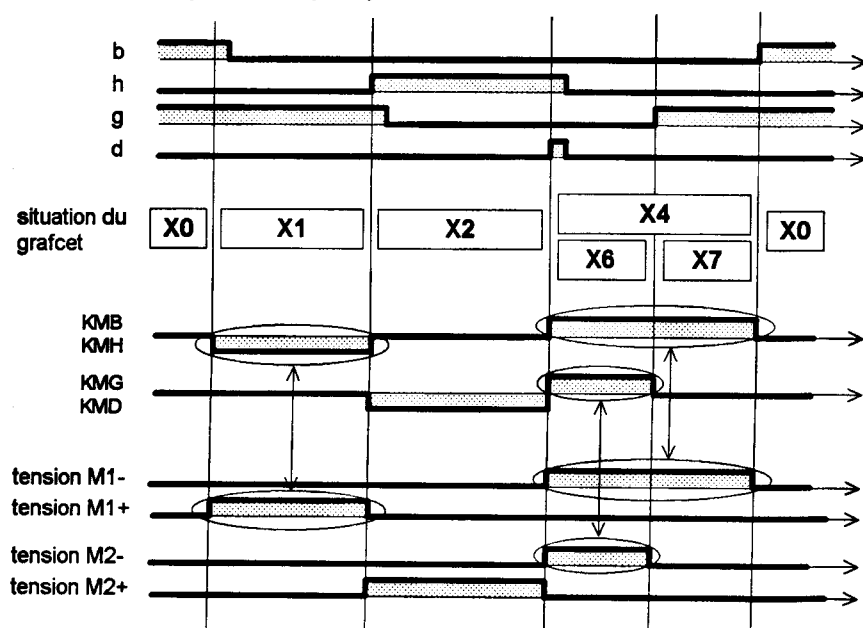


figure A-56

Ce chronogramme montre clairement la correspondance directe entre la tension au niveau des contacteurs et au niveau des moteurs, c'est-à-dire de leur rotation : KMH et M1+ pendant la durée d'activation de l'étape X1, KMB et M1- ainsi que KMG et M2- pendant la durée d'activation de l'étape X4 et X6 par exemple.

e) Variantes (Q.5)

En amont de l'étape X2, il n'y a pas de différence fondamentale entre les différentes versions. Mais une attention particulière doit être apportée dans l'écriture du grafcet en aval de l'étape X2. Ci-dessous sont représentées 2 solutions supplémentaires écrites pour la technologie électrique. Ces solutions sont également adaptables à la technologie électropneumatique.

Remarque : les 3 grafquets de *niveau préactionneur* proposés pour la technologie électrique sont en réalité équivalents aux grafquets de *niveau actionneur*, aux symboles près, y compris pour la technologie électropneumatique.

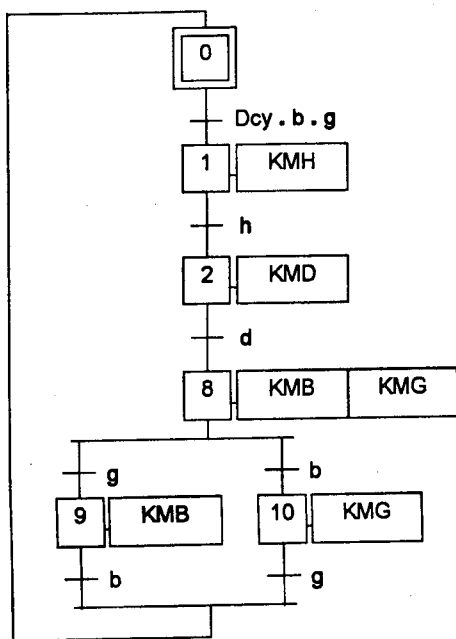


figure A-57

Tant que l'étape X8 est active, les deux contacteurs KMB et KMG sont alimentés, de même que les moteurs correspondants. Dès que l'un des mobiles arrive en fin de course, celui-ci s'arrête car son moteur est coupé tandis que l'autre mobile continue sa course. En aval de l'étape X8, c'est la première *ou bien* la seconde des deux séquences finales qui est exécutée, d'où la divergence en OU. Il suffit ensuite que le capteur correspondant au dernier mouvement soit présent pour que le cycle se termine.

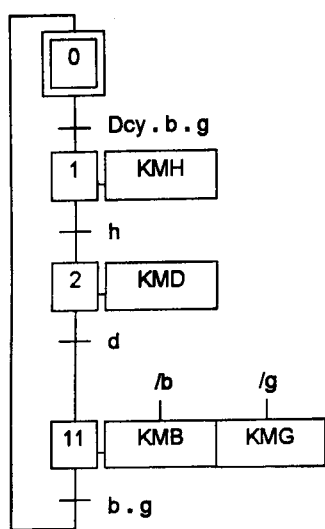


figure A-58

KMB est alimenté tant que X11 est active *et* que b est absent. L'équation s'écrit :

$$KMB = X11 \cdot /b$$

KMG est traité de la même manière.

Dès l'activation de l'étape X11, les contacteurs KMB et KMG sont donc alimentés puisque *ni b ni g* ne sont encore présents.

Lorsque seulement l'un des fins de course b *ou* g est enclenché, le grafcet n'évolue pas. L'alimentation du contacteur en question est cependant coupée, au vu de son équation formulée telle que ci-dessus.

Le grafcet n'évolue que si les deux mouvements sont terminés : b *et* g sont alors présents.

2 - POSITIONNEMENT D'UN CHARIOT

2 - 1. Partie a : positionnement par roue crantée et détecteur TOR

a) Présentatin du sujet

Un chariot effectue un cycle aller-retour entre deux points dont l'un est fixe et l'autre variable.

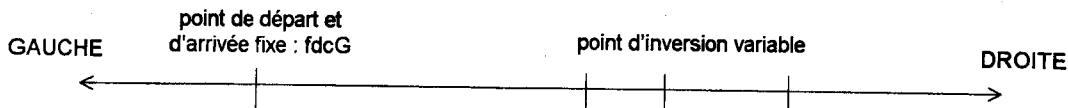


figure A-59

- Le point fixe est déterminé par la position d'un fin de course TOR noté fdcG.
- Le point d'inversion est déterminé par le nombre d'impulsions délivré par un détecteur inductif à proximité d'une roue crantée. Cette roue est solidaire de l'arbre moteur du chariot.

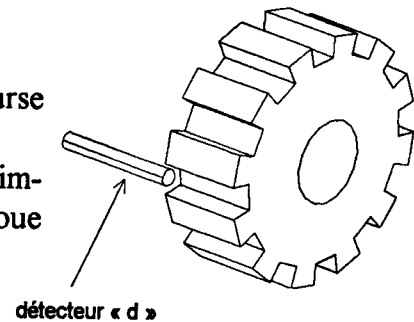


figure A-60

b) Fonctionnement du système

On propose de traiter ce problème en le décomposant en 3 grafjets distincts (hiérarchisés et numérotés comme suit) :

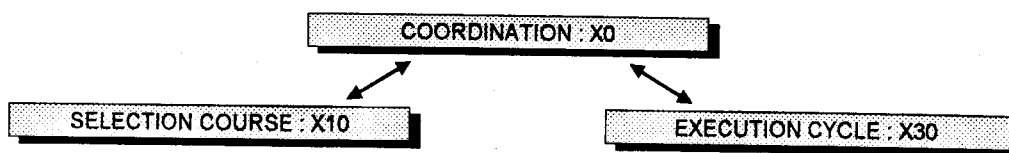


figure A-61

- Grafjet de coordination

Une impulsion sur le bouton Dcy autorise la sélection de la longueur de course. La validation de ce choix se fait par une nouvelle impulsion sur Dcy. Le cycle aller-retour est alors exécuté.

- Grafjet de sélection de course

Une impulsion sur l'un des boutons C1, C2 ou C3 provoque la mémorisation du nombre de crans à compter avant l'arrêt du chariot, ce qui détermine sa course. (Choisir 3 valeurs quelconques).

- Grafjet d'exécution du cycle

La longueur du trajet *aller* dépend de la sélection. Une temporisation de 0,5 secondes intervient avant l'inversion du sens de marche. Le trajet *retour* se fait jusqu'à la position initiale (fdcG).

c) Travail demandé

- Ecrire les grafjets au niveau automate (représentation symbolique) et justifier les choix.
- Compléter les grafjets en ajoutant la fonction de signalisation. Un voyant *VoyArr* est allumé en situation initiale. Un voyant *VoyMar* clignote lorsque l'opérateur doit sélectionner la course. Ce même voyant restera ensuite fixe pendant le déroulement du cycle. Un voyant *VoyOK* signale à l'opérateur que la sélection a été faite avec succès et qu'il peut demander l'exécution du cycle.

d) Corrigé et commentaires

- Coordination des tâches

- Le grafctet de coordination est de type linéaire : les 2 tâches T1 et T3 s'enchaînent l'une à la suite de l'autre.
- La condition *fdcG* ne se justifie que si l'on néglige la gestion des modes de marches et des sécurités dans l'esprit du Gemma (voir l'exercice *Poste de perçage*).
- Dans la mesure du possible, on préfère regrouper les voyants sur un même niveau hiérarchique. De même, il est souhaitable que chaque bouton, compteur, etc soit affecté à un seul niveau : ici, *Dcy* a une fonction de gestion et les boutons C_i une fonction de sélection. On évite par exemple d'utiliser *Dcy* à la fois dans le grafctet de coordination et dans le grafctet de sélection. Il est bien entendu qu'il ne s'agit pas là d'une règle absolue.

