

VI. SEQUENCES OBLIGÉES

ETUDE DE CAS N°2 : CELLULE DOUBLE

1 - MISE EN SITUATION

1 - 1. Contexte

Dans l'atelier d'assemblage d'une unité de production de petit matériel électrique (interrupteurs, porte-fusibles, etc.) on envisage l'étude d'une cellule composée de 4 postes manuels d'assemblage et d'un système automatique de convoyage (figure B-47). Les boîtes qui contiennent les composants à assembler proviennent d'un atelier de préparation, non étudié. La première phase de l'assemblage est réalisée soit sur le poste A, soit sur le poste B. Les opérateurs des postes C et D sont ensuite chargés de la seconde phase d'assemblage pour laquelle des pièces complémentaires sont requises. Les postes A et B sont absolument identiques et les opérateurs ont les mêmes compétences : l'assemblage peut donc être réalisé aussi bien par A que par B. Il en est de même pour les postes C et D.

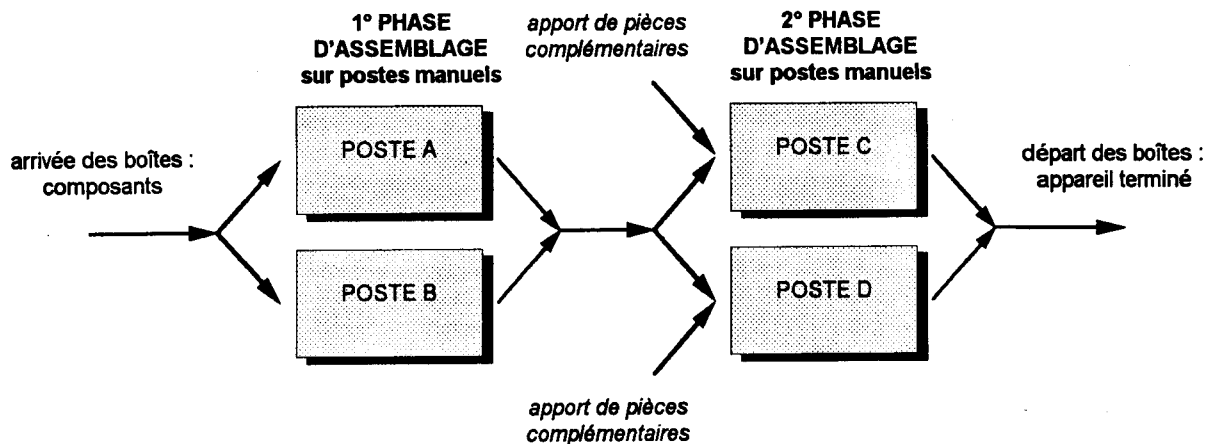


figure B-47

1 - 2. Aménagement des postes de travail

Les 4 postes sont aménagés de façon identique. Les postes C et D sont cependant équipés de casiers pour les articles complémentaires. Des tapis à rouleaux inclinés permettent aux

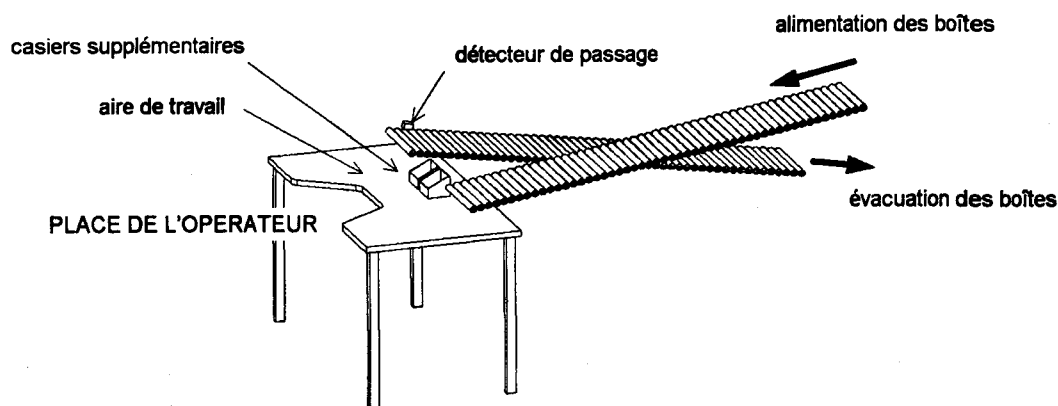


figure B-48

boîtes de circuler par gravité. Elles sont alimentées à *main droite* de l'opérateur et évacuées à *main gauche* sur tous les postes. Le détecteur de passage signale que l'opérateur vient de libérer une boîte de son poste. Il constitue la frontière entre les stocks d'alimentation et d'évacuation (on considère ainsi que la boîte en cours de traitement fait partie du stock d'alimentation).

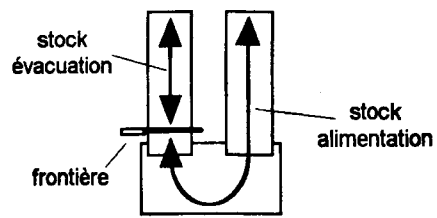


figure B-49

1 - 3. Fonction principale

Il faut distinguer :

- les 4 postes dont la fonction principale est de réaliser la valeur ajoutée sur le produit,
- le système de convoyage qui est chargé d'alimenter et d'évacuer les postes.

La première de ces fonctions étant réalisée manuellement, seule la gestion du flux des boîtes est concernée par l'étude d'automatisation. Cependant, à cause de l'interaction entre l'opérateur et la machine, il ne faut pas négliger l'analyse du comportement de l'opérateur.

1 - 4. Critères

Les critères chiffrés concernent la cadence globale du flux des boîtes, leur taille, leur masse, leur morphologie, etc... ainsi que la taille maximale des stocks et l'encombrement au sol de la cellule : pour satisfaire à ces deux derniers critères, compte tenu de la place disponible dans l'atelier, il est nécessaire de prévoir 3 aires de stockage intermédiaire (appelées transit) entre les deux groupes [A, B] et [C, D].

critère		niveau
dimensions des boîtes		200 x 200, hauteur 70 mm
taille maximale des stocks	à l'entrée de la cellule	6 boîtes
	à l'entrée de chaque poste (amont)	6 boîtes
	à la sortie de chaque poste (aval)	6 boîtes
	à la zone de transit	18 boîtes au total
	à la sortie de la cellule	pas de limite imposée
longueur maximum de la zone de transit		2 mètres

2 - LE CAHIER DES CHARGES TECHNIQUE

2 - 1. Remarque préliminaire au sujet du cahier des charges

Cette étude fait intervenir une grande part de gestes humains dont certains interfèrent avec la machine, à savoir : la prise et la dépose de boîtes au niveau des 4 postes. Ce paragraphe précise comment inclure ces gestes dans le cahier des charges.

Une interprétation erronée du sens du mot *action* peut conduire à une mauvaise utilisation du Grafcet si l'on ne distingue pas correctement la frontière entre l'opérateur et la machine. En effet, les *actions*, dans le sens du Grafcet, sont toujours pilotées par la machine. Une *action réalisée par un opérateur* par contre ne peut pas être associée à une étape de grafcet. Bien au contraire, lorsque l'opérateur réalise l'action *appuyer sur le bouton DCY*, il s'agit d'une information et non d'une action du point de vue de la machine.

• Autrement dit, d'après le Grafcet, les actions de l'opérateur doivent être représentées exclusivement dans les réceptivités (et non dans les actions, figure B-50)

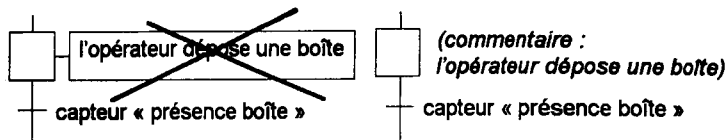


figure B-50

• Une autre solution pourrait consister à considérer l'opérateur comme étant le système, la machine représentant alors le milieu environnant (figure B-51) ; le Grafcet en tant que modèle théorique peut jouer ce rôle, mais n'est pas approprié dans le contexte de la conception d'une machine automatique à cause des confusions possibles.

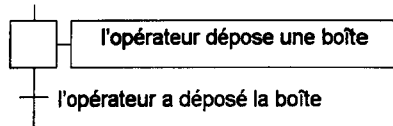


figure B-51

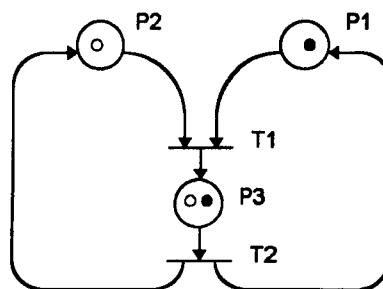
2 - 2. Enoncé du cahier des charges

a) Les 4 postes d'assemblage

Pour la partie de l'étude qui porte plus particulièrement sur les temps d'exécution, on réalise une grille MTM (Movement and Time Measurement) dont les premiers mouvements sont codifiés sur le tableau suivant :

MOUVEMENT MAIN GAUCHE	DIST.	CAS	TEMPS	MOUVEMENT MAIN DROITE	DIST.	CAS	TEMPS
atteindre boîte terminée	16	RA	7.1	atteindre nouvelle boîte	50	RB	13
saisir boîte terminée		G1A	2	saisir nouvelle boîte		G1A	2
mouvoir boîte terminée	50	MB	18	mouvoir nouvelle boîte	50	MB	18
lâcher boîte terminée		RL1	2	lâcher nouvelle boîte		RL1	2
atteindre composant 1	10	RC	8.4	atteindre composant 11	10	RC	8.4
saisir composant 1		G1A	2	saisir composant 11		G1A	2
mouvoir composant 1	6	MC	5.8	mouvoir composant 11	6	MC	5.8
positionner composant 1		P3NS	53.4			P3NS	53.4
lâcher composant 1		RL1	2	positionner composant 11		P3NS	53.4
				lâcher composant 11		RL1	2
etc...				etc...			

L'aspect dynamique peut également être décrit par un réseau de Petri (figure B-52). Le travail à réaliser pour chaque boîte est décidé par l'opérateur au vu de son contenu. Il prélève les boîtes une à une dans le stock en amont de son poste, réalise le travail adéquat et les dépose dans le stock en aval de son poste. Ce fonctionnement n'est évidemment pas à gérer par le système automatique.



P1 : l'opérateur prélève une nouvelle boîte (main droite ●)
 P2 : l'opérateur dépose la boîte terminée (main gauche ○)
 T1 : l'opérateur a échangé les boîtes
 P3 : l'opérateur réalise la valeur ajoutée
 T2 : le travail sur la boîte en cours est terminé

La suite de l'étude portera exclusivement sur le système de convoyage des boîtes.

b) Le système de convoyage des boîtes

figure B-52

- Contraintes principales

Les ateliers d'assemblage sont traditionnellement conçus de telle sorte que les opérateurs sont astreints à une présence continue à leur poste de travail, faute de quoi, la chaîne complète est bloquée. Pour cette nouvelle étude, le service ergonomie de l'entreprise souhaite assouplir cette contrainte :

- les opérateurs choisiront librement leurs moments de pause (la durée étant cependant limitée),
- les opérateurs travailleront à une cadence personnalisée, qui doit pouvoir être variable (soutenue en début de poste ou pour un travailleur expérimenté et plus lâche en fin de poste ou pour un débutant...)

Le flux des boîtes doit automatiquement s'adapter à ces deux contraintes.

A propos

Réponse

Une telle décision n'est-elle pas dommageable sur le plan de la productivité du fait d'un taux d'occupation moindre ?

Bien au contraire. L'expérience montre que les ateliers équipés de machines ergonomiques affichent des taux d'absentéisme bien moins élevés car le personnel est davantage motivé. Dans l'ensemble, le surcoût dû à cette souplesse ainsi qu'à une esthétique soignée, la présence d'accessoires qui facilitent la vie quotidienne (casier personnel directement sur le poste de travail, supports pour bouteilles d'eau et gobelet...) sont très rapidement rentabilisés, sans compter l'amélioration des conditions de travail.

2 - 3. Les propositions qui découlent du cahier des charges

Deux premières propositions sont directement dûes à la gamme d'assemblage :

Quant au chemin à suivre à l'intérieur de la cellule :

- ◆ chaque boîte, quel que soit son contenu, doit d'abord passer par le poste A, ou bien par le poste B,
- ◆ chaque boîte, quel que soit son contenu, doit ensuite passer par le poste C, ou bien par le poste D.

Les propositions suivantes permettent l'auto-régulation du flux des boîtes :

Quant à la gestion des priorités :

- ◆ les boîtes doivent être déposées en priorité au poste qui en dispose le moins,
- ◆ elles doivent être retirées en priorité au poste qui en dispose le plus.

Ces dernières propositions permettent en effet de réguler la cellule.

- Des regroupements de boîtes se produisent en plusieurs endroits de la cellule. La meilleure fluidité du flux de production est obtenue lorsqu'aucun goulot d'étranglement n'apparaît car la cadence d'ensemble de la cellule est ralentie voire même stoppée quand le nombre de boîtes à l'un des stocks devient excessif. Les niveaux des différents stocks doivent donc être équilibrés.
- L'assouplissement souhaité au niveau de la présence des opérateurs est satisfait. Si l'un des opérateurs s'absente momentanément, le stock en amont de son poste n'est tout naturellement pas renouvelé puisque qu'il n'y a plus de prélèvement sur ce tapis.
- En cas d'interruption momentanée des deux postes A et B simultanément, les boîtes en attente aux transits permettent aux postes C et D de poursuivre le travail. A l'inverse, ce stockage intermédiaire évite la formation immédiate d'un goulot d'étranglement aux sorties de A et B en cas d'interruption simultanée des postes C et D.