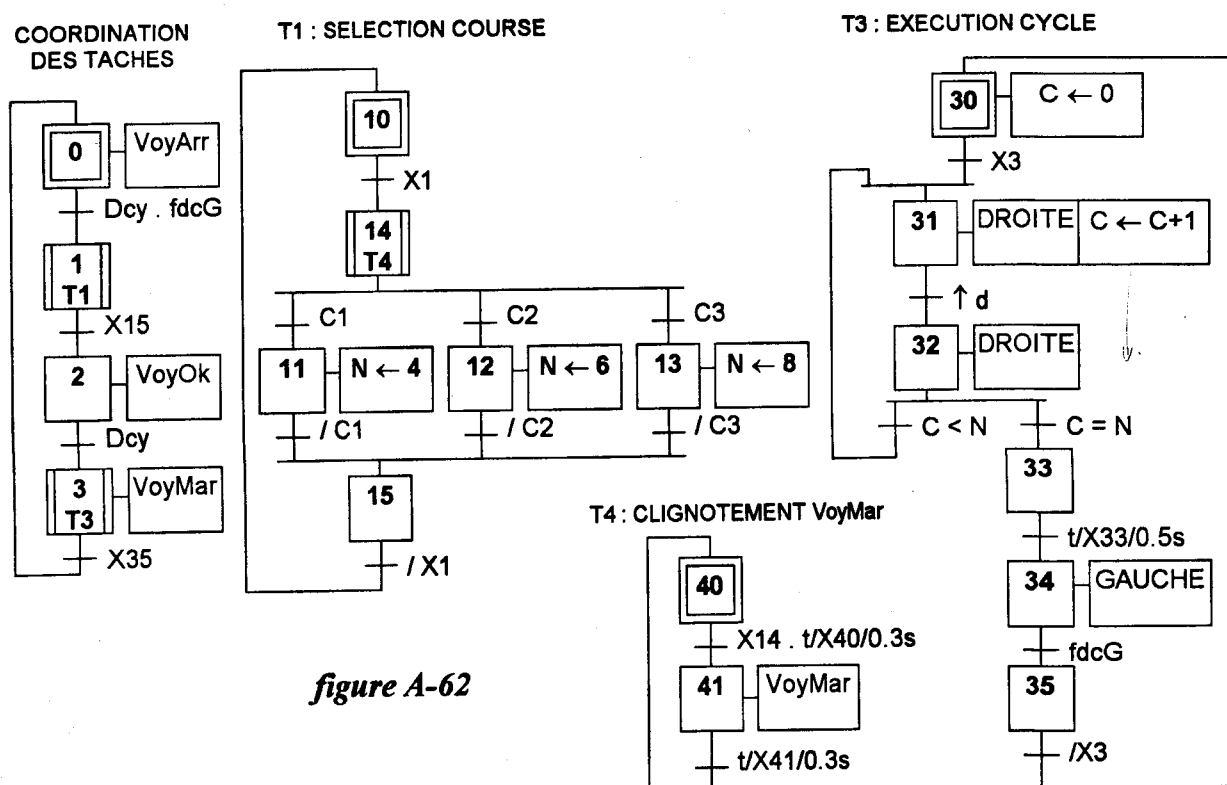


figure A-62

- Tâche de sélection

- La réceptivité X1 est la condition nécessaire et suffisante pour que le grafctet de sélection évolue. X14 reste active tant que l'opérateur n'appuie sur aucun des boutons C_i .
- Pendant tout ce temps, la sous-tâche T4 génère le clignotement du voyant *VoyMar* grâce au grafctet non synchronisé X40 (ce non-synchronisme est mis en évidence du fait de l'absence d'une étape de compte-rendu). Si X14 est désactivée dès le début de la temporisation $t/X41/0.3s$, le voyant reste allumé un court instant. Afin d'éviter cet aléa, la réceptivité en aval de X41 peut éventuellement être complétée ainsi : $[t/X41/0.3s + /X14]$. Notons que certains automates proposent des instructions directement exploitables pour créer un clignotement, auquel cas ce type de grafctet peut être superflu.
- Selon le mécanisme des tâches synchronisées, X15 est une étape de compte-rendu qui permet, lorsqu'elle est activée, de faire évoluer le grafctet appelant. Dès que cette évolution est accomplie, le grafctet de tâche peut être réinitialisé ($X15 \rightarrow X10$).
- Les transitions en aval des étapes X11, X12 et X13 peuvent poser quelque problème du fait que les réceptivités associées ne sont pas évidentes :
 - il est inutile par exemple de vérifier la nouvelle valeur de N (réceptivité du type $[N=4]$),
 - il est fortement déconseillé d'employer des temporisations, leur fonction ne correspondant en rien à l'effet recherché,

- la réceptivité du type [=1] doit être utilisée avec précaution au moment du codage en langage automate (voir le problème des étapes instables au chapitre II),
 - en plus d'être simple, la solution proposée n'autorise l'évolution du cycle que lorsque l'opérateur a effectivement relâché le bouton et elle s'applique aisément à toutes les techniques de programmation.
- N est une variable interne qui varie dans cet exemple de 4 à 8. Un quartet est suffisant pour mémoriser ces valeurs, mais l'entité minimum en général accessible par programme est soit l'octet, soit le mot (16 bits). Le programmeur choisira librement l'adresse de cette variable.

- Tâche d'exécution

- C est un compteur ; il est intéressant d'utiliser un bloc fonctionnel de comptage (ou une adresse spécifique) afin de bénéficier du confort de programmation qui en résulte.
- Ce grafcet présente une forme classique de comptage. Le compteur est positionné à 0 sur l'étape initiale, puis incrémenté à chaque cran, la comparaison se faisant alors par rapport au nombre de crans demandés. Une solution équivalente consiste à initialiser le compteur à la valeur N , puis à le décrémenter jusqu'à 0.

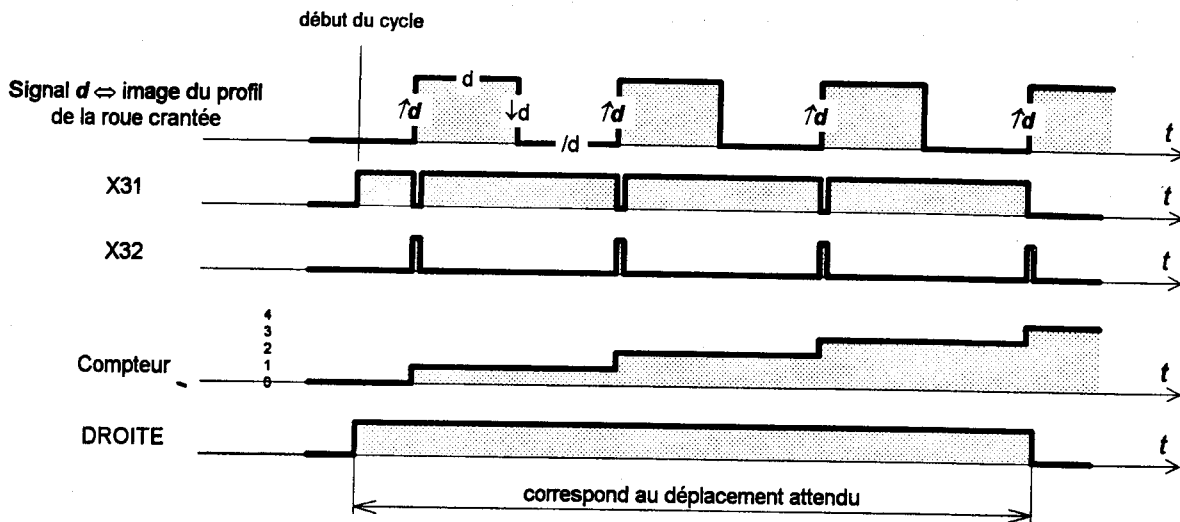


figure A-63 (prise en compte de $\uparrow d$)

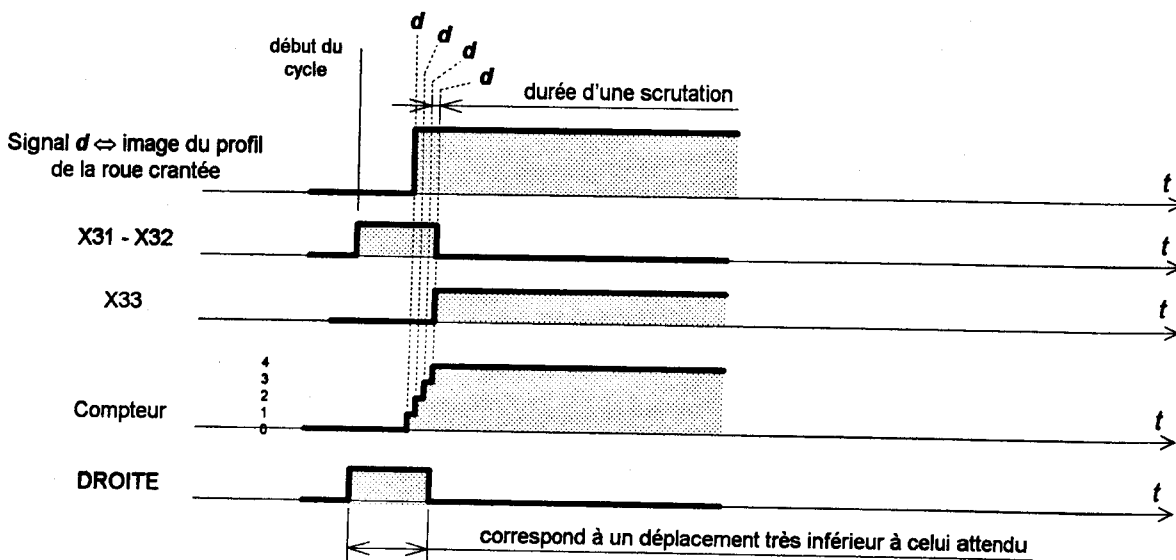


figure A-64 (prise en compte de d)

- Une attention particulière doit être portée sur les points suivants (voir le chapitre II.3) :
 - l'incrémentation doit *pouvoir* avoir lieu (stabilité ou instabilité de l'étape associée),

- l'incréméntation ne doit s'effectuer *qu'une seule fois* pour chaque cran (front de l'étape associée).
- Par ailleurs, on évite en général de boucler une étape sur elle-même (solution sans X32).
- En fonction de l'automate utilisé, l'ordre *DROITE* doit éventuellement être répété sur l'étape X32 pour éviter de brèves interruptions de l'alimentation du moteur à chaque détection de cran.
- La première série de tracés du diagramme temporel de la figure A-63 montre le fonctionnement correct du cycle tel qu'il est prévu sur le grafcet (avec prise en compte du front de d). La situation au départ du tracé est : $/d$ et $N=4$. Sur la deuxième série de tracés (figure A-64), on a supposé l'utilisation du signal à niveau d en lieu et place du front de d . On voit que dans ce cas le cycle se terminerai*t sans* que le chariot se soit déplacé de la distance voulue une fois le premier cran atteint.

- Remarque sur la pertinence de la limitation du nombre d'étapes

Chercher à réduire le nombre d'étapes des grafquets n'a de sens que si la réalisation est câblée : le coût des composants est ainsi plus faible. Le dimensionnement correct d'un automate doit au contraire permettre d'en utiliser un grand nombre. L'intérêt majeur *d'étirer un grafcet en longueur* est d'en faciliter le diagnostic en cas de défaut. Prenons par exemple l'évolution $X32 \rightarrow X33 \rightarrow X34$. Si lors du test du programme, l'évolution du grafcet est bloquée dans la situation $\{X32\}$, il faut chercher l'erreur au niveau du comptage ; si elle est bloquée en $\{X33\}$, le défaut se situe au niveau de la temporisation.

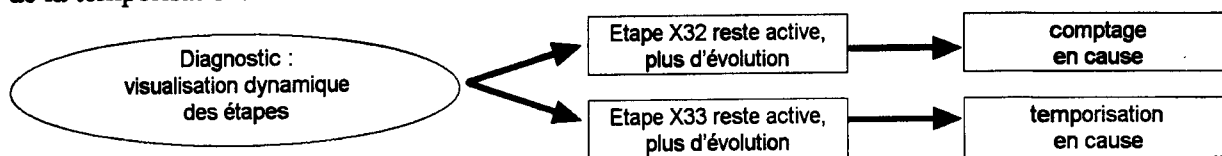


figure A-65

L'étape X33 peut être supprimée comme sur la figure A-66. Dans ce cas, l'erreur peut provenir de causes variées qu'il faut toutes envisager (comptage *et* temporisation). La recherche du défaut est moins immédiate.

En outre, la décomposition en étapes multiples a permis d'insérer facilement le clignotement du voyant sur l'étape X14 (le passage de X10 à X11 aurait pu se faire avec $[X1.C1]$).

De même, l'étape X2 se prête naturellement à y associer le voyant *VoyOK*.

Egalement, l'évolution de X1 directement vers X3 par la réceptivité $[X15 . Dcy]$ empêcherait la réinitialisation du grafcet X10 dès la fin de sa tâche.

Le résultat de ces deux approches est évidemment le même du point de vue du fonctionnement. L'expérience guidera le programmeur dans le choix de l'une et/ou de l'autre selon la cas.

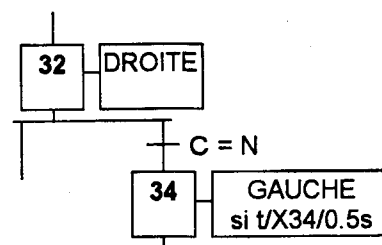


figure A-66

2 - 2. Partie b : précision du positionnement

a) Présentation du sujet

Soit le système étudié en partie *a* de cet exercice. On cherche à en déterminer la précision.

b) Travail demandé

- Calculer suivant l'axe de déplacement du chariot la distance qui correspond à l'incrément de programmation ; calculer la dispersion du positionnement :

vitesse d'avance du chariot = 0.2 m/s

diamètre roue motrice = 60 mm

temps de scrutation du programme = 50 ms

- Quelle solution, évoquée au chapitre I, permet de réduire la dispersion ?

c) Corrigé et commentaires

- La distance qui correspond à l'incrément de programmation est directement liée au nombre de crans que comporte la roue et au diamètre de la roue motrice :

$$\text{distance}_{(\text{mm})} = \{ \pi * D_{(\text{mm})} / Q_{(\text{nbre de crans})} \}$$

On peut donc atteindre un point tous les 15.7 mm.