3 - CONFIGURATION DE LA CELLULE

3 - 1. Principe technique du système de transport des boîtes

Un détecteur de passage indique l'arrivée d'une nouvelle boîte dans la cellule (figure B-53). Un premier manipulateur est chargé de prélever les boîtes à l'aire d'alimentation de la

cellule, d'alimenter et d'évacuer les postes A et B, et de déposer les boîtes sur les tapis à rouleaux du transit. De même que les tapis des postes, l'alimentation et l'évacuation de la cellule ainsi que le transit sont inclinés pour permettre aux boîtes de se déplacer par gravité. Le second manipulateur prélève les boîtes aux 3 positions basses du transit, gère les postes C et D, et dépose les boîtes sur le tapis d'évacuation de la cellule.

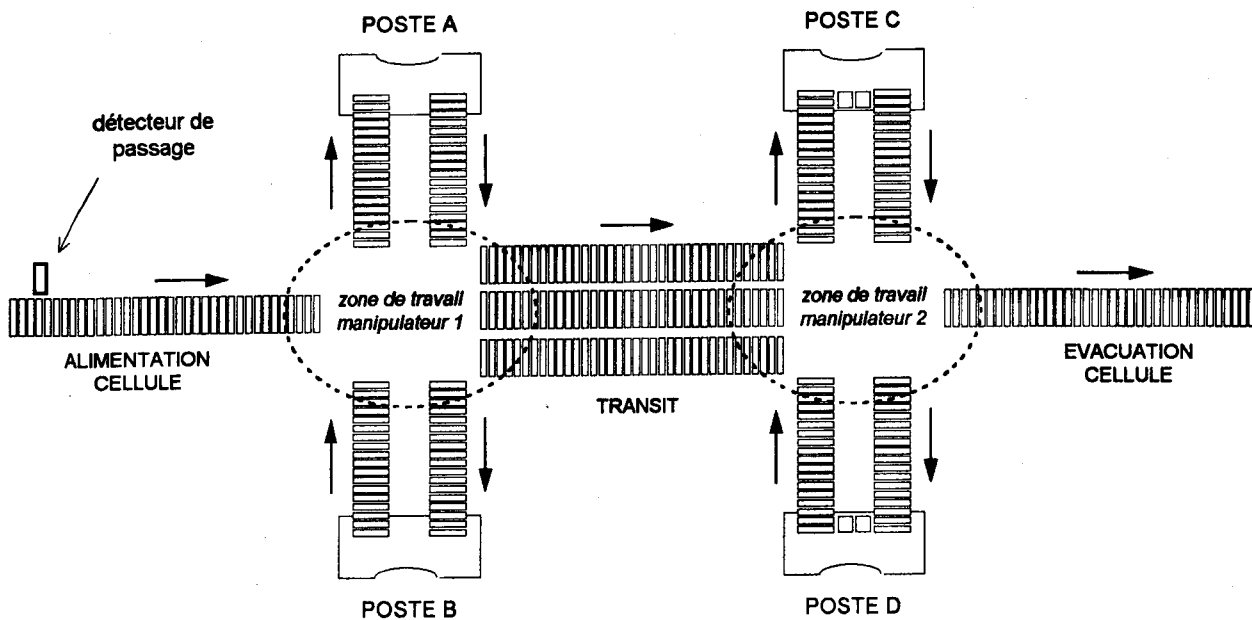


figure B-53 (vue de dessus)

3 - 2. Désignation des détecteurs et des stocks

Pour une écriture plus aisée, on affecte aux différents détecteurs et aussi au nombre de boîtes présentes dans chaque stock les symboles définis dans le tableau de la figure B-54. On associe un compteur à chaque stock.

	symbole associé au détecteur	symbole associé à la valeur du stock (compteur)
alimentation cellule	D_a (détecteur à l'alimentation de la cellule)	Ca (nombre de boîtes à l'alimentation de la cellule)
alimentation poste i	/	Ca_i (nombre ... à l'aire d'alimentation du poste i)
évacuation poste i	D_i (détecteur au poste i)	$Cé_i$ (nombre ... à l'aire d'évacuation du poste i)
transit j	/	CT_j (nombre ... sur le transit j)
évacuation cellule	/	/

i varie de A à D

j varie de 1 à 3

figure B-54

Aucun détecteur supplémentaire ne sera requis.

3 - 3. Décomposition en 2 sous-ensembles

L'automatisation du système de transport ne concerne que les 2 manipulateurs. Puisque chaque manipulateur entre en service en fonction des niveaux de stocks, leur synchronisation se fait exclusivement par l'intermédiaire du comptage-décomptage des boîtes en attente sur le transit. Aussi sont-ils totalement indépendants : l'étude porte dans un premier temps sur le manipulateur n°1. Un résumé pour le second manipulateur sera présenté dans un deuxième temps.

3 - 4. Architecture du système

Une partie de l'intelligence du système est délocalisée dans les commandes des manipulateurs : les tâches élémentaires (ou sous-programmes). Cette décomposition est en fait le résultat d'une première analyse fonctionnelle qui concerne tant les tâches que la structure matérielle du système. Les sous-programmes des manipulateurs ne peuvent pas être détaillés tant que leurs solutions technologiques ne sont pas adoptées. Mais l'énoncé global de leurs fonctions suffit amplement à la poursuite de l'étude d'automatisation.

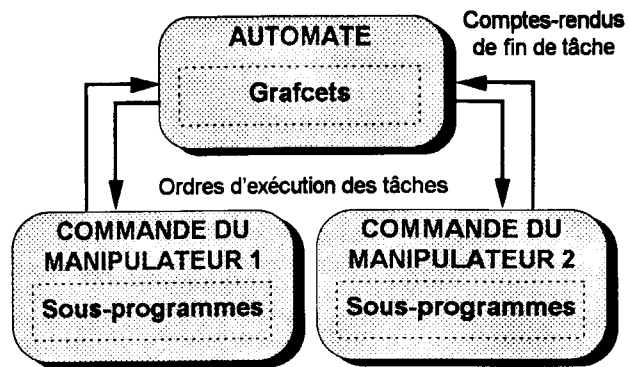


figure B-55

MANIPULATEUR 1		MANIPULATEUR 2	
STA	Saisir au Tapis d'Alimentation	DTE	Déposer au Tapis d'Evacuation
DA	Déposer au poste A	DC	Déposer au poste C
SA	Saisir au poste A	SC	Saisir au poste C
DB	Déposer au poste B	DD	Déposer au poste D
SB	Saisir au poste B	SD	Saisir au poste D
DT1	Déposer au Transit 1	ST1	Saisir au Transit 1
DT2	Déposer au Transit 2	ST2	Saisir au Transit 2
DT3	Déposer au Transit 3	ST3	Saisir au Transit 3

Le sous-programme *DA* par exemple est chargé :

- de positionner l'organe de préhension du manipulateur au-dessus du point *haut* du tapis d'alimentation du poste A,
- d'ouvrir ensuite la pince,
- puis d'attendre un nouvel ordre.