Dispersion : à cause du traitement des entrées et des sorties via les mémoires images, le temps de réaction d'un automate est au minimum de 1 scrutation et au maximum de 2 scrutations. En 1 scrutation, le chariot se déplace de $200 * 50 / 1000$ mm. Cette distance de 10 mm correspond à la dispersion (position maxi - position mini). Pour $N=1$, le point d'arrêt réel se trouve aléatoirement entre la coordonnée 15.7 et la coordonnée 25.7 mm.

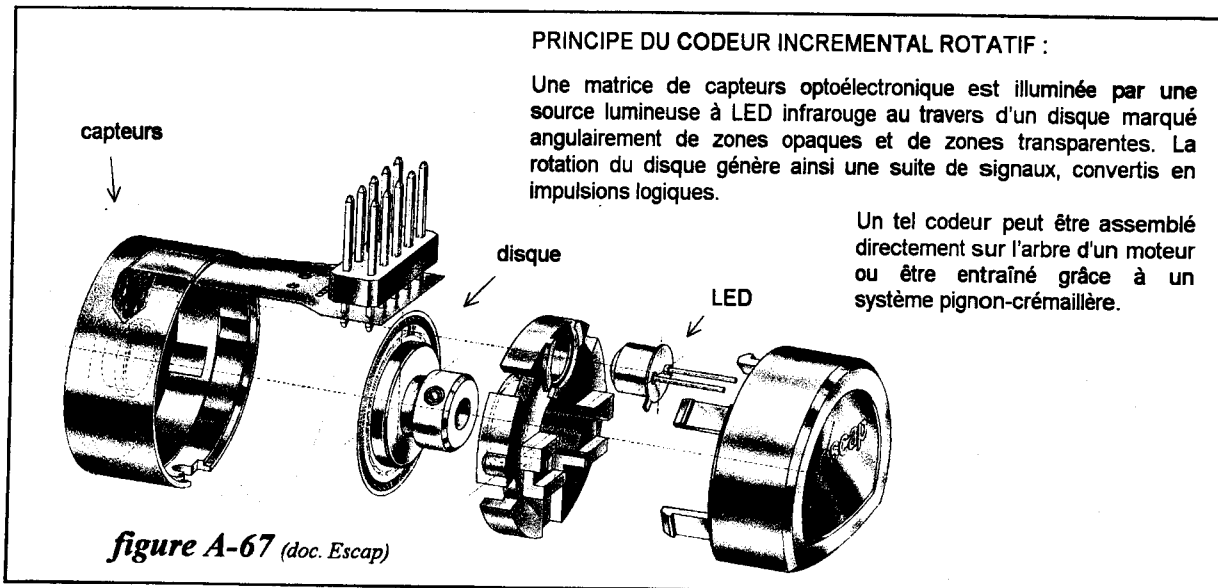
Cette dispersion peut être acceptable pour un transbordeur dont le positionnement final est ajusté par un dispositif supplémentaire. Par contre, elle est bien trop grande pour la plupart des mécanismes.

- Une première solution pour réduire considérablement cet écart est de s'affranchir du temps de scrutation de l'automate en déclenchant un traitement prioritaire dès l'apparition de la condition d'arrêt du chariot et dont le but est de provoquer instantanément l'arrêt du chariot. Le temps de réaction étant alors négligeable, la dispersion sera très faible. Pour que ce type de traitement puisse être validé, les automates imposent en général que le détecteur soit câblé à une adresse bien définie ou bien qu'on le raccorde à une carte d'interruption spécialisée.

2 - 3. Partie c : positionnement par codeur incrémental

a) Présentation du sujet

Afin d'augmenter la flexibilité du chariot, le nombre de points par tour de roue doit être plus élevé. A cet effet, la roue crantée, qui génère 12 fronts montants par tour, est remplacée par un codeur incrémental, dont le principe est identique, mais qui délivre 1000 impulsions par tour (voir également la note technique de la figure A-67).



b) Travail demandé

- Calculer suivant l'axe de déplacement du chariot la distance qui correspond à l'incrément de programmation.
- Formuler des commentaires sur la dispersion.
- Calculer les nouvelles valeurs de N relatives aux boutons C1, C2 et C3 si on veut obtenir les mêmes déplacements qu'en partie a.
- Recenser l'ensemble des contraintes que ce dispositif requiert. En chiffrer les critères pour le cas des hypothèses de la partie b.

c) Corrigé et commentaires

- La relation est :

$$\text{distance}_{(\text{mm})} = \{ \pi * D_{(\text{mm})} / P_{(\text{nbre pts du codeur})} \}$$

Cette fois, on peut atteindre un point tous les 0.19 mm. La précision est env. 83 fois meilleure qu'avec la roue crantée.

- Sans la mise en oeuvre du traitement prioritaire, la dispersion reste pourtant de 10 mm car l'utilisation du codeur n'améliore en rien le temps de réaction de l'automate. Elle peut être rendue négligeable grâce au traitement prioritaire. Dans tous les cas, le codeur permet une plus grande flexibilité.

- Solution de la roue crantée, pour N=4 : $4 * 15.7 \text{ mm} = 62.8 \text{ mm}$
Solution du codeur pour le même déplacement : $62.8 / 0.19 \text{ mm} = 330 \text{ points}$

C1	N = 4	Nombre de points (consigne) = 330
C2	N = 6	Nombre de points (consigne) = 496
C3	N = 8	Nombre de points (consigne) = 661

- Un premier critère est la fréquence du train d'impulsion. Cette fréquence doit rester compatible avec celle de la scrutation du programme pour garantir la prise en compte de toutes les impulsions.

Le temps d'une scrutation étant de 50 ms, sa fréquence est de $1 / 0.05$; c'est-à-dire : **20 Hz**

La vitesse de rotation du codeur est : $S_{(\text{tr/s})} = V_{(\text{mm/s})} / (\pi * D_{(\text{mm})})$

Le nombre d'impulsions par seconde est de $(S_{(\text{tr/s})} * P_{(\text{nbre points du codeur})})$

d'où la fréquence du train d'impulsions = **1061 Hz**

Conclusion : seule 1 impulsion sur 53 est prise en compte par le programme. La solution est inacceptable.

Solution : Le codeur doit être relié à une carte (ou une entrée) spécialisée dite de *comptage rapide* dont les fréquences de traitement peuvent être variables selon le type (500 Hz, 10000 Hz, 250000 Hz par exemple). Un processeur indépendant gère ce comptage et dialogue avec l'unité centrale pour prendre en compte la consigne à atteindre et pour traiter le résultat en fonction du programme.

Autrement dit, ce n'est plus le programme de l'unité centrale qui gère le comptage : le grafcet doit être modifié en conséquence comme l'indique la figure A-68. Le signe > de la réceptivité en aval de l'étape X31 vient du fait qu'il est statistiquement improbable que l'égalité stricte puisse être observée par l'unité centrale, donc par le grafcet. Dans le cas où l'on met en oeuvre un traitement prioritaire pour l'arrêt du chariot lorsque la valeur courante est égale à la consigne, il faut veiller à ne pas maintenir la sortie *DROITE* plus longtemps, car l'évolution du grafcet sera en retard par rapport à cet instant précis. On conseille au lecteur de tracer un chronogramme pour bien assimiler ce mécanisme.

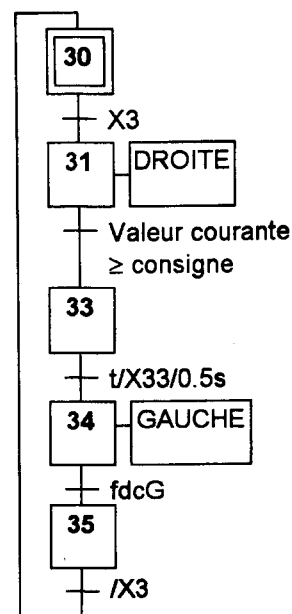


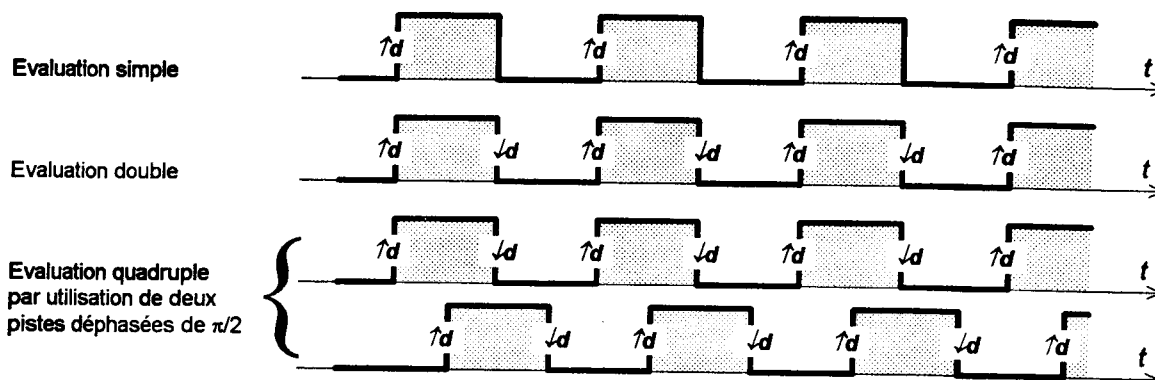
figure A-68

— Un deuxième critère est la taille du registre de comptage. En effet, le comptage des impulsions se fait dans un registre particulier dont le format est déterminé par le constructeur (16 bits, 32 bits). Plus la fréquence est élevée, plus le registre arrive rapidement à saturation, ce qui a une incidence sur la course utile du chariot. Si le registre est par exemple de 16 bits et si on utilise seulement les valeurs positives (1 bit étant cependant réservé pour le signe), la limite avant saturation est de :

2^{15} , à savoir 32768 points, ce qui correspond à une course de :

$$\text{course utile}_{(\text{mm})} = \pi * D_{(\text{mm})} * 32768_{(\text{pts})} / P_{(\text{nbre pts du codeur})} = 6173 \text{ mm}$$

— La précision du codeur peut être doublée en évaluant également les fronts descendants du train d'impulsions. La course utile sera évidemment réduite de moitié et la fréquence doublée. La note technique du codeur montre qu'il peut exister une seconde piste : elle est en général déphasée de $\pi/2$ par rapport à la première. L'évaluation de tous les fronts des deux pistes multiplie ainsi la résolution du codeur par 4 (figure A-69).



Note : l'échelle de temps est différente de celle de la figure A-63

figure A-69

— Le déphasage des deux pistes a une seconde utilité : la discrimination du sens de rotation du codeur. Selon l'ordre d'arrivée des fronts, l'une des deux fonctions *comptage* ou *décomptage* est alors automatiquement validée.

— Un dernier critère concerne la prise de référence de l'axe numérique ainsi réalisé. A cet effet, la troisième piste du codeur définit une position unique : le *top zéro*. Ce signal apparaît à chaque tour du codeur aussi en faut-il déterminer celui qui doit effectivement initialiser l'axe (c'est-à-dire positionner le compteur à la valeur initiale : 0 ou une valeur appropriée) : un détecteur TOR permet cette sélection (figure A-70)

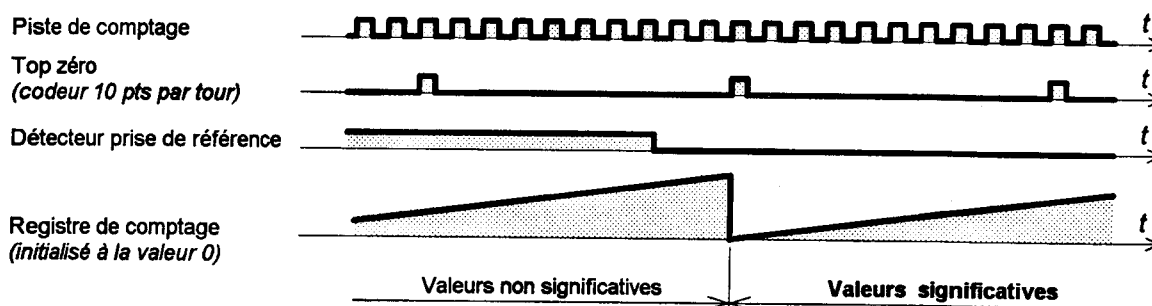


figure A-70

• **Conclusion** : Le choix du nombre de points d'un codeur, du facteur d'évaluation et de la fréquence de comptage maxi doit être compatible avec la précision recherchée, la taille du registre de comptage, la course du mobile et sa vitesse d'avance.