Remarque : ce positionnement se fait à partir de n'importe quel point où pourrait se trouver la pince, il ne s'agit donc pas réellement d'une trajectoire.

4 - DESCRIPTION DU MANIPULATEUR N°1

4 - 1. Approche traditionnelle

Une approche globale du cahier des charges conduit à l'ébauche de la figure B-56-b. Ce grafcet a été développé en suivant la démarche traditionnelle qui consiste à représenter les étapes dans l'ordre d'exécution du cycle. Probablement que 2 temps sont nécessaires :

- Tracer le grafcet en suivant par la pensée le trajet d'une boîte (figure B-56-a)
 - ⇒ On s'aperçoit qu'après avoir déposé une boîte à l'un des postes, le manipulateur n'a d'autre possibilité que d'attendre de pouvoir saisir une boîte à ce même poste. Ses services peuvent cependant être requis soit au tapis d'alimentation soit au poste B.
- L'inventaire exhaustif des possibilités d'évolution supplémentaires permet ensuite de compléter le grafcet par adjonction de transitions et de liaisons.
 - ⇒ Le résultat donne une bonne image de la complexité du fonctionnement mais la structure du grafcet n'est pas très parlante, ce qui devrait pourtant être la caractéristique essentielle d'une représentation graphique.

Le grafcet de la figure b peut également être tracé directement en analysant à chaque étape les différentes possibilités d'évolution.

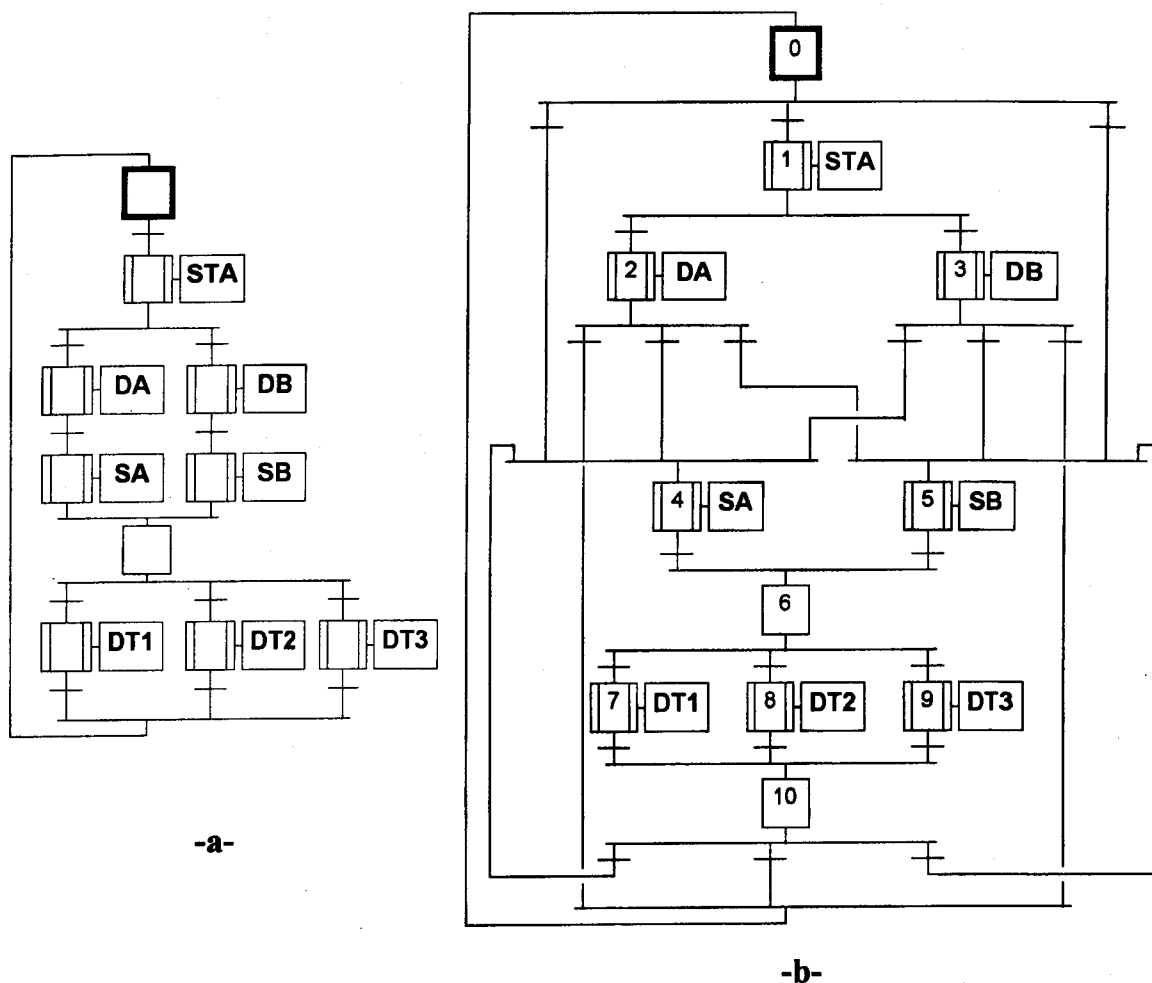


figure B-56

4 - 2. Réceptivités

Les réceptivités mettent en relation les états des différents niveaux de stocks et comportent en outre des conditions de priorité. Certaines parties du grafcet sont redondantes : par exemple les liaisons en aval de X10 et de X2 rejoignent toutes les deux les étapes 4, 5 et 0. Une question se pose : les réceptivités respectives sont-elles les mêmes ? Cette analyse supplémentaire est source d'erreur potentielle.

4 - 3. Analyse des fonctions mal maîtrisée

Si l'on tire des conclusions hâtives de l'étude du poste de triage et qu'on essaie d'appliquer directement son résultat, le morcellement des grafcets comme représenté figure B-57 sera exagéré car en réalité, et contrairement au poste de triage, l'analyse qui suit montre que certaines séquences ont forcément lieu : il s'agit en fait de choisir le bon niveau d'isolement

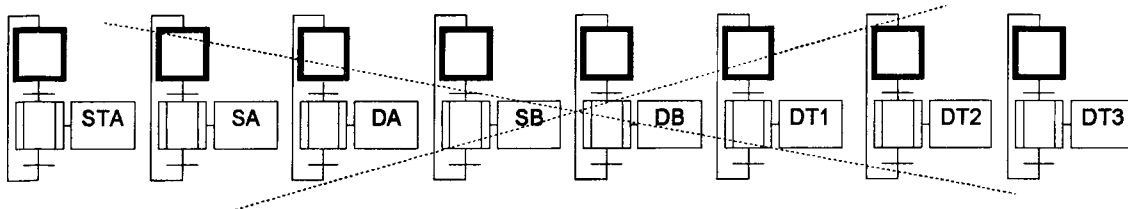


figure B-57

des fonctions selon le problème traité.

Le tracé développé de ces séquences permettra en outre de limiter les réceptivités au strict nécessaire (voir également § 3 - 10, figure B-19, page 81).

4 - 4. Approche selon la méthode proposée

Seul le manipulateur 1 est concerné dans un premier temps. L'étude porte sur la commande générale du système, à savoir l'automate, maître de la cellule (figure B-55). Les fonctions qu'il réalise constituent les ordres d'exécution des sous-programmes du manipulateur et permettent ainsi de gérer les stocks.

a) Fonctions relatives aux sous-programmes du manipulateur

La fonction principale peut être exprimée ainsi :

alimenter ou évacuer les postes

La décomposition en fonctions composantes, que ce soit pour *alimenter* ou pour *évacuer*, se fait en deux temps :

- saisir
- déposer

L'analyse de ces fonctions montre qu'une chronologie apparaît nécessairement dans leur exécution : une saisie est obligatoirement suivie d'une dépose ; une dépose est obligatoirement suivie d'une saisie (cette proposition est tellement évidente qu'on pourrait négliger de l'exprimer et même d'en tenir compte pendant le développement du grafcet). Il en découle une première épure (figure B-58).

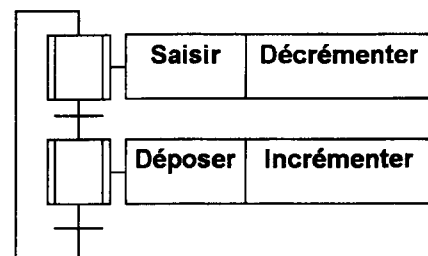


figure B-58

b) Fonctions liées à la gestion des stocks

• Ces fonctions concernent les évolutions des différents compteurs, images des niveaux de stocks. A chaque saisie correspond une décrémentation, à chaque dépose correspond une incrémentation (figure B-58).

• Les stocks évoluent par ailleurs lorsqu'un opérateur engage une boîte sur le tapis d'évacuation de son poste. A l'instant où un signal apparaît au détecteur D_i , le compteur Ca_i doit être décrémentation d'une unité, et le compteur $Cé_i$ doit être incrémentation d'une unité. Cette opération est totalement indépendante du grafcet.

4 - 5. Structure du grafcet

a) Les deux phases

Dans le respect du grafcet de la figure B-58, on représente les fonctions composantes suivant deux phases : une phase *saisir*, et en-dessous une phase *déposer*. Cette mise en place traduit l'aspect systématique de cette séquence (figure B-59).

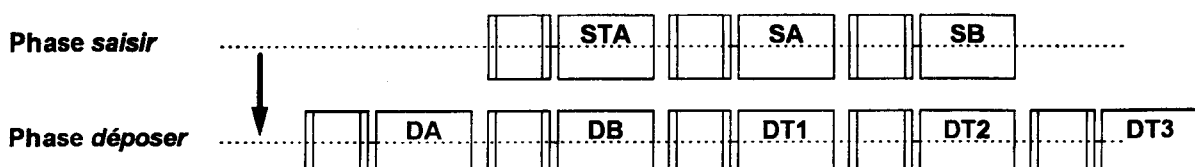


figure B-59

b) Les séquences obligées

Les possibilités d'évolution de la première vers la seconde phase sont limitées. En effet, après avoir saisi une boîte au tapis d'alimentation, cela n'a aucun sens de la déposer immédiatement sur l'un des tapis du transit. Il n'y a donc pas lieu de représenter la liaison entre les étapes Xa et par exemple Xb. L'inventaire de ces limitations conduit à développer une structure de grafcet parfaitement lisible. La figure B-60 illustre de manière immédiate le

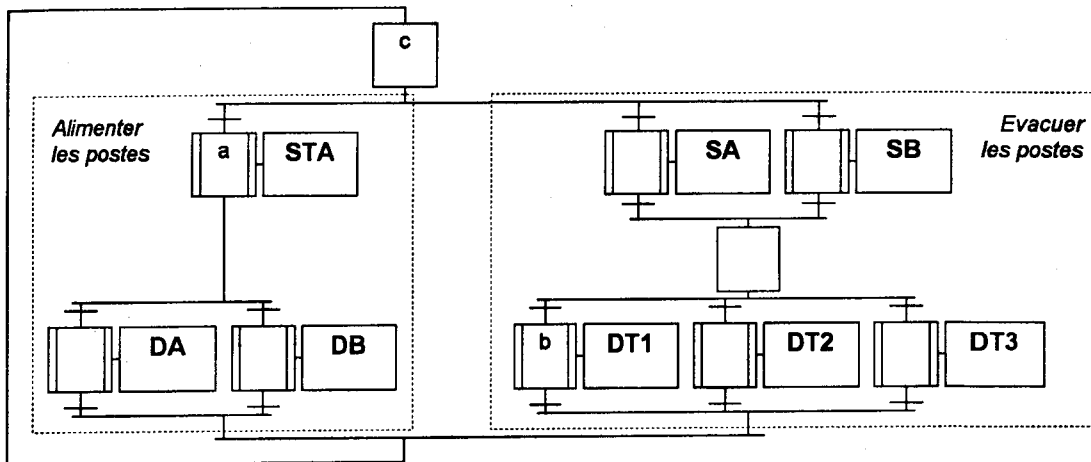


figure B-60

fonctionnement du manipulateur. En particulier, l'étape Xc (qui pourra être l'étape initiale) est une *étape ressource* à partir de laquelle le manipulateur est rendu *disponible* pour accomplir toute nouvelle tâche en fonction du besoin. Par ailleurs, on retrouve aisément la fonction principale : *alimenter* (partie gauche du grafcet) ou *évacuer les postes* (partie droite du grafcet). Dans un souci de clarté, la gestion des compteurs n'est pas représentée sur cette figure.