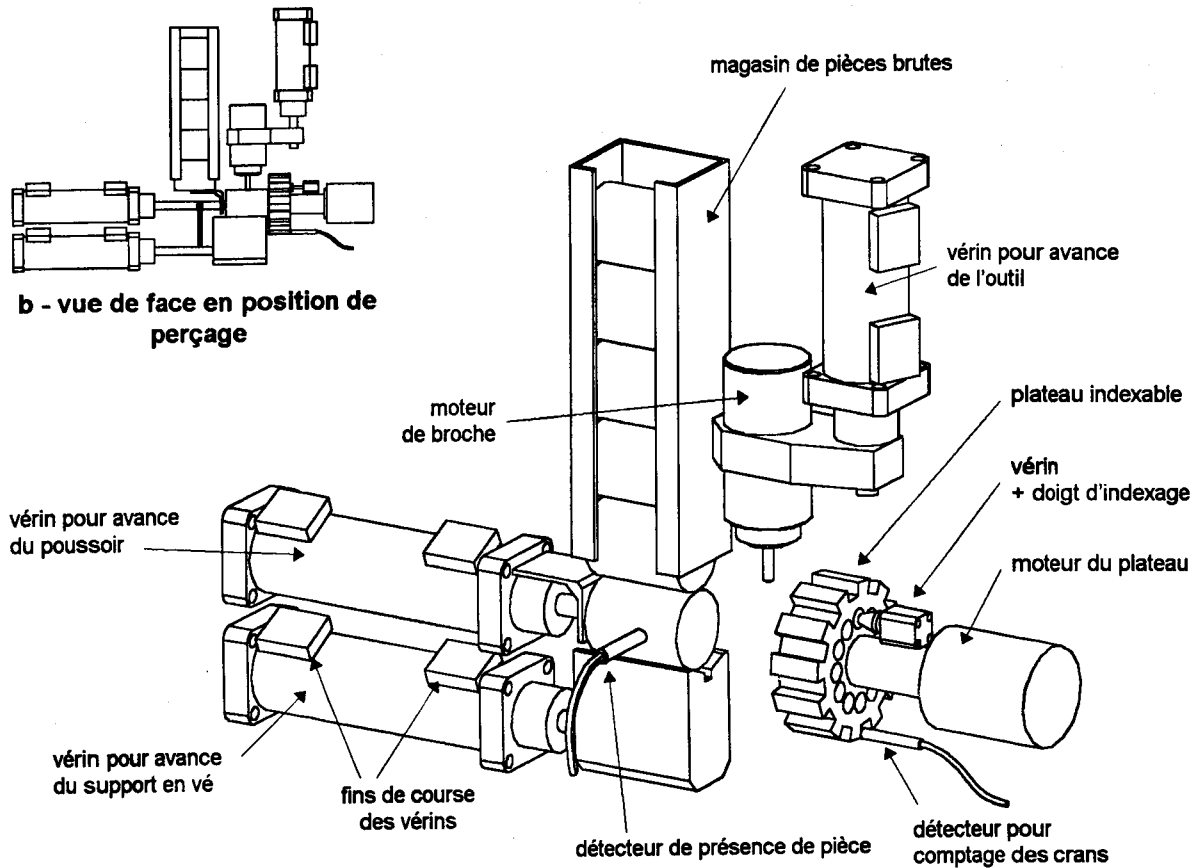
- **Remarques** :

- La configuration des paramètres ci-dessus se fait selon le type d'automate par switches et/ou par logiciel.
- Les codeurs existent également en technologie analogique (mesure d'une tension au lieu d'impulsions), peuvent être de type absolu (à chaque position angulaire du codeur correspond une valeur déterminée) et peuvent se présenter sous forme linéaire (règles).
- La gestion des informations et des actionneurs peut également être faite d'une manière plus complète par des cartes d'axes.

3 - POSTE DE PERCAGE

3 - 1. Présentation du sujet

Il s'agit d'un poste de perçage automatique qui permet de traiter 6 types de pièces sans qu'aucun réglage sur la partie opérative ne soit nécessaire lorsqu'on change de série. La machine est représentée schématiquement ci-dessous.



a - vue d'ensemble en situation initiale

figure A-71

Les différents types de pièces à traiter appartiennent à la même famille : les trous à percer sont tous du même diamètre, de la même profondeur et disposés dans un même plan transversal, seul leur nombre varie d'un type à l'autre. Ce nombre peut être de 1, 2, 3, 4, 6 et 12. Dans le cas où 2 trous doivent être percés, ils sont espacés de 180°. 3 trous sont espacés de 2 fois 120°, 4 trous sont à 90°, 6 trous à 60° et 12 trous à 30°. De ce fait, l'indexage du plateau se fait par une couronne qui est crantée tous les 30°, l'incrément α entre deux trous étant un multiple de 30°.

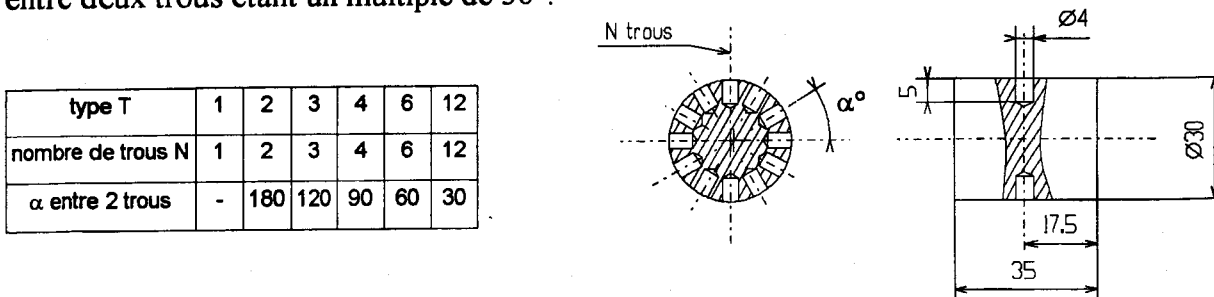


figure A-72 : les 6 types de pièces à percer

3 - 2. Fonctionnement du système

La figure A-71-a montre le système en situation initiale : toutes les tiges de vérin sont rentrées, les moteurs à l'arrêt et une pièce peut éventuellement être présente sur le support en vé. Le plateau est dans une position correcte.

- Le cycle démarre par l'alimentation de la pièce : le poussoir et le support en vé avancent simultanément jusqu'en fin de course. Le poussoir est muni d'un accessoire qui maintient en place les éventuelles pièces présentes dans la goulotte.
- Un premier perçage a lieu : la broche se met en rotation en même temps que l'indexeur se met en place, l'outil avance ensuite jusqu'en fin de course puis recule immédiatement en position initiale.
- Si un autre trou doit être percé, la broche reste en rotation, l'indexeur se rétracte, le plateau tourne de l'angle α nécessaire, l'indexeur se remet en position de verrouillage et un nouveau perçage a lieu.
- Si tous les trous ont été percés, l'indexeur ainsi que le support en vé reculent. La pièce reste bloquée entre le poussoir et le plateau. Dès que le support est rentré, le poussoir recule et la pièce tombe dans une goulotte d'évacuation (non représentée sur les figures).
- Un cycle pour une nouvelle pièce peut démarrer. La broche s'arrête lorsque toutes les pièces de la série ont été percées.

3 - 3. Pupitre opérateur

Le pilotage de la machine se fait à l'aide du pupitre représenté figure A-73.

Il est complété par une partie gestion des énergies qui commande la mise en marche et la mise à l'arrêt des parties commande et opérative : boutons mPC, aPC, mPO et aPO et voyants PCenService et POenService.

Acqu. défaut est un bouton lumineux. Sa signalisation est assurée par câblage.

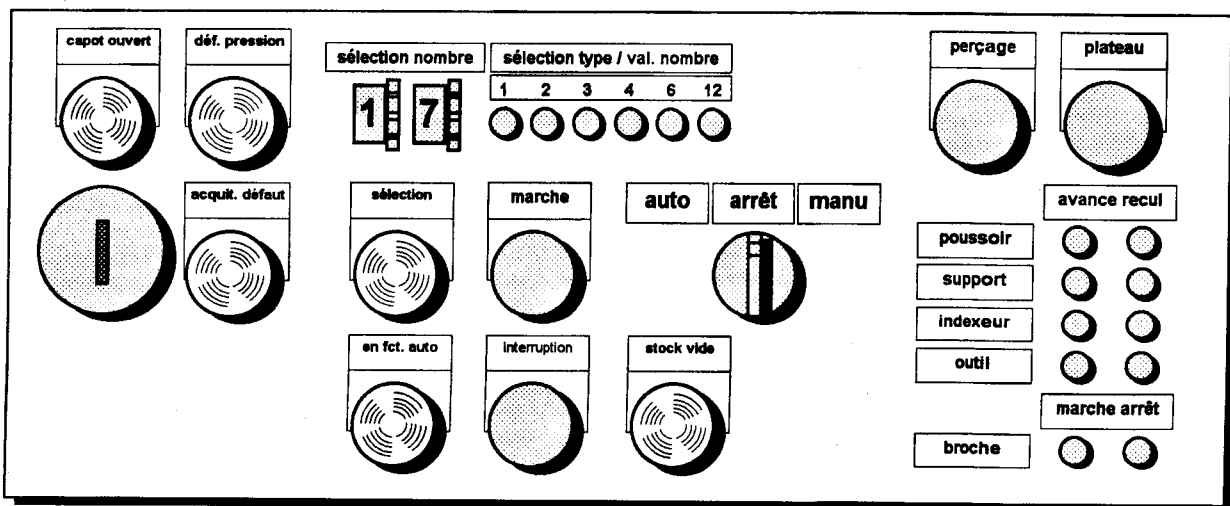


figure A-73

3 - 4. Commande du système

Le sélecteur à 3 positions *auto-arrêt-manu* permet de sélectionner le mode de marche.

a) Calque marche normale

- En mode *auto*, l'opérateur appuie sur le bouton poussoir *marche* pour faire les sélections suivantes :

- le nombre de pièces à réaliser dans la série (cette sélection se fait par les 2 roues codeuses, le nombre peut varier de 0 à 99),
- le type de pièce à réaliser (6 boutons poussoirs sont prévus à cet effet ; ils sont notés *t1*, *t2*, *t3*, *t4*, *t6*, *t12* selon le type).

Remarque : au moment de la sélection du type, le nombre de pièces à réaliser qui est mémorisé est celui qui est affiché sur les roues codeuses.

- Lorsque l'opérateur appuie de nouveau sur le bouton *marche*, le cycle de production est démarré et se termine automatiquement lorsque le nombre total de pièces demandé est atteint. A tout instant, l'opérateur peut sélectionner la position *arrêt* du sélecteur de mode. Dans ce cas, la machine s'arrête lorsque le cycle qui est en cours est terminé
- Vérification de la présence pièce : pour éviter d'endommager la machine, le cycle ne doit démarrer que si une pièce est présente. Dans le cas où le magasin serait vide, l'opérateur installe au moins 1 pièce brute et doit ensuite valider le redémarrage par une action positive sur le bouton *marche*.

Note : il est conseillé de traiter dès maintenant les questions 1, 2 et 3.

b) Calque initialisation PO (ou mise en référence)

Au démarrage, ou en cas d'arrêt par défaillance, ou après réglage, la partie opérative ne se trouve pas forcément en situation initiale. Lorsqu'on demande le (re)démarrage, sa mise en situation initiale doit se faire de manière automatique, dans de bonnes conditions de sécurité.

c) Calque défaillances

Le poste est dangereux du fait des mouvements des vérins et de la rotation de la broche et du plateau : un capot de protection - non représenté sur les figures - agit sur un interrupteur de sécurité. Par ailleurs un bouton coup de poing *arrêt d'urgence* permet à tout instant d'arrêter immédiatement la machine. Le fonctionnement ne doit être possible que si le capot est fermé et le bouton AU déverrouillé. En cas de redémarrage, l'opérateur doit en outre valider son intention en appuyant sur le bouton *marche*.

d) Calque réglages

- Vérins et broche en mode manu

Afin de régler les positions exactes des fins de courses, notamment lors du remplacement du foret, l'opérateur accède individuellement à chaque mouvement de vérin par un bouton poussoir. La broche est mise en rotation et arrêtée de la même manière.

- Plateau en mode manu

Le plateau est mis en rotation par une impulsion sur le bouton poussoir *plateau* et s'arrête dès l'arrivée du prochain signal au niveau du détecteur de crans.

Afin de tester le bon fonctionnement de l'usinage, le bouton *perçage* permet de lancer un cycle unique de perçage.

e) Interruption du cycle

Lorsque le cycle est *en cours d'évolution*, l'appui sur le bouton *interruption* provoque l'arrêt immédiat du cycle. Les vérins terminent néanmoins les courses qui ont été entamées. Le système reste en l'état jusqu'à ce que l'opérateur appuie sur le bouton *marche*, auquel cas

le cycle se poursuit là où il a été interrompu. Pour quitter définitivement la production, on bascule le sélecteur de mode en position *arrêt*. Dans ce cas, l'état de la partie opérative n'est pas modifié.

f) Gestion du nombre de pièces

Le compteur qui est associé au nombre de pièces à réaliser ne doit pas être perturbé par les différents arrêts intermédiaires : après les redémarrages, la production se poursuit pour obtenir le nombre total de pièces demandé au départ.

g) Signalisation

Les voyants proposés sur le pupitre doivent signaler les états successifs du système.

3 - 5. Enoncé du sujet

a) Première partie

Question 1. Faire l'inventaire des variables (paramètres et compteurs).

Question 2. Tracer le Gemma du calque *marche normale*. En déduire, pour ce calque seulement, le grafcet de conduite (gestion des modes de marches et d'arrêts).

Question 3. Ecrire le grafcet de coordination des tâches du cycle de production ainsi que les grafcets de toutes les tâches : *niveau effecteur, point de vue de l'observateur* (voir la figure A-33, page 34). Compléter les dialogues sur le grafcet de conduite.

Veiller à respecter la recommandation suivante : chaque bouton, chaque voyant, chaque compteur, etc. ne doit être géré que sur un seul niveau hiérarchique.

b) Deuxième partie

Question 4. Choisir la technologie des vérins et de leur préactionneurs en réfléchissant au comportement du système dans les cas suivants :

- ouverture inopinée du capot,
- arrêt d'urgence,
- chute de pression.

Question 5. Compléter le Gemma par les autres modes. Compléter le grafcet de conduite, tracer les grafcets supplémentaires (surveillance et autres modes).

Question 6. Tracer un diagramme qui résume la structure hiérarchisée des grafcets.

Question 7. Au cas où le foret se brise en cours d'usinage, on estime que le mouvement du vérin qui provoque son avance est ralenti voire bloqué. Proposer une solution simple pour générer un arrêt approprié de la machine.

3 - 6. Corrigé et commentaires

a) Inventaire des variables (Q.1)

Les variables définissent d'une part le nombre de pièces à réaliser dans la série et d'autre part les caractéristiques de chaque type de pièce, à savoir le nombre de trous, ce qui implique également l'angle entre les trous. On a donc 3 niveaux de paramètres et de compteurs. Les symboles retenus sont composés des lettres C et N (respectivement pour compteur et nombre) et des indices P, T et C

(respectivement pour pièces, trous et crans). Afin de structurer correctement l'analyse, chaque compteur doit être géré sur un seul niveau hiérarchique : le nombre de pièces au niveau *conduite*, le nombre de trous au niveau commande de la tâche *production* et l'incrément d'angle au niveau de la tâche *positionnement plateau*. Il en résulte le tableau suivant.

désignation	variables		niveau hiérarchique
	paramètre	compteur	
nombre de pièces de la série	Np	Cp	conduite
nombre de trous	Nt	Ct	tâche <i>production</i>
nombre de crans (incréments)	Nc	Cc	tâche <i>positionnement</i>

figure A-74

b) Mode : marche normale (Q.2)

- Gemma

Le Gemma proposé en figure A-75 présente certaines particularités.

- Le Gemma peut être tracé sur feuille libre. La grille proposée par l'ADEPA sert alors de référence, en particulier pour l'identification des rectangles-états (F1, F2, etc.).
- De nombreuses liaisons interconnectent les rectangles, notamment pour arrêter la machine depuis les modes F2 et A2. Elles peuvent paraître surabondantes *a priori*, mais elles ne nécessitent que très peu de programmation supplémentaire et surtout, confèrent au système une bien plus grande souplesse d'emploi, donc une meilleure qualité d'ensemble.

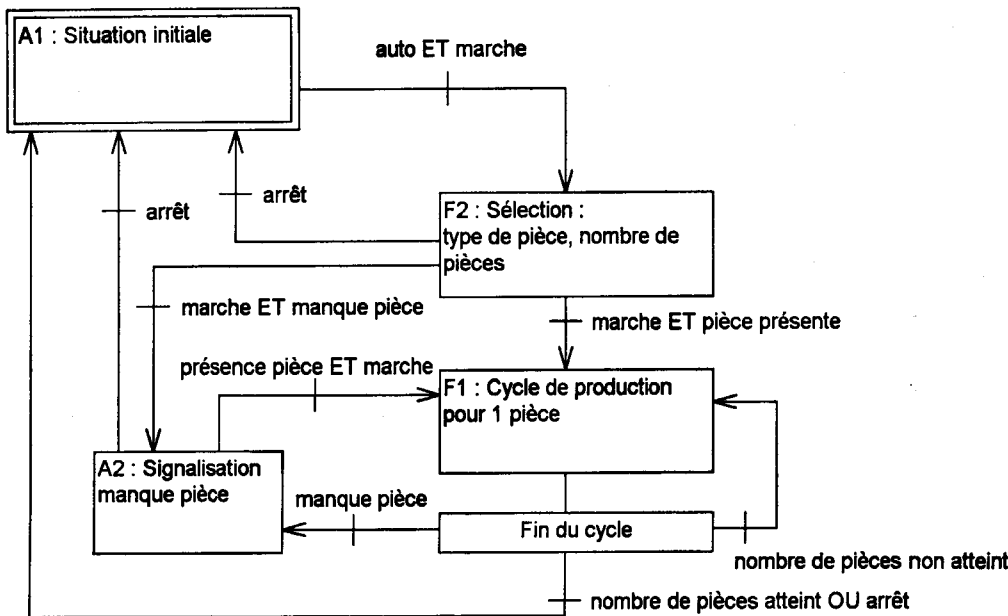


figure A-75

• Le rectangle *fin du cycle* permet d'expliciter très clairement le fonctionnement pour des cycles répétés de manière automatique. Ce rectangle ne peut en effet être comparé à aucun mode proposé par la grille habituelle : ce n'est ni un arrêt, ni un fonctionnement, ni une défaillance. La fonction qu'il réalise peut aussi être traduite directement par grafcet à l'intérieur du rectangle F1.

• Remarquons encore que l'écriture des conditions logiques n'utilise pas le formalisme des automaticiens : [ET] ne s'écrit pas [.] , [OU] ne s'écrit pas [+] et [pas] ne s'écrit pas [/] car ce document est destiné à toutes les personnes en contact avec la machine. Pour la même raison, ces conditions ne

sont pas exprimées de manière exhaustive. Elles ne font apparaître que les paramètres les plus immédiats, sans souci de gestion de priorité par exemple (elles doivent être comparées avec les réceptivités équivalentes du grafcet associé, figure A-76).

- Grafcet de conduite

Ce grafcet est la transcription du Gemma. Les réceptivités sont complétées de façon à gérer les sélections de séquences sans ambiguïté.

La transcription ne peut pas se faire selon une méthode systématique. Par exemple, les 3 liaisons qui quittent F2 sont de même nature sur le Gemma mais sont aménagées différemment sur le grafcet pour permettre la sortie de ce mode sans obliger l'opérateur à faire une sélection. Cette possibilité traduit le souci de produire une machine proche de la *commande intuitive*, principe d'ailleurs prévu par le code du travail, article R.233-89.

Le grafcet de conduite gère les tâches *sélection* et *production* ainsi que les voyants liés à la conduite du système et le compteur du nombre de pièces. Et c'est à ce niveau que le pilotage de la rotation de la broche s'avère le plus simple : elle est équivalente à la tâche *production* du point de vue temporel.

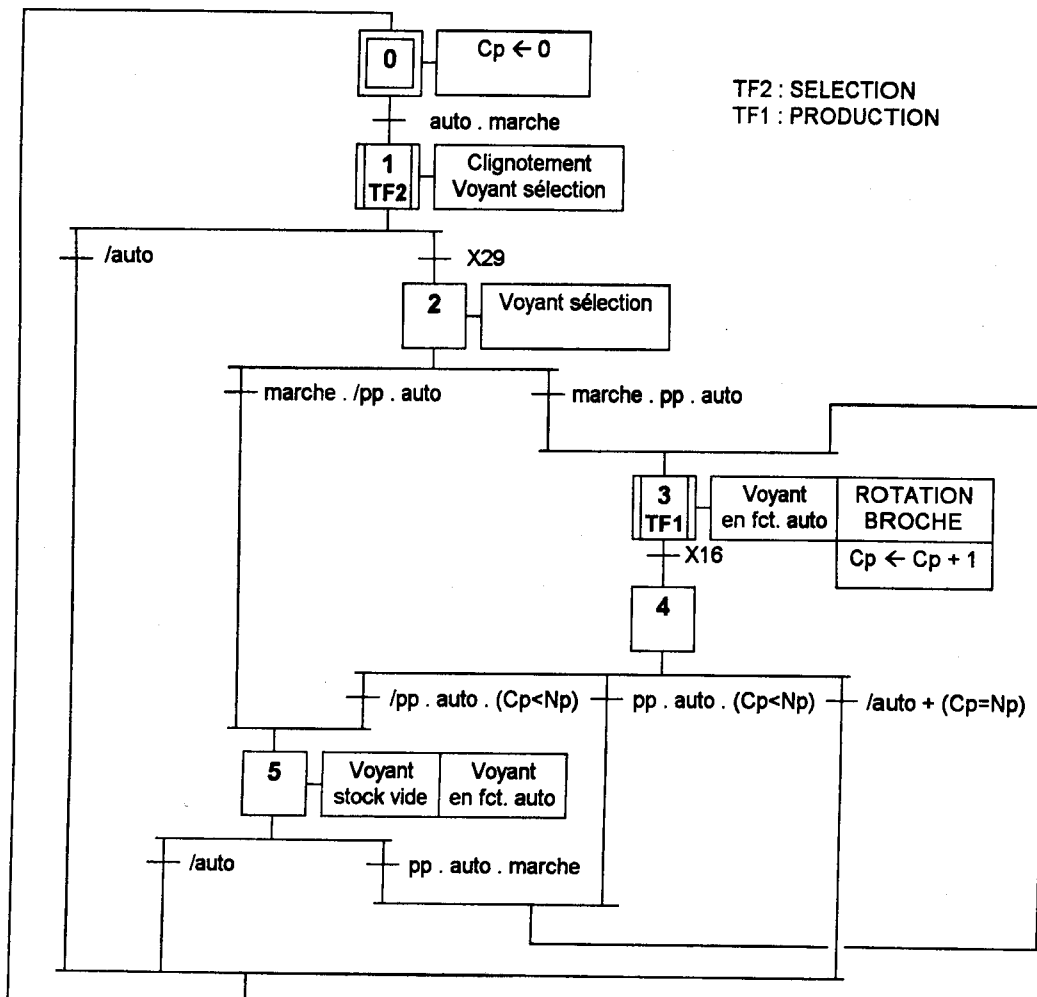


figure A-76

c) Grafquets : marche normale (Q.3)

- Tâche sélection TF2

Le grafcet de la figure A-77 est le résultat de l'analyse à la fois des variables utiles et de leur mode de mémorisation.