4 - 6. Détail des évolutions des compteurs

a) Comptage-décomptage

Les évolutions des compteurs sont de deux natures :

- celles liées au fonctionnement séquentiel, pour lesquelles on associe les évolutions des compteurs aux étapes de grafcet comme exprimé par la figure B-58 :

$$\begin{aligned} X_{STA} &: [Ca \leftarrow Ca - 1] \\ X_{SA} &: [Cé_A \leftarrow Cé_A - 1] \\ X_{SB} &: [Cé_B \leftarrow Cé_B - 1] \\ X_{DA} &: [Ca_A \leftarrow Ca_A + 1] \\ X_{DB} &: [Ca_B \leftarrow Ca_B + 1] \\ X_{DT1} &: [CT_1 \leftarrow CT_1 + 1] \\ X_{DT2} &: [CT_2 \leftarrow CT_2 + 1] \\ X_{DT3} &: [CT_3 \leftarrow CT_3 + 1] \end{aligned}$$

La décrémentation des compteurs CT_i se fait lorsque le manipulateur n°2 prélève des boîtes sur le transit. Ces fonctions apparaîtront donc sur le grafcet de gestion de ce manipulateur.

- celles liées au fait que l'opérateur engage une boîte devant le détecteur D_A (ou D_B). Ces équations purement combinatoires complètent le traitement séquentiel :

$$\begin{aligned} [Ca_A \leftarrow Ca_A - 1] \text{ si } \uparrow D_A & & [Ca_B \leftarrow Ca_B - 1] \text{ si } \uparrow D_B \\ [Cé_A \leftarrow Cé_A + 1] \text{ si } \uparrow D_A & & [Cé_B \leftarrow Cé_B + 1] \text{ si } \uparrow D_B \end{aligned}$$

b) Initialisation des compteurs

Dans cet exemple, l'initialisation ne se fait pas sur une étape de grafcet. Les valeurs d'initialisation ne sont pas obligatoirement 0. En réalité la valeur initiale de chaque compteur doit être conforme au niveau de stock qu'il représente au moment du démarrage de la machine. D'ailleurs, des interventions manuelles pourront probablement perturber l'évolution normale des stocks : on choisira une interface utilisateur qui permet de forcer les compteurs aux valeurs adéquates lorsque cela s'avère nécessaire.

4 - 7. Les réceptivités

a) Les conditions qui permettent les saisies

- Conditions élémentaires

L'écriture de ces conditions doit prendre en compte l'ensemble des contraintes. A ce niveau de détail, il est cependant probable que toutes n'aient pas été expressément formulées dans le cahier des charges ce qui nécessite une analyse attentive.

En partant de la contrainte principale, le modèle sera enrichi au fur et à mesure.

- Pour que le manipulateur saisisse une boîte sur le tapis d'alimentation (sous-programme STA), il faut que le nombre de boîtes en attente sur ce tapis soit supérieur au nombre de boîtes en attente sur chacun des tapis d'évacuation des postes de travail. La condition d'évolution élémentaire vers l'étape qui appelle la tâche STA est donc :

$$\text{Condition vers STA : } (Ca > Cé_A) \cdot (Ca > Cé_B)$$

- La même contrainte, cette fois appliquée aux postes de travail, conduit à l'écriture des conditions d'évolution élémentaires vers les étapes qui appellent les tâches SA et SB :

$$\begin{aligned} \text{Condition vers SA : } & (Cé_A > Ca) \cdot (Cé_A > Cé_B) \\ \text{Condition vers SB : } & (Cé_B > Ca) \cdot (Cé_B > Cé_A) \end{aligned}$$

- Enrichissement des conditions

Pour les cas où au moins 2 de ces stocks comportent la même quantité de boîtes, le système peut se bloquer. La levée de ce blocage se fait en définissant un ordre de priorité. La modification de la première des conditions (comme indiqué ci-dessous) permet de favoriser la tâche STA dans le but de maximiser le taux d'occupation de la cellule.

$$\begin{aligned} \text{Condition vers STA : } & (Ca \geq Cé_A) \cdot (Ca \geq Cé_B) \\ \text{Condition vers SA : } & (Cé_A > Ca) \cdot (Cé_A \geq Cé_B) \\ \text{Condition vers SB : } & (Cé_B > Ca) \cdot (Cé_B > Cé_A) \end{aligned}$$

La modification de la seconde condition (ou bien de la troisième) favorise l'un des postes A ou B (A dans ce cas). Ce choix n'a pas d'importance *à priori*, mais on peut envisager une sélection par commutateur pour favoriser momentanément l'un ou l'autre poste. Les conditions, non représentées sur le grafcet complet, seraient alors du type :

$$\begin{aligned} \text{Condition vers SA : } & (Cé_A > Ca) \cdot \{(Cé_A \geq Cé_B) \cdot \text{Commut} + (Cé_A > Cé_B) \cdot /\text{Commut}\} \\ \text{Condition vers SB : } & (Cé_A > Ca) \cdot \{(Cé_B > Cé_A) \cdot \text{Commut} + (Cé_B \geq Cé_A) \cdot /\text{Commut}\} \end{aligned}$$

- La condition d'évolution vers STA doit être inhibée lorsqu'aucune boîte n'est présente sur le tapis d'alimentation (en particulier si les stocks d'évacuation des postes sont également vides) :

$$\text{Condition vers STA : } (Ca \geq Cé_A) \cdot (Ca \geq Cé_B) \cdot (Ca \neq 0)$$

La nature de la condition d'évolution vers SA nécessite la même précaution :

Condition vers SA : $(Cé_A > Ca) \cdot (Cé_A \geq Cé_B) \cdot (Cé_A \neq 0)$

- La longueur des tapis d'alimentation des postes de même que les tapis du transit ne permettent de stocker qu'un nombre limité de boîtes, défini par les critères du cahier des charges : la saisie au tapis d'alimentation de la cellule ne peut avoir lieu que si au moins l'un des postes A et B n'est pas saturé ; de même, les saisies aux postes de travail ne doivent être autorisées que si au moins l'un des transits n'est pas saturé.