Au sujet de l'ordre de l'étape X28 : les roues codeuses délivrent en général un code BCD sur 4 bornes pour chaque digit. Quatre entrées TOR par digit sont donc nécessaires sur l'automate (pour lire les chiffres 0 à 9) ainsi qu'un programme de décodage.

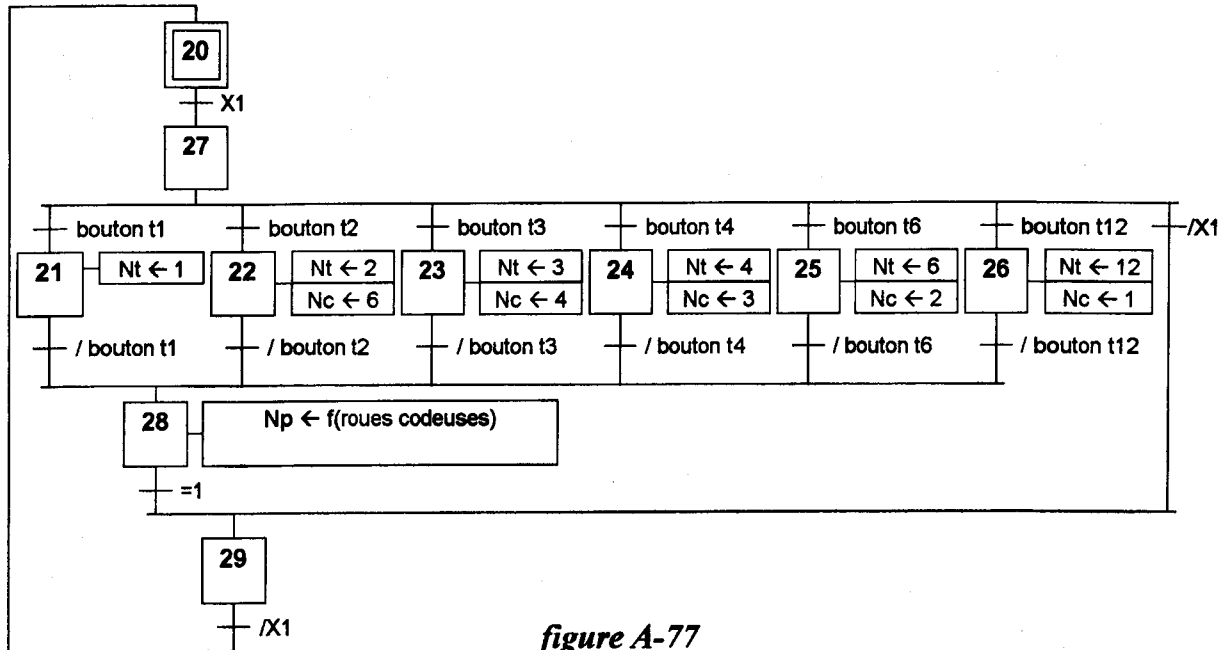


figure A-77

- Tâche production TF1

Ce grafcet (figure A-78) est chargé de la coordination des tâches de niveau hiérarchique inférieur : l'alimentation, l'évacuation, la trajectoire de l'outil et le positionnement du plateau. Notons que les questions déjà traitées (une pièce est-elle présente ? la partie opérative est-elle initialisée ? etc.) ne sont plus à l'ordre du jour. C'est justement pour cette raison que la décomposition en grafcets hiérarchisés est intéressante : l'analyse porte à des moments différents sur des problèmes restreints et isolés.

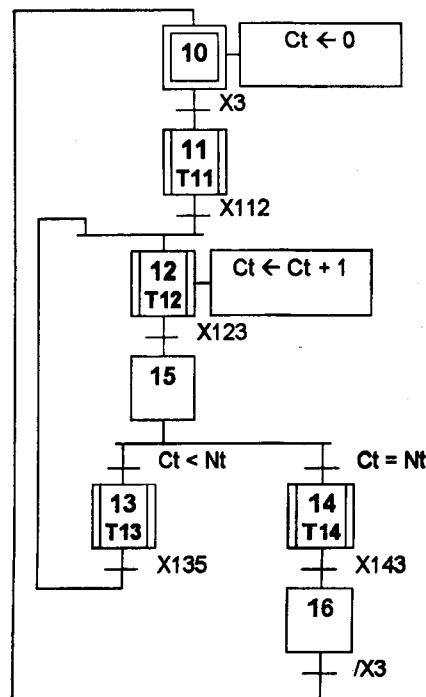
Les comptages effectués par les grafcets X10 et X130 appellent les mêmes commentaires que le corrigé de l'exercice *Positionnement d'un chariot*.

- Tâches de niveau inférieur

Voir la figure A-79, page suivante.

d) Technologies des préactionneurs et des actionneurs (Q.4)

La sécurité doit obligatoirement être traitée au premier niveau par le choix judicieux des pré-actionneurs, des actionneurs et du schéma de câblage. La programmation ne permet quant à elle de ne gérer que les situations de repli et de redémarrage. Dans le cas habituel d'un pilotage par automate programmable, les préactionneurs sont à commande électrique (même type et même niveau d'énergie que les sorties). Le câblage est réalisé de sorte qu'en cas de danger - qui survient ici soit par ouverture du capot, soit par appui sur le bouton AU, soit par une



T11 : ALIMENTATION
 T12 : PERCAGE
 T13 : POSITIONNEMENT PLATEAU
 T14 : EVACUATION

figure A-78

chute de pression - l'alimentation en courant des préactionneurs est interrompue. S'ils sont monostables, ils reviennent en position initiale ; s'ils sont bistables, ils conservent leur état. L'automate continue à fonctionner.

En cas de chute de pression, les tiges des vérins à simple effet rentrent grâce à l'effet de leur ressort intégré alors que les vérins à double effet conservent leur position. Si le mouvement d'un vérin doit être immédiatement bloqué, il convient d'installer des bloqueurs à proximité de leurs orifices.

Ces considérations permettent de retenir les solutions ci-dessous. La sécurité doit être optimale et mérite toujours d'être analysée avec beaucoup d'attention, cas par cas.

effecteur	actionneur	préactionneur	motivation
poussoir	vérin double effet	distributeur bistable	bloquer la pièce dans tous les cas
support en vé	vérin double effet	distributeur bistable	accompagner le poussoir
indexeur	vérin double effet	distributeur monostable	par défaut, libérer le mouvement du plateau
avance de l'outil	vérin double effet avec régulateur hydraulique	distributeur monostable	extraire l'outil dans tous les cas réguler la vitesse d'avance

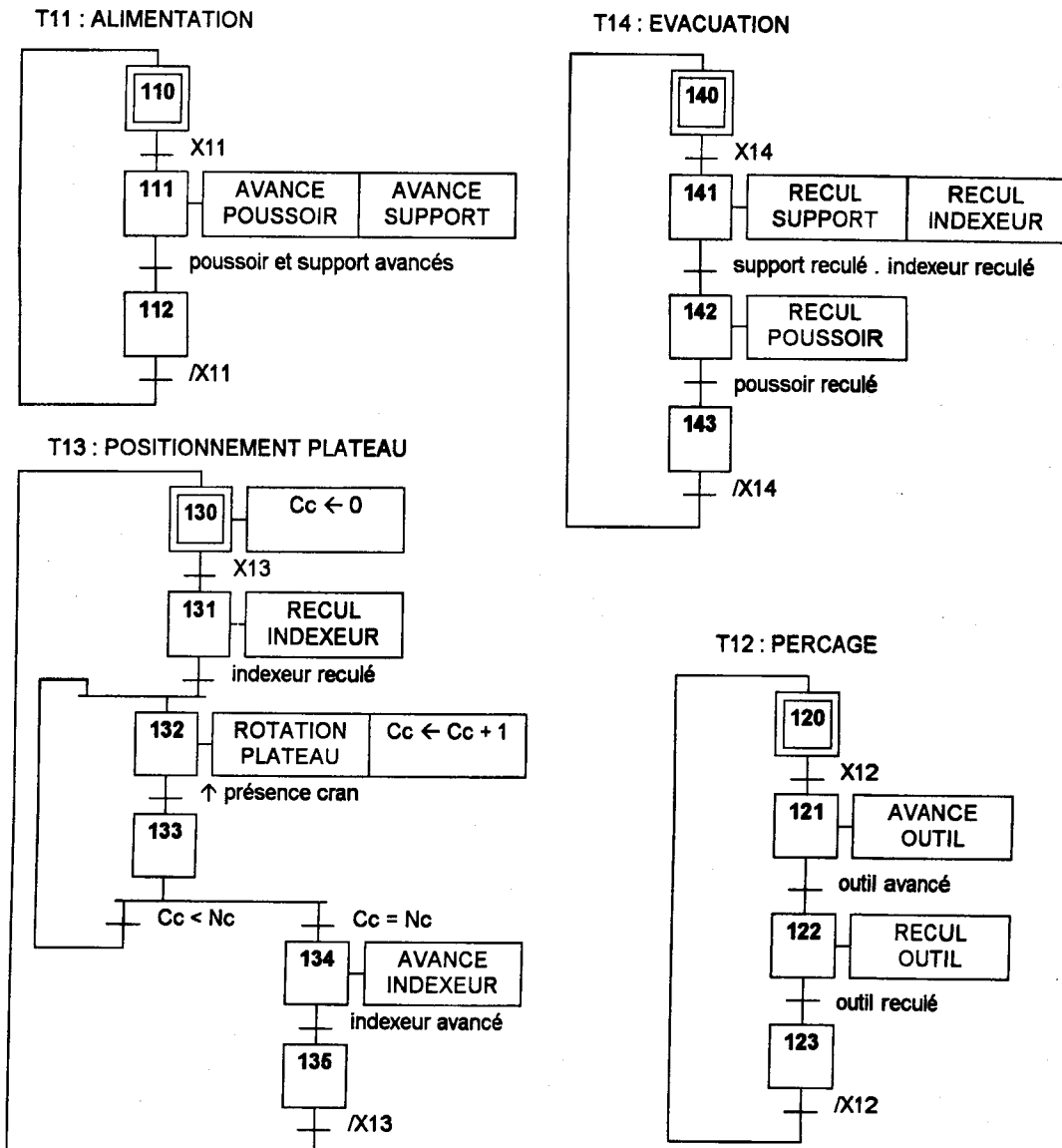


figure A-79

e) Modes de marches et d'arrêts : tous les modes (Q.5)

- Gemma complété

La figure A-80 représente en traits interrompus le Gemma de la marche normale (identique à celui de la figure A-75) augmenté, en traits pleins, des modes de marches et d'arrêts supplémentaires.

Les rectangles-états font autant l'objet de modes de fonctionnement que de situations intermédiaires. Les modes sont les suivants : *réglage*, *initialisation de la partie opérative* et *arrêt de défaillance*. Les situations intermédiaires sont les suivantes : *interruption du cycle* et *redémarrage autorisé après intervention*.

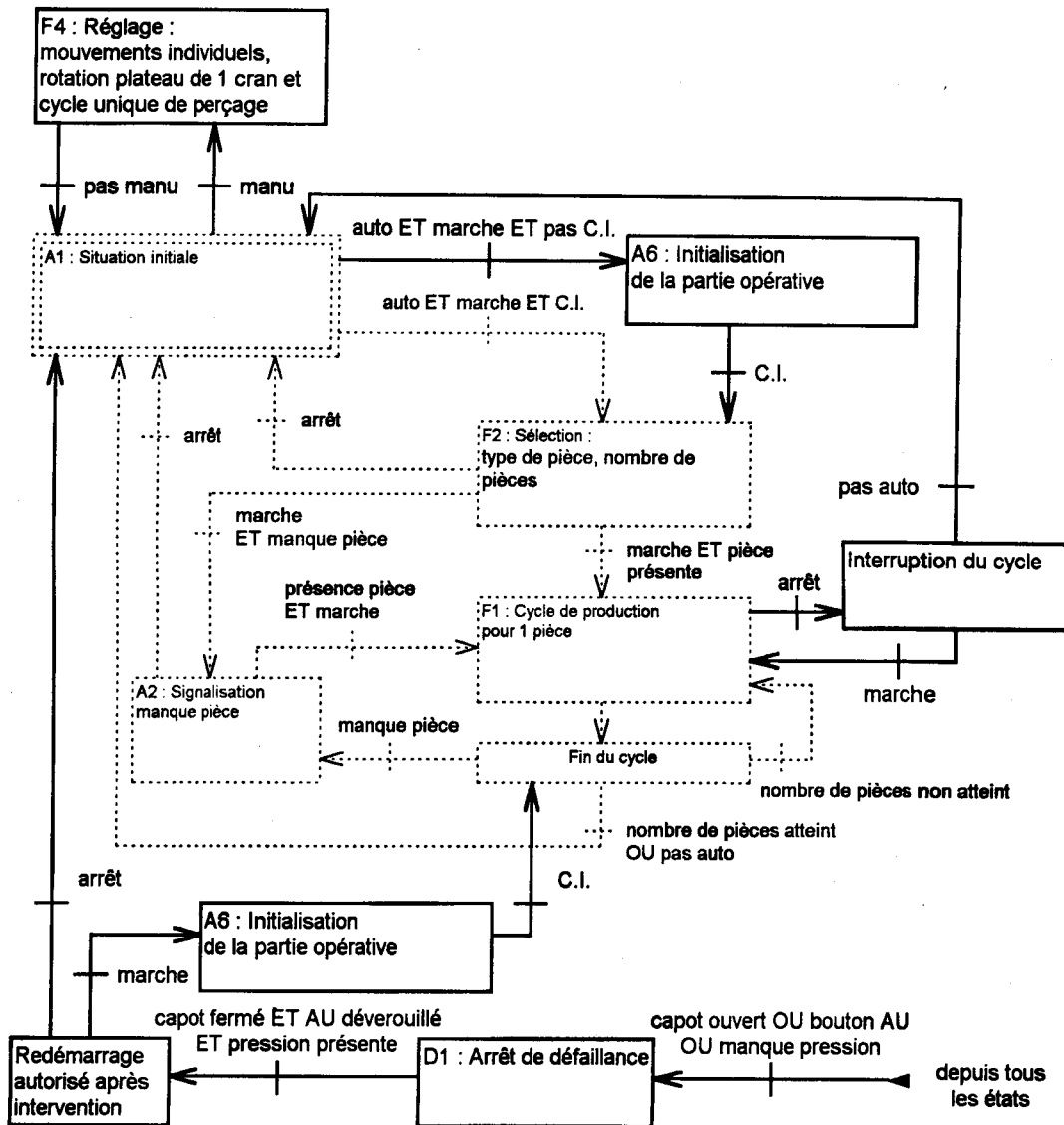


figure A-80

Le mode *Initialisation de la PO* est représenté par 2 rectangles distincts du fait que les liaisons en aval ne sont pas les mêmes selon que ce mode est obtenu à partir de la situation initiale ou à partir de la défaillance.

L'arrêt de défaillance est obtenu depuis tous les états. On rappelle que la fonction de ce mode n'est pas d'agir sur la distribution des énergies, fonction réalisée physiquement par câblage, mais simplement de mettre la partie commande en cohérence avec la réalité de la partie opérative. La qualité et la sécurité des redémarrages sont conditionnées par cette précaution.

- Grafcet de conduite complété

Là encore, la transcription du Gemma n'est pas tout à fait immédiate. Le mode *réglage* est obtenu grâce au bouton *manu*. Le retour en situation initiale est obtenu en tournant le commutateur en posi-

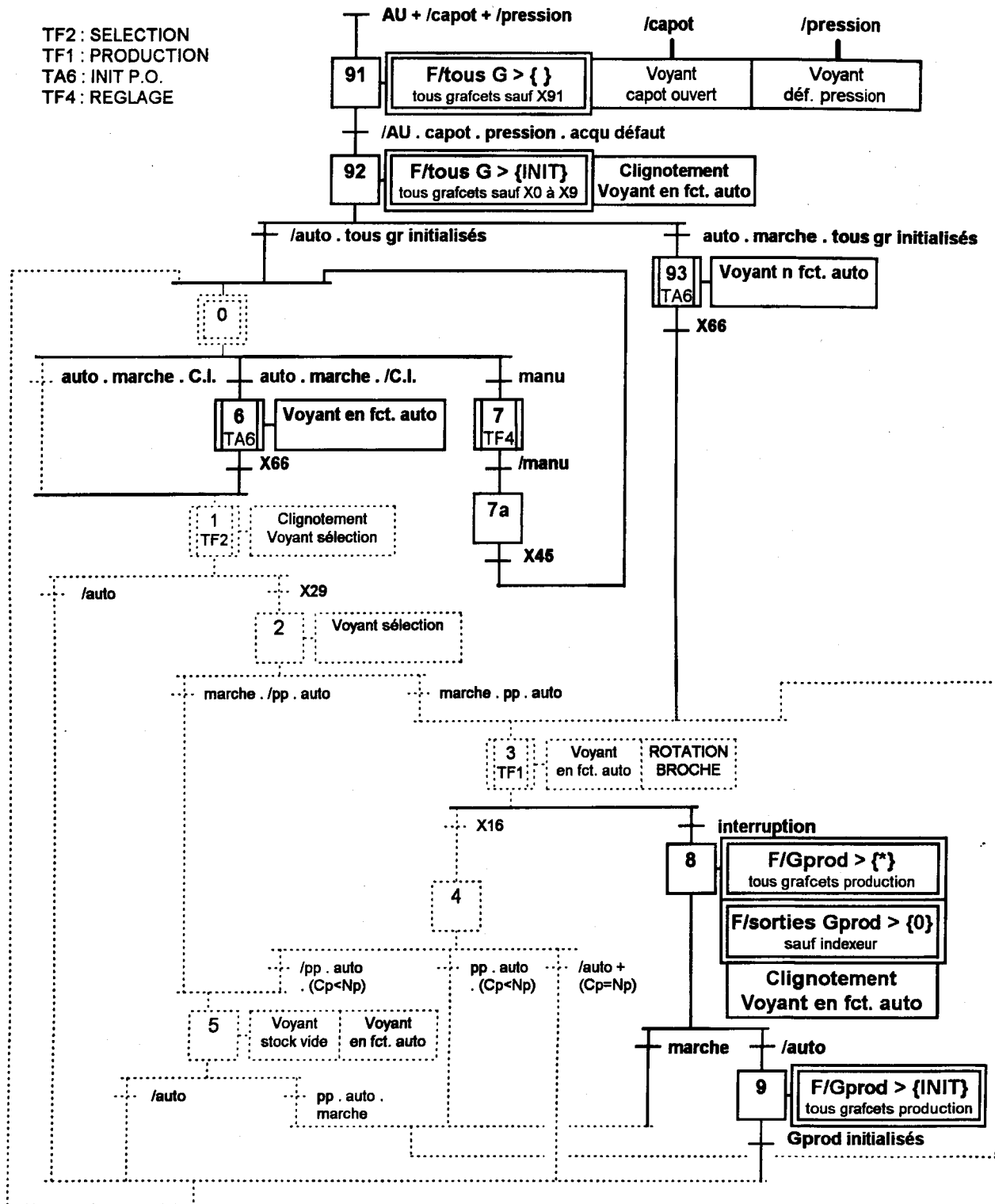


figure A-81

tion neutre. Ceci peut cependant créer un problème par non respect du principe d'*unicité du mode*. En effet, si aucune précaution n'est prise, l'opérateur peut quitter le réglage et immédiatement engager le mode *production* alors qu'un cycle unique de perçage, lancé en mode *réglage*, est encore en cours d'exécution. Le Grafcet est un outil qui permet cette rigueur. L'étape X7a assure l'unicité

du mode : la situation initiale (étape X0) ne peut être réactivée que sous condition de la fin effective du mode réglage (compte-rendu délivré par l'étape X45).

Le grafcet de conduite est également enrichi de la possibilité d'interruption immédiate du cycle. Le symbole $F/Gprod>\{*\}$ indique que les étapes de tous les grafquets de la tâche production (coordination et tâches subalternes) doivent être figées en l'état pendant toute la durée d'activation de l'étape X8.

Si les étapes sont figées, et qu'aucune autre disposition n'est envisagée, les sorties associées aux étapes actives restent à l'état 1. Les moteurs continuent à tourner, etc. ce qui n'est certainement pas l'effet recherché. Les sorties doivent donc être inhibées. On peut soit les forcer à zéro par des instructions qui sont prioritaires par rapport à celles de leurs équations habituelles, soit compléter leurs équations comme ci-dessous (Xf étant l'étape qui fige la situation courante) :

exemple d'équation : SORTIE \leftarrow X_m + X_n
 équation complétée : SORTIE \leftarrow (X_m + X_n) . /Xf

Après figeage, deux possibilités sont offertes.

Continuer le cycle à partir de la situation courante nécessite le défigeage des étapes des grafquets du mode *production* ainsi que la réactivation des sorties adéquates. Ces effets sont obtenus par la séquence [X8 \rightarrow X3]. Remarque : si un perçage était en cours de perçage lors de l'interruption du cycle, ce trou ne sera pas terminé (dans le cas où cette situation serait gênante, il convient de compléter le grafcet par des tests et séquences adéquats).

Quitter le mode *production* nécessite la mise en situation initiale des grafquets de ce mode afin de permettre des évolutions ultérieures ($F/Gprod > \{INIT\}$ réalisé par l'étape X9). La mise en situation initiale de la partie opérative n'est pas nécessairement prévue dès la sortie de l'état d'interruption, car elle est traitée de toute manière en aval de l'étape X0.

Si les instructions explicites de figeage n'existent pas dans le langage de l'automate, il est possible de réaliser la procédure décrite ci-dessous par opérations logiques sur mots.

- Sur activation de l'étape X8, copier l'état des étapes des grafquets du mode *production* dans des mémoires de sauvegarde réservées à cet effet.
- Désactiver toutes les étapes de ces grafquets.
- Sur activation d'une étape X8a, en aval de X8 dans le cas de la reprise du cycle, copier les mémoires de sauvegarde dans la zone des étapes des grafquets. Pour le cas de l'arrêt, l'étape X9 est inchangée.

Grâce à la désactivation des étapes, les sorties sont automatiquement mises à jour : elles sont mises à l'état zéro, simplement du fait de leurs équations normales.

Si l'opérateur demande le démarrage alors que la partie opérative n'est pas en position initiale, un cycle spécifique s'en charge automatiquement (étape X6).

- Grafcet de surveillance

Les étapes X91 à X93 composent le grafcet de surveillance. La transition en amont de l'étape X91 est une transition source, toujours validée. Quelle que soit la situation de l'ensemble des grafquets, l'action sur le bouton AU ou l'ouverture du capot ou la chute de pression (détectée par un pressostat installé en sortie du bloc de conditionnement d'air) provoque l'activation de l'étape X91.

[$F/tousG>\{ \}$] force toutes les étapes de tous les grafquets à l'état zéro. Afin de permettre l'évolution ultérieure des grafquets, l'étape X91 doit cependant rester active. Les sorties sont déjà inhibées du fait de leur câblage (comparativement à l'étape X8, le forçage à zéro des sorties est cette fois inutile). La situation ne peut ensuite évoluer que si les trois conditions de sécurité sont obtenues. Les grafquets sont alors tous réinitialisés.

- Si l'incident n'est pas fâcheux, et après intervention, l'opérateur peut immédiatement demander le retour en production. La partie opérative étant dans un état quelconque, un cycle automatique se charge d'abord de sa mise en référence (étape X93). La tâche *sélection* n'est pas requise : la production continue pour le même type de pièces et poursuit le comptage depuis le seuil actuel.
- Le retour à l'étape X0 permet l'arrêt du fonctionnement, en vue notamment d'appeler le mode réglage.

Il peut être intéressant de dissocier les grafquets de conduite et de surveillance. La figure A-82 illustre les modifications à apporter en aval de l'étape X92.