Condition vers STA : $(Ca \geq Cé_A) \cdot (Ca \geq Cé_B) \cdot (Ca \neq 0) \cdot \{(Ca_A < 6) + (Ca_B < 6)\}$

Condition vers SA : $(Cé_A > Ca) \cdot (Cé_A \geq Cé_B) \cdot (Cé_A \neq 0) \cdot \{(CT_1 < 6) + (CT_2 < 6) + (CT_3 < 6)\}$

Condition vers SB : $(Cé_B > Ca) \cdot (Cé_B > Cé_A) \cdot \{(CT_1 < 6) + (CT_2 < 6) + (CT_3 < 6)\}$

b) Les conditions qui permettent les déposes

L'analyse est plus simple du fait que la seule vérification nécessaire, une fois une boîte saisie, concerne les niveaux des stocks . Il reste à choisir les priorités en accord avec les options retenues précédemment. Les conditions s'écrivent donc immédiatement :

Condition vers DA : $(Ca_A \leq Ca_B)$

Condition vers DB : $(Ca_B < Ca_A)$

Condition vers DT1 : $(CT_1 \leq CT_2) \cdot (CT_1 \leq CT_3)$

Condition vers DT2 : $(CT_2 < CT_1) \cdot (CT_2 \leq CT_3)$

Condition vers DT3 : $(CT_3 < CT_1) \cdot (CT_3 < CT_2)$

Remarque : toutes ces réceptivités peuvent encore évoluer tout au long de l'exploitation de la cellule si l'on souhaite modifier des ordres de priorité, permettre des évolutions temporaires qui obéissent à des règles particulières, réguler différemment les taux d'occupation des postes, etc.

c) Grafcet complété

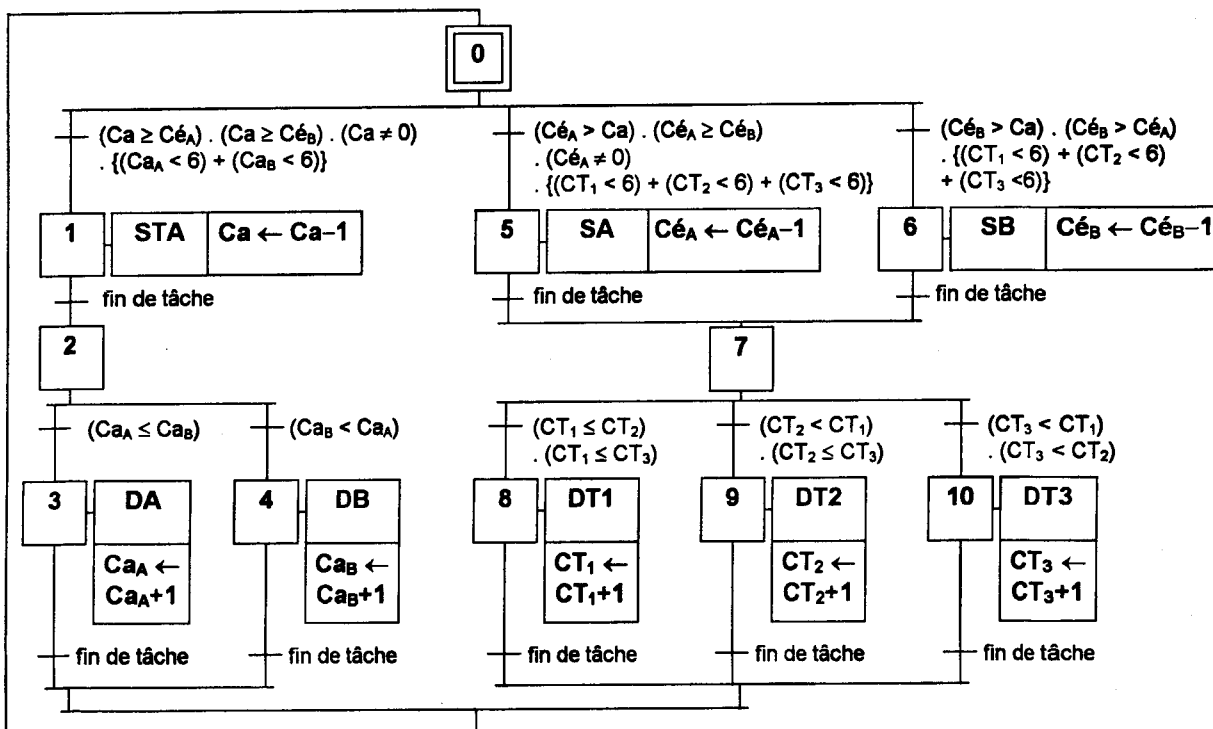


figure B-61

4 - 8. Solutions technologiques de la liaison automate-manipulateur

La liaison physique entre l'automate et la commande du manipulateur peut être réalisée de diverses manières et conditionne la nature des actions *STA*, *SA*, etc. du grafcet au niveau *automate*.

a) Liaison par entrées-sorties TOR

- Dans le sens maître-esclave

On peut relier un certain nombre de sorties de l'automate à des entrées de la commande du manipulateur et affecter à chaque point de contact un message différent. Dans cet exemple, les 8 tâches nécessiteraient 8 E/S. On peut limiter le nombre d'entrées-sorties en codant les messages. Le nombre maximum de messages est alors de $2^{\text{nombre de conducteurs}} - 1$ (l'un des codes devant n'appeler aucune tâche). Cette solution est économique si le nombre total de messages différents à transmettre est limité. Bien que rudimentaire, elle est souvent mise en oeuvre sur des systèmes industriels complexes et est bien adaptée au cas présent.

- Dans le sens esclave-maître

Un seul conducteur suffit à transmettre l'information de fin de tâche, quelle qu'elle soit, la discrimination de la tâche n'étant pas utile. S'agissant d'une seule et même information pour toutes les réceptivités concernées, il convient d'en évaluer le front au risque de rendre instables les étapes d'appels de tâches. Les tâches étant celles du manipulateur, constituant distinct de l'automate, il ne s'agit pas de *tâches dans le sens du Grafcet*. C'est pourquoi les étapes de la figure B-61 (ainsi que de la figure B-62 au § 5) sont toutes représentées par des carrés simples. Sur le grafcet au niveau automate, les actions notées *STA...* seront décomposées pour former les codes à émettre vers la commande du manipulateur ; de même, l'information *fin de tâche* sera directement formée par l'entrée TOR correspondante.

b) Liaison série - liaison réseau

Ces solutions sont à envisager lorsque le flux d'informations est plus important comme dans l'étude de cas de la partie C.

5 - RESUME POUR LE MANIPULATEUR 2

5 - 1. Structure du grafcet et actions associées

Le grafcet de commande du manipulateur 2 (figure B-62) est similaire à celui du manipulateur 1. Sa structure générale fait également apparaître :

- les deux niveaux *saisir* et *déposer*,
- une étape ressource,
- l'organisation des fonctions

Du fait qu'elle intègre les séquences obligées, cette structure facilite la recherche des réceptivités : en aval des étapes, ce sont les comptes-rendus de fin de tâche ; en amont des étapes, elles sont exclusivement liées aux niveaux des stocks.

Les actions découlent directement de l'analyse des fonctions. La mise en place des compteurs ne pose pas de problème particulier.