L'étape X3 devient alors une *étape initialisable*. Les transitions en aval des étapes X94 et X95 sont des transitions puits : après leur franchissement les étapes précédentes sont désactivées, aucune autre étape n'est activée.

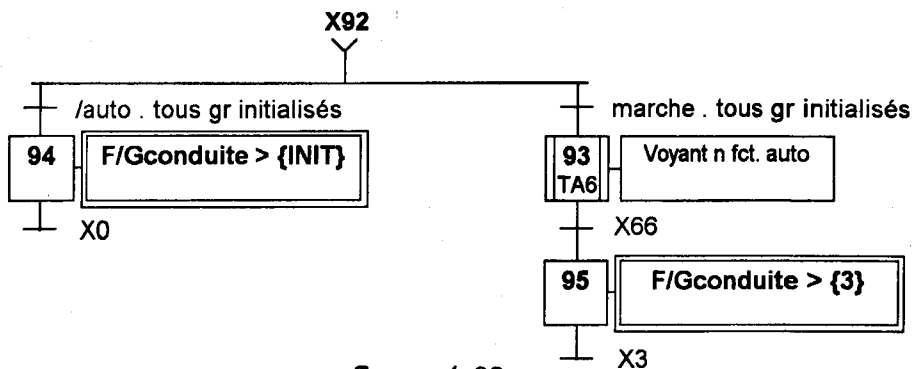


figure A-82

- Signalisation

Tous les voyants sont gérés au niveau des grafquets de conduite et de surveillance pour une meilleure maintenance du programme. Si le voyant *en fct. auto* est allumé fixe, il signale que la partie opérative est en cours d'initialisation ou que la production est en cours, même lorsque la partie opérative est au repos (stock vide) ; s'il clignote, il signale que l'arrêt d'urgence a été acquitté et que l'opérateur peut demander le redémarrage.

Le voyant du bouton *acqu. défaut* est câblé dans le circuit d'arrêt d'urgence, il ne figure donc sur aucun grafquet. Les voyants supplémentaires *capot ouvert* et *déf. pression* permettent un diagnostic rapide en cas de défaillance.

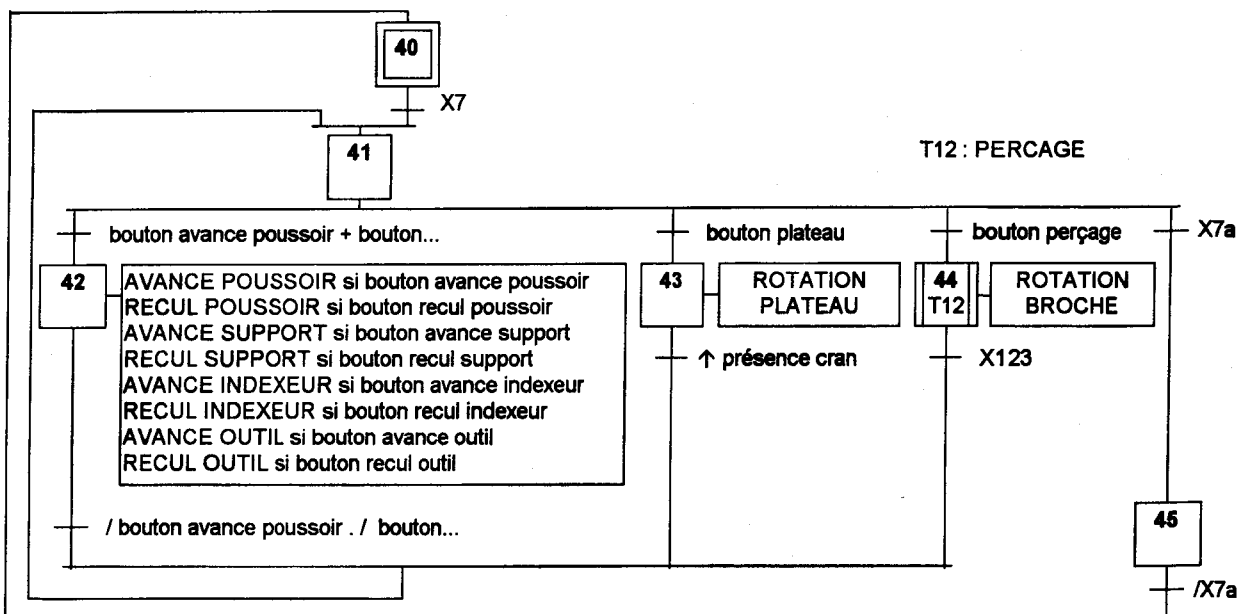


figure A-83

f) Grafquets : autres modes

- Tâche réglage TF4 (figure A-83)

L'activation de l'étape X7 du grafquet de conduite permet d'exécuter les différents mouvements individuels dans le désordre, et simultanément. Le relâchement de tous les boutons active l'étape X41. De nouveaux mouvements individuels peuvent être demandés, ou encore le positionnement du plateau jusqu'au cran suivant, ou encore un cycle unique de perçage. La sortie de ce mode se fait par le sélecteur de mode (sur le grafquet de conduite) à condition que toute action manuelle soit arrêtée (séquence X41 → X45).

Les actions pilotées manuellement sont en outre conditionnées par des sécurités. Par exemple :

- avance indexeur *si* bouton avance indexeur *et* plateau arrêté

De même les transitions en amont des étapes X43 et X44 sont complétées comme suit :

- bouton plateau *et* indexeur rentré
- bouton perçage *et* plateau arrêté

La rotation de la broche peut être pilotée directement par câblage, en prenant la précaution que les boutons *marche/arrêt broche* ne soient validés qu'en position *manu* du sélecteur de mode.

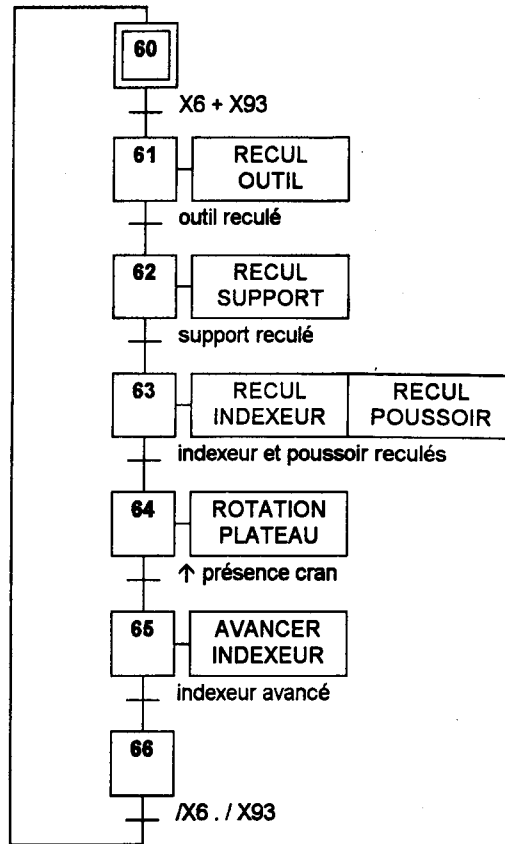


figure A-84

- Tâche initialisation partie opérative TA6

Le cycle de ce grafquet doit être étudié afin qu'il ne provoque aucun incident (collision...) et ce quel que soit l'état d'origine de la partie opérative (figure A-84).

g) Structure hiérarchisée (Q.6)

Le diagramme de la figure A-85 montre la structure hiérarchisée sur plusieurs niveaux ainsi que les liens informationnels entre les grafquets. Les ordres issus du grafquet de surveillance ne sont pas représentés : ils agissent sur l'ensemble de l'application. La numérotation des étapes et des tâches, si elle est judicieuse, facilite l'analyse des grafquets.

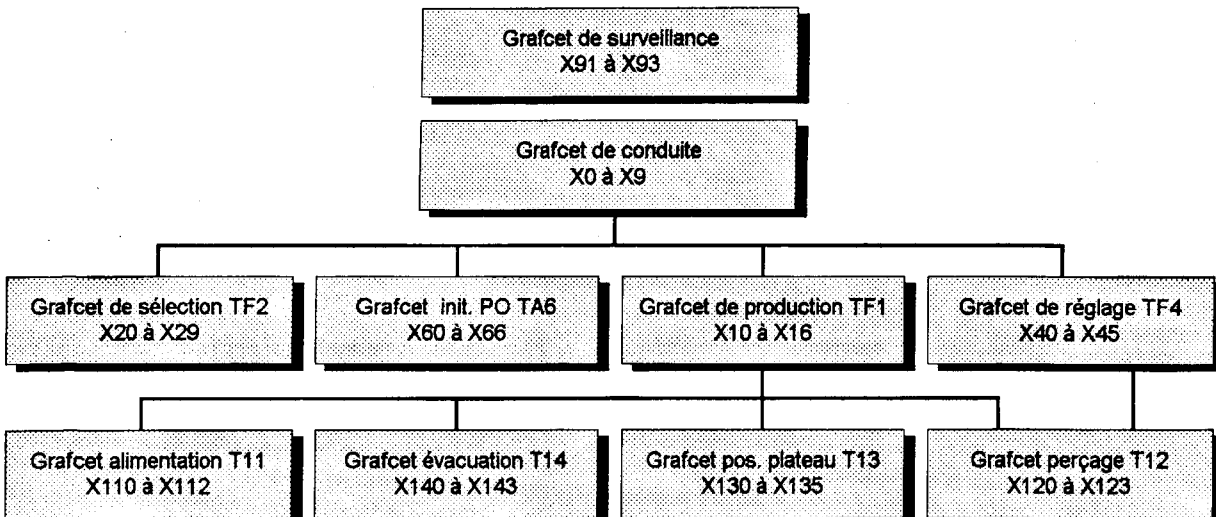


figure A-85

h) Vérification du bris foret (Q.7)

L'effet provoqué par le bris du foret est similaire à un arrêt d'urgence sauf que cette sécurité n'est pas à inclure dans le câblage. La procédure logicielle mise en route par activation de l'étape X91 peut donc être réutilisée, mais cette fois, c'est bien la désactivation de toutes les étapes qui positionne les sorties à l'état zéro. Quant au test de l'état du foret, il peut se faire d'une manière simple en vérifiant la concordance temporelle du mouvement d'avance : si la fin de course est obtenue dans le délai imparti, le foret est en bon état. Le grafcet de surveillance est complété par les étapes X94 et X95 comme l'illustre la figure A-86. Les transitions de début et de fin de ce grafcet partiel sont des transitions source et puits. A chaque activation de l'étape X121 (début de l'avance de l'outil) la durée du mouvement est surveillée. Si le capteur de fin de course délivre un signal avant la fin de la tempo, le cycle continue, X94 est désactivée. Dans le cas contraire, X95 permet d'enclencher la procédure d'arrêt. Le voyant *défaut foret* est ajouté au pupitre.

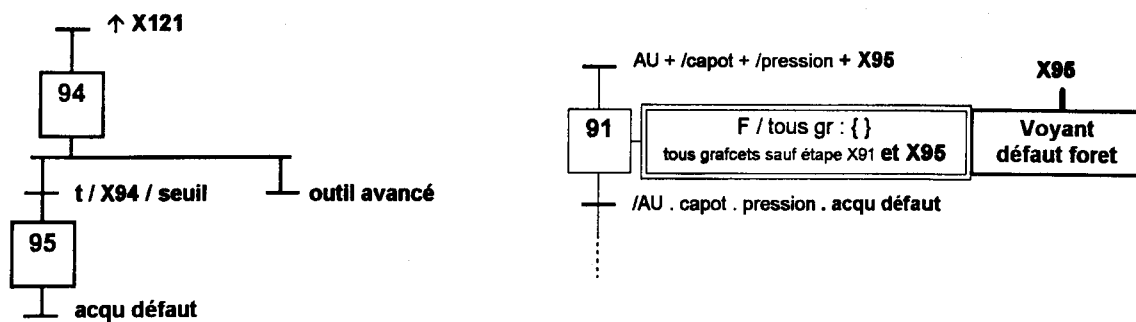


figure A-86