5 - 2. Les réceptivités

On conseille de composer les réceptivités tout aussi progressivement que pour la première partie de l'étude :

- Une première discrimination dans la sélection des séquences consiste à comparer les niveaux de stocks grâce à des inégalités strictes, compteur par compteur.
- En cas d'égalité, 2 niveaux de priorité se dégagent :
 - sélectionner la saisie aux transits plutôt qu'aux postes pour favoriser le taux d'occupation de la cellule,
 - donner la priorité à l'un des postes, donner la priorité à l'un des transits.
- Pour certaines conditions, vérifier si les stocks ne sont pas vides.
- Avant d'engager une saisie, vérifier qu'au moins l'une des destinations possibles n'est pas saturée.

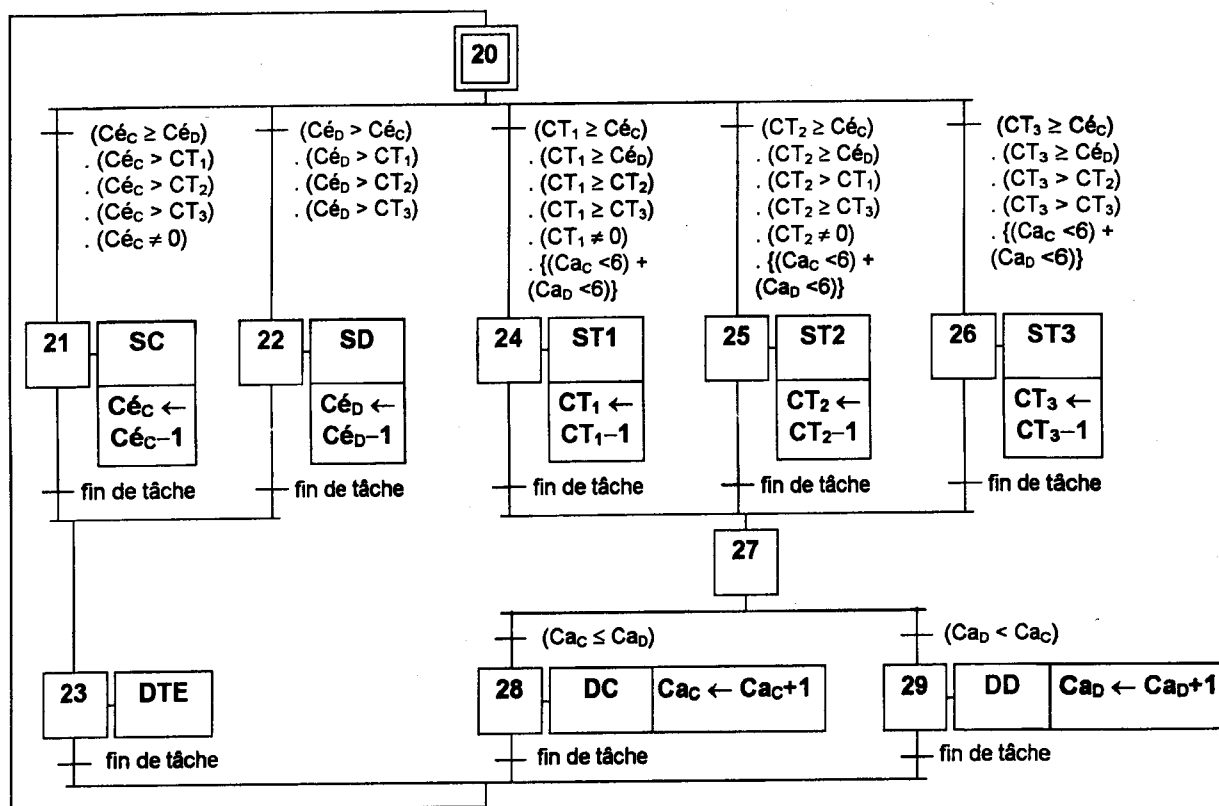


figure B-62

La synchronisation entre les deux manipulateurs se fait uniquement par l'intermédiaire des compteurs relatifs aux transits.

6 - VERIFICATION DES RECEPTIVITES

La justesse des réceptivités peut être vérifiée par simulation de plusieurs cas de figure :

- affecter à chaque stock une valeur quelconque (en particulier les valeurs limites),
- imaginer le comportement logiquement adopté par le système,
- résoudre toutes les réceptivités pour les valeurs choisies,
- imaginer l'évolution du grafcet,
- vérifier la cohérence et réitérer l'essai.

Les valeurs choisies et particulièrement leur combinaison doivent évidemment répondre aux hypothèses de départ.

7 - RECAPITULATION DES EQUATIONS DES COMPTEURS

Le recensement de toutes les conditions d'évolution des compteurs permet de dresser le tableau récapitulatif de la figure B-63.

Certaines conditions sont séquentielles (X_i), d'autres sont combinatoires (D_i).

	Nom compteur	Incrémentation	Décrémentation
Alimentation cellule	Ca	↑ Da	↑ X1
Poste A	Ca _A	↑ X3	↑ D _A
	Cé _A	↑ D _A	↑ X5
Poste B	Ca _B	↑ X4	↑ D _B
	Cé _B	↑ D _B	↑ X6
Transit	CT ₁	↑ X8 (manipulateur 1)	↑ X24 (manipulateur 2)
	CT ₂	↑ X9 (manipulateur 1)	↑ X25 (manipulateur 2)
	CT ₃	↑ X10 (manipulateur 1)	↑ X26 (manipulateur 2)
Poste C	Ca _C	↑ X28	↑ D _A
	Cé _C	↑ D _A	↑ X21
Poste D	Ca _D	↑ X29	↑ D _B
	Cé _D	↑ D _B	↑ X22

figure B-63

8 - REMARQUES AU SUJET DU RESULTAT

Le grafcet proposé figure B-61 ne comporte pas de liaisons redondantes comme le tracé empirique de la figure B-56-b. L'analyse des réceptivités est donc plus immédiate.

Par ailleurs, ce grafcet peut très facilement être complété par des modules supplémentaires si un plus grand nombre de postes doit être géré : la structure générale reste de même qualité de lisibilité et les réceptivités sont complétées sans nouvelle difficulté. (La structure en arborescence du premier tracé par contre conduirait à un grafcet de plus en plus illisible et complexe.)

Le grafcet retenu ne décrit plus la totalité du cycle tel qu'il se déroule pendant le fonctionnement. Le grafcet propose seulement des possibilités d'évolutions, autrement dit, des séquences élémentaires, exécutées selon l'évolution du besoin en réponse à des conditions établies dans les réceptivités.

Le travail finalement réalisé par le système n'est en fait pas déterminé à l'avance lors de la conception du grafcet : il résulte de la combinaison des règles générales de fonctionnement et de l'occurrence des événements. Il ne se répète pas de façon cyclique